

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКА ДЕРЖАВНА АКАДЕМІЯ
БУДІВНИЦТВА ТА АРХІТЕКТУРИ

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

Дудник Лідія Вікторівна

УДК 691.327.32

ДИСЕРТАЦІЯ

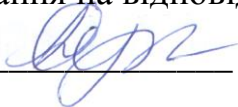
**КЕРАМЗИТОБЕТОНИ ДЛЯ ТОНКОСТІННИХ КОНСТРУКЦІЙ
МОРСЬКИХ ГІДРОТЕХНІЧНИХ СПОРУД**

Спеціальність 192 - Будівництво та цивільна інженерія

Галузь знань – 19 Архітектура та будівництво

Подається на здобуття наукового ступеня доктора філософії

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

 Дудник Л.В.

Науковий керівник:

Кровяков Сергій Олексійович, доктор технічних наук, доцент

Одеса – 2020

АНОТАЦІЯ

Дудник Л.В. Керамзитобетони для тонкостінних конструкцій морських гідротехнічних споруд. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 192 – Будівництво та цивільна інженерія – Одеська державна академія будівництва та архітектури, Одеса, 2020.

Метою роботи є розробка керамзитобетонів для тонкостінних конструкцій морських гідротехнічних споруд, зокрема плавучих залізобетонних, з підвищеною довговічністю в умовах комплексної дії середовища експлуатації за рахунок використання раціональних типів цементів, суперпластифікатору і пористих пісків.

У вступі обґрунтовано вибір теми дослідження, її актуальність, показаний зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами, сформульовані мета та задачі досліджень, наведені положення наукової новизни та практичного значення отриманих результатів.

У першому розділі проаналізовано методи управління структурою і властивостями легких бетонів гідротехнічних споруд для забезпечення їх довговічності. Наведено огляд основних типів заповнювачів для легких бетонів з врахуванням можливості їх використання в морських гідротехнічних спорудах, проаналізовано досвід експлуатації гідротехнічних споруд з легких бетонів, зокрема перспективу використання керамзитобетонів та їх аналогів для плавучих залізобетонних споруд. Показано, що ефективним методом підвищення довговічності керамзитобетонів для тонкостінних конструкцій гідротехнічних споруд є використання модифікаторів, що впливають на капілярно-пористу структуру, в першу чергу ефективних суперпластифікаторів і пуцолани. Проаналізовано роботи, присвячені впливу виду цементу на довговічність бетонів гідротехнічних споруд, а також особливостям структури та властивостей декоративних бетонів. Сформульовано *робочу гіпотезу*

роботи. Довговічність керамзитобетонів в умовах комплексної дії середовища експлуатації тонкостінних конструкцій морських гідротехнічних споруд може бути забезпечена перерозподілом капілярно-пористої структури, що має сприяти підвищенню водонепроникності та морозостійкості матеріалу при забезпеченні корозійної стійкості в сульфатному середовищі. Досягнути цього можливо завдяки використанню ефективних полікарбосилатних суперпластифікаторів, що дозволяють отримувати суміші з гранично низьким В/Ц. Корозійна стійкість у сульфатному середовищі може бути забезпечена насамперед використанням сульфатостійкого цементу, а в умовах дефіциту даного в'язучого в якості альтернати можна розглядати цементи з пуцоланом. Також для тонкостінних плавучих залізобетонних споруд актуальною є задача зниження середньої густини керамзитобетонів, досягнути чого без підвищення проникності матеріалу можна за рахунок використання пористих пісків з низькою проникністю, зокрема гранульованого піноскла. При необхідності надання керамзитобетонам морських гідротехнічних споруд декоративних властивостей найбільш простим методом вирішення завдання є використанням залізоокисних пігментів, які мають використовуватися одночасно з ефективними цементами і суперпластифікаторами, що забезпечують довговічність матеріалу.

У *другому розділі* описано методику проведення досліджень і наведено характеристики використаних матеріалів. Наведена загальна послідовність проведення досліджень. На *першому етапі* досліджено вплив виду цементу на довговічність бетонів. Дослідження проводилися на не модифікованих важких бетонах і їх результати можна перенести на цементно-піщану матрицю керамзитобетонів зважаючи на в цілому аналогічний вплив в'язучого на корозійну стійкість цементного каменю. На *другому етапі* досліджено вплив суперпластифікатора полікарбосилатного типу і пористих пісків на структуру, властивості та довговічність керамзитобетонів. Задачею даного етапу було виявлення можливості використання керамзитобетонів з пористими пісками для тонкостінних конструкцій морських гідротехнічних споруд, зокрема

плавучих залізобетонних. Використання пористих пісків спрямоване на додаткове зниження середньої густини керамзитобетонів. На *третьому етапі* досліджувалися структура і властивості модифікованих керамзитобетонів з пористими пісками на різних типах цементів: сульфатостійкому портландцементі ССПЦ 400-Д0, портландцементі з пуцоланом ПЦ II/A-П-500 Р-Н, сульфатостійкому пуцолановому цементі СЕМ IV/A(P) 42,5 R-SR. На *четвертому етапі* досліджувалися фізико-механічні та декоративні властивості декоративних керамзитобетонів. *П'ятий етап* присвячений впровадженню результатів досліджень.

У *третьому розділі* проаналізовано вплив типу цементу на структуру, властивості та довговічність бетонів (*перший етап* роботи). Досліджувалися не модифіковані бетони класів С20/25 і С30/35 на сульфатостійкому портландцементі ССПЦ 400-Д0 і портландцементі з пуцоланом ПЦ II/A-П-500 Р-Н (вміст пуцолани 8%). Встановлено, що важкі бетони на портландцементі ПЦ II/A-П-500 Р-Н мають водонепроникність на одну марку вище, ніж аналогічні за класом бетони на сульфатостійкому портландцементі ССПЦ 400-Д0, та рівну з ними морозостійкість. Після 12 місяців витримування в рідкому агресивному сульфатному середовищі не виявлено різниці у корозійній стійкості бетонів класу С30/35 на сульфатостійкому портландцементі ССПЦ 400-Д0 і портландцементі з пуцоланом ПЦ II/A-П-500 Р-Н, що обумовлено високою водонепроникністю даних бетонів. За даними рентгеноструктурного аналізу виявлено, що кількість еtringіту в цементно-піщаній матриці бетонів на сульфатостійкому портландцементі ССПЦ 400-Д0 і на портландцементі з пуцоланом після витримування в рідкому агресивному сульфатному середовищі є приблизно однаковою. Для бетонів класу С20/25, які мають меншу водонепроникність, корозійна стійкість бетону на сульфатостійкому портландцементі ССПЦ 400-Д0 є на 20% вищою, ніж корозійна стійкість бетону на портландцементі з пуцоланом. Показник корозійної стійкості в штучній морській воді після 200 і 300 циклів зволоження і висушування бетонів на сульфатостійкому портландцементі ССПЦ 400-Д0 є на 6..16% вищими, ніж

показник корозійної стійкості бетонів на портландцементі з пуцоланом. При цьому бетони на обох цементах мають високу корозійну стійкість в штучній морській воді. Таким чином, за умови забезпечення високої водонепроникності бетони на портландцементі з пуцоланом ПЦ II/A-II-500 P-II мають достатню морозостійкість і корозійну стійкість в сульфатному середовищі та морській воді, що дозволяє використовувати даний вид в'язучого в якості альтернативи дефіцитному бездобавочному сульфатостійкому портландцементу ССПЦ 400-Д0 в бетонах морських гідротехнічних споруд.

У четвертому розділі проаналізовано вплив пористих пісків і суперпластифікатору на структуру, властивості та довговічність керамзитобетонів тонкостінних морських гідротехнічних споруд. На другому етапі роботи досліджено модифіковані суперпластифікатором полікарбосилатного типу Coral ExpertSuid-5 керамзитобетони з різними типами пісків: кварцовим піском, керамзитовим піском та гранульованим піносклом у якості дрібного заповнювача (піску) у фракціях 1,25-2,5 мм і 2,5-5 мм. На даному етапі для керамзитобетонів використовувався сульфатостійкий портландцемент ССПЦ 400-Д0. Встановлено, що кількість суперпластифікатору Coral ExpertSuid-5 відчутно впливає на В/Ц бетонних сумішей, за рахунок чого впливає на міцність, водонепроникність і морозостійкість керамзитобетонів. Найкращі фізико-механічні показники якості мають керамзитобетони з кількістю пластифікатору Coral ExpertSuid-5 0,8% від кількості цементу. Міцність на стиск керамзитобетонів, в яких кварцовий пісок фракцій 1,25..2,5 мм і 2,5..5 мм замінено керамзитовим піском, досягає 26,0 МПа, міцність аналогічних бетонів з гранульованим піносклом досягає 19,4 МПа. Міцність на розтяг при згині всіх досліджених керамзитобетонів на різних пісках знаходиться в діапазоні від 4,4 до 5,5 МПа. Керамзитобетони з кварцовим піском і з піносклом в крупних фракціях дрібного заповнювача мають водонепроникність W10..W12. Заміна кварцового піску гранульованим піносклом практично не впливає на водонепроникність керамзитобетону. При застосуванні 50% керамзитового піску в крупних

фракціях дрібного заповнювача водонепроникність керамзитобетонів знижується на одну марку, при підвищенні кількості керамзитового піску до 100% – на дві марки. Всі досліджені керамзитобетони на різних пісках мали морозостійкість F400 і вище. При застосуванні раціональної кількості суперпластифікатору Coral ExpertSuid-5 (0,8%) морозостійкість керамзитобетонів підвищується до F500..F550. Використання гранульованого піноскла в якості частини дрібного заповнювача знижує середню густину керамзитобетонів в сухому стані до рівня 1400..1440 кг/м³, у водо насиченому стані – до 1520...1530 кг/м³. При використанні керамзитового піску середня густина керамзитобетонів знижується відповідно до 1510..1570 кг/м³ і 1650..1680 кг/м³. Таким чином, встановлена можливість застосування керамзитобетонів на пористих пісках для тонкостінних конструкцій морських гідротехнічних споруд, для яких важливо зниження ваги, при забезпеченні довговічності матеріалу.

Також у *четвертому розділі* описані результати *третього етапу* роботи, на якому досліджені структура і властивості модифікованих раціональною кількістю суперпластифікатору Coral ExpertSuid-5 (0,8%) керамзитобетонів з пористими пісками (керамзитовим і гранульованим піносклом) на різних типах цементів: сульфатостійкому портландцементі ССПЦ 400-Д0, портландцементі з пуцоланом ПЦ П/А-П-500 Р-Н (вміст пуцолани 8%), сульфатостійкому пуцолановому цементі СЕМ IV/А(Р) 42,5 R-SR (вміст пуцолани 23%). Встановлено, що модифіковані керамзитобетони на різних типах пісків і на портландцементі ПЦ П/А-П-500 Р-Н мають міцність, морозостійкість і водонепроникність не нижче, ніж аналогічні за складом керамзитобетони на сульфатостійкому портландцементі ССПЦ 400-Д0. Керамзитобетони на сульфатостійкому пуцолановому цементі мають в середньому на одну марку нижчу водонепроникність і на 50-100 циклів нижчу морозостійкість, ніж бетони на портландцементі ССПЦ 400-Д0, що пояснюється високим В/Ц бетонних сумішей на цементі СЕМ IV/А(Р) 42,5 R-SR. Таким чином підтверджено, що в якості альтернативи сульфатостійкому портландцементу ССПЦ 400-Д0 для

керамзитобетонів тонкостінних конструкцій морських гідротехнічних споруд (при забезпеченні їх високої водонепроникності) можливо використання портландцементу з пуцоланом ПЦ II/A-II-500 Р-Н. При цьому в жорстких умовах експлуатації тонкостінних конструкцій морських гідротехнічних споруд не можна рекомендувати використання сульфатостійкого пуцоланового цементу СЕМ IV/A(P) 42,5 R-SR через високу водопотребу цього в'язучого.

У *п'ятому розділі* наведено результати дослідження фізико-механічних та декоративних властивостей декоративних (кольорових) керамзитобетонів з червоним (Fe_2O_3) і жовтим ($\text{FeO}(\text{OH})$) залізоокисними пігментами, виконані в рамках *четвертого етапу* роботи. Встановлено, що при використанні залізоокисних пігментів у кількості до 20 кг/м^3 міцність (28,5..34,2 МПа), водонепроникність (W10..W12) і морозостійкість (F450..F500) декоративних керамзитобетонів практично не відрізняється від даних показників якості контрольних керамзитобетонів. За рахунок технологічного прийому обробки гравію цементною суспензією покращується насиченість кольору декоративних керамзитобетонів, яка аналізувалася за цифровими фото, на 1..1,5 МПа зростає міцність бетону на стиск, на одну марку зростає водонепроникність. Для більш світлих керамзитобетонів з жовтим пігментом рівень жовтого кольору під впливом сонячного світла (при «вицвітанні» поверхні) зберігається краще, ніж рівень червоного кольору у більш темних за тоном бетонах з червоним пігментом. Міцність, морозостійкість, водонепроникність, корозійна стійкість в морській воді та декоративні властивості модифікованих декоративних керамзитобетонів з залізоокисними пігментами на основі сульфатостійкого портландцементу ССПЦ 400-Д0 і портландцементу з пуцоланом ПЦ II/A-II-500 Р-Н є близькими. Це дозволяє використовувати портландцементу з пуцоланом у якості альтернативи сульфатостійкому портландцементу ССПЦ 400-Д0 в декоративних керамзитобетонах тонкостінних конструкцій морських гідротехнічних споруд. Таким чином, була доведена можливість використання залізоокисних порошкових пігментів у декоративних керамзитобетонах для

тонкостінних гідротехнічних споруд при забезпеченні їх міцності та довговічності, зокрема у суднобудівних керамзитобетонах.

У рамках *п'ятого етапу* роботи, який також описано у *п'ятому розділі*, з використанням методів планування експерименту і експериментально-статистичного моделювання обрано раціональні склади керамзитобетонів з керамзитовим піском, а також гранульованим піносклом. Обрані склади забезпечують високу довговічність керамзитобетонів при експлуатації в тонкостінних конструкціях морських гідротехнічних споруд при зниженій середній густині у водонасиченому стані – 1710 кг/м^3 при використанні керамзитового піску і 1600 кг/м^3 при використанні гранульованого піноскла. Результати досліджень впроваджені на Херсонському державному заводі «Паллада» (вироблена дослідна партія модифікованого керамзитобетону, проведено дослідження щодо можливості використання портландцементу з пуцоланом для суднобудівних бетонів), у ПрАТ «Івано-Франківськцемент» (при виробництві сульфатостійкого портландцементу і цементів з пуцоланом), а також у навчальному процесі в Одеській державній академії будівництва та архітектури.

Ключові слова: керамзитобетон, гідротехнічна споруда, пуцолан, суперпластифікатор, піноскло, пігмент, довговічність, сульфатостійкість, водонепроникність, морозостійкість.

ABSTRACT

Dudnik L.V. Expanded clay concrete for thin-walled marine hydraulic structures. Qualification scientific work on the manuscript.

The thesis for candidate degree of engineering science (PhD) in the specialty 192 – Construction and civil engineering – Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture, Odessa, 2020.

Research objective is to develop of expanded concrete mixtures with high stability for thin-walled marine hydraulic structures, in particular floating reinforced concrete, taking into account the complex action of the operating environment and the possibility of using rational types of cements.

The introduction substantiates the choice of research topic, its relevance, the relationship of investigation with scientific programs, plans, topics, formulates the purpose and objectives of research, the provisions of scientific novelty and practical significance of the results.

The first section analyzes the methods of structure controlling and properties of lightweight concrete hydraulic structures to ensure their durability. An overview of the main types of aggregates for lightweight concrete is given, taking into account the possibility of their use in marine hydraulic structures, analyzes the operation experience of lightweight concrete hydraulic structures, in particular the prospects of using expanded clay and their analogues for floating reinforced concrete structures. It is shown that an effective method of increasing the durability of expanded clay concrete for thin-walled hydraulic structures is the use of modifiers, primarily effective superplasticizers and pozzolana. The works devoted to the influence of the cement type on the concrete hydraulic structures durability and also to the peculiarities of the structure and properties of decorative concrete are analyzed. The *working hypothesis* of work is formulated. Expanded clay concrete is an effective and promising material for thin-walled hydraulic structures, in particular floating reinforced concrete. The stability of expanded clay concrete in the conditions of

complex action of the operating environment of thin-walled marine hydraulic structures can be ensured by the introduction of modifiers that increase water resistance and frost resistance of the material, especially effective polycarboxylate type superplasticizers. Express condition for stability in seawater is the corrosion resistance of concrete in a sulfate environment, which can be ensured primarily by the use of sulfate-resistant cements – straight Portland cements and cements with pozzolana. Also relevant is the problem of reducing the average density of expanded clay concrete, which in the construction of hydraulic structures can be solved through the use of porous sands with low permeability, in particular granular foam glass. The problem of providing decorative properties to expanded clay concretes of marine hydraulic structures without deteriorating their durability can be solved by using iron oxide pigments simultaneously with effective superplasticizers.

The second section describes the research methodology and describes the materials used. The general sequence of researches is resulted. At *the first stage* the influence of cement type on concrete durability is investigated. The studies were performed on unmodified heavy concretes, but their results can be transferred to expanded clay concrete due to the generally similar effect of the binder on the corrosion resistance of lightweight and heavyweight concretes. In the *second stage*, the influence of polycarboxylate-type superplasticizer and porous sands on the properties and durability of expanded clay concretes was investigated. The task of this stage was to identify the possibility of using expanded clay concrete with porous sands for thin-walled marine hydraulic structures, in particular floating reinforced concrete. The use of porous sands is aimed at further reducing the average density of expanded clay concrete. At the *third stage*, the structure and properties of modified expanded clay concrete with porous sands on different types of cements were studied: sulfate-resistant Portland cement CEM I 32.5 R/SR, Portland cement with pozzolana CEM II/A-P 42.5 R, sulfate-resistant pozzolanic cement CEM IV /A(P) 42.5 R-SR. At the *fourth stage* the structure, physical-mechanical and decorative properties of decorative expanded clay concrete were studied. The *fifth stage* is dedicated to the implementation of research results.

The *third section* analyzes the influence of cement type on the structure, properties and durability of concrete (the *first stage* of work). Unmodified concretes of grades C20/25 and C30/35 on sulfate-resistant Portland cement CEM I 32.5 R/SR and Portland cement with pozzolana CEM II/A-P 42.5 R (pozzolan content 8%) were investigated. It was found that heavyweight concretes on Portland cement CEM II/A-P 42.5 R have water resistance one grade higher than similar concretes on sulfate-resistant Portland cement CEM I 32.5 R/SR, and equal frost resistance. After 12 months of aging in a liquid aggressive sulfate medium, no difference was found in the corrosion resistance of C30/35 class concretes on sulfate-resistant Portland cement CEM I 32.5 R/SR and Portland cement with pozzolana CEM II/A-P 42.5 R, due to the high water resistance of these concretes. For C20/25 concretes grade, which have lower water resistance, the corrosion resistance of concrete on sulfate-resistant Portland cement CEM I 32.5 R/SR is 20% higher than the corrosion resistance of concrete on Portland cement CEM II/A-P 42.5 R. The corrosion resistance in artificial seawater after 200 and 300 cycles of wetting and drying of concrete on sulfate-resistant Portland cement CEM I 32.5 R/SR is 6-16% higher than the corrosion resistance of concrete on Portland cement with pozzolana CEM II/A-P 42.5 R. But the concretes on both cements have high corrosion resistance in artificial seawater. Thus, provided that the high water resistance of concrete on Portland cement with pozzolana CEM II/A-P 42.5 R have sufficient frost resistance and corrosion resistance in sulfate and sea water, which allows the use of this type of binder as an alternative to scarce additives sulfate-resistant Portland cement CEM I 32.5 R/SR in concretes of marine hydraulic structures.

In the *fourth section* the influence of porous sands and superplasticizer on the structure, properties and durability of expanded clay concrete of thin-walled hydraulic structures is analyzed. In the *second stage* of the work, expanded polycarboxylate-type superplasticizer of Coral ExpertSuid-5 type with expanded types of sands: quartz sand, expanded clay sand and granular foam glass as fine aggregate (sand) in fractions of 1.25-2.5 mm and 2.5-5 mm. Sulfate-resistant Portland cement CEM I 32.5 R/SR was used in these expanded clay concretes. It was found

that the amount of superplasticizer Coral ExpertSuid-5 significantly affects the W/C of concrete mixtures, thereby affecting the compressive strength, water resistance and frost resistance of expanded clay concrete. The best physical and mechanical quality indicators have expanded clay concretes with the amount of plasticizer Coral ExpertSuid-5 0.8%. The compressive strength of expanded clay concrete, in which the quartz sand fractions of 1.25-2.5 mm and 2.5-5 mm are replaced by expanded clay sand, reaches 26.0 MPa, the strength of similar concretes with granular foam glass in large fractions of fine aggregate reaches 19.4 MPa. The tensile strength in bending of all studied expanded clay concretes on different sands is in the range from 4.4 to 5.5 MPa. Expanded clay concrete with quartz sand and foam glass in large fractions of fine aggregate have water resistance W10-W12. Replacement of quartz sand with granular foam glass has almost no effect on the water resistance of expanded clay concrete. When using 50% expanded clay sand in large fractions of fine aggregate, the water resistance of expanded clay concrete is reduced by one mark, with an increased amount of expanded clay sand to 100% - by two grades. All studied expanded clay concretes on different sands had frost resistance F400 and above. When using a rational amount of superplasticizer Coral ExpertSuid-5 (0.8%) frost resistance of expanded clay concrete increases to F500..F550. Thus, the possibility of using expanded clay concrete on porous sands for thin-walled marine hydraulic structures, for which weight loss is important, has been confirmed. The use of granular foam glass as part of a fine aggregate reduces the average density of expanded clay concrete in the dry state to the level of 1400..1440 kg/m³, in water-saturated - up to 1520..1530 kg/m³. When using expanded clay sand, the average density of expanded clay concrete decreases in accordance with 1510..1570 kg/m³ and 1650-1680 kg/m³. Also in the *fourth section* the results of the *third stage* of work are described, at which the structure and properties of the expanded amount of Coral ExpertSuid-5 superplasticizer (0.8%) expanded clay concretes with porous sands (expanded clay and granular foam glass) on different types of cements are investigated: CEM I 32.5 R/SR, Portland cement with pozzolana CEM II/A-P 42.5 R (pozzolana content 8%), sulfate-resistant pozzolan cement CEM IV/A(P) 42.5 R-SR

(pozzolana content 23%). It is established that the modified expanded clay concrete on different types of sands and on Portland cement CEM II/A-P 42.5 R have strength, frost resistance and water resistance not lower than similar in composition expanded clay concrete on sulfate-resistant Portland cement CEM I 32.5 R/SR. Expanded clay concrete on sulfate-resistant pozzolanic cement CEM IV/A(P) 42.5 R-SR has on average one grade lower water resistance and 50-100 cycles lower frost resistance than concrete on Portland cement CEM I 32.5 R/SR, due to high W/C concrete mixtures on cement CEM IV/A(P) 42.5 R-SR. Thus, it is confirmed that as an alternative to sulfate-resistant Portland cement CEM I 32.5 R/SR for expanded clay concrete thin-walled marine hydraulic structures (while ensuring their high water resistance) it is possible to use Portland cement with pozzolana CEM II/A-P 42.5 R. However, in harsh operating conditions of thin-walled marine hydraulic structures, the use of sulfate-resistant pozzolanic cement CEM IV/A(P) 42.5 R-SR cannot be recommended due to the high water consumption of this binder.

The *fifth section* presents the results of the structure study, physical-mechanical and decorative properties of decorative (colored) expanded clay concrete with red and yellow iron oxide pigments (the *fourth stage* of work). It is established that when using iron oxide pigments in the amount of up to 20 kg/m³ strength (28.5-34.2 MPa), water resistance (W10-W12) and frost resistance (F450-F500) of decorative expanded clay concrete practically does not differ from these quality indicators of control concretes. Due to the technological method of gravel treatment with cement slurry, the color saturation of decorative expanded clay concrete is improved, which was analyzed by digital photos, the compressive strength of concrete increases by 1-1.5 MPa, water resistance increases by one grade. For lighter expanded clay concrete with yellow pigment, the level of yellow color under the influence of sunlight ("fading" of the surface) is better preserved than the level of red color in darker-toned concrete with red pigment. Strength, frost resistance, water resistance, corrosion resistance in sea water and decorative properties of modified decorative expanded clay concretes with ferrous oxide pigments based on sulfate-resistant Portland cement CEM I 32.5 R/SR and Portland cement with pozzolana CEM II/A-P

42.5 R are nearby. This allows the use of cement with pozzolana CEM II/A-P 42.5 R as an alternative to sulfate-resistant Portland cement CEM I 32.5 R/SR in decorative expanded clay concrete thin-walled marine hydraulic structures. Thus, the possibility of using iron oxide powder pigments in the composition of decorative expanded clay concrete for thin-walled hydraulic structures while ensuring their strength and durability, in particular in shipbuilding expanded clay concrete. In the *fifth stage* of work, which is also described in the *fifth section*, using the methods of experimental planning and experimental-statistical modeling, rational compositions of expanded clay concrete with expanded clay sand and granular foam glass were selected. The selected compositions provide high durability of expanded clay concrete in operation in thin-walled marine hydraulic structures at low average density in the water-saturated state - 1710 kg/m^3 when using expanded clay sand and 1600 kg/m^3 when using granular foam glass. The results of the research were implemented at the Kherson State Plant "Pallada" (a pilot batch of modified expanded clay concrete was produced, a study was conducted on the possibility of using CEM II/A-P 42.5 R cement for shipbuilding concrete), at PJSC "Ivano-Frankivskcement" (in the production of sulfate Portland cement and pozzolanic cements), as well as in the educational process at the Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture.

Keywords: expanded clay concrete, hydraulic structure, pozzolana, superplasticizer, foam glass, pigment, durability, sulfate resistance, water tightness, frost resistance.

Список публікацій здобувача за темою дисертації

Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:

Статті у наукових фахових виданнях України

1. Дудник Л.В., Кровяков С.О., Мішутін А.В. Модифіковані керамзитобетони забезпеченої довговічності для тонкостінних конструкцій морських гідротехнічних споруд. Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури, 2020, №78, С. 89-96. doi: 10.31650/2415-377X-2020-78-89-96 (індексується *Index Copernicus*).

2. Кровяков С.О., Дудник Л.В., Петричко С.М. Довговічність декоративних керамзитобетонів для тонкостінних конструкцій гідротехнічних споруд. Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. Випуск 38. Рівне: НУВГП, 2020. С.203-213.

3. Порівняння міцності і довговічності бетонів на сульфатостійкому портландцементі ССПЦ 400-Д0 та портландцементі з добавкою пуцолани ПЦ П/А-П-500 Р-Н. С.О. Кровяков, А.В. Мішутін, Л.В. Дудник, М.В. Заволока, Г.Г. Ткаченко. Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури, 2019, №75, С. 91-98. doi: 10.31650/2415-377X-2019-75-91-98 (індексується *Index Copernicus*).

4. Кровяков С.О., Дудник Л.В. Порівняння властивостей модифікованих керамзитобетонів з різними типами пісків. Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. Випуск 35. Рівне: НУВГП, 2018. С.18-25.

5. Підвищення довговічності керамзитобетонів для тонкостінних гідротехнічних і транспортних споруд за рахунок застосування модифікаторів. А.В. Мішутін, С.О. Кровяков, О.В. Піщев, Л.В. Дудник, К.О. Стрельцов, Г.Г. Ткаченко. Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури, 2017, №69, С. 100-105 (індексується *Index Copernicus*).

6. Кровяков С.О., Петричко С.М., Дудник Л.В., Ткаченко Г.Г. Декоративний конструкційний керамзитобетон на обробленому цементною суспензією гравії. Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури, 2017, №66, С.66-71 (*індексується Index Copernicus*).

Статті у наукових періодичних виданнях інших держав

7. Kroviakov S., Zavoloka M., Dudnik L., Kryzhanovskyi V. Comparison of strength and durability of concretes made with sulfate-resistant portland cement and portland cement with pozzolana additive. Electronic Journal of the faculty of civil engineering Osijek - e-GFOS. 2019, no.19. pp. 81-86. *doi.10.13167/2019.19.8* (*індексується Web of Science*).

8. Kroviakov S.O., Dudnik L.V., Zavoloka M.V. Properties of structural expanded clay lightweight concrete with different types of porous sands. Journal of Engineering Science Vol. XXVII, no. 1 (2020), pp. 36 - 42. *doi:10.5281/zenodo.3713362*.

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації

9. Кровяков С.О., Дудник Л.В. Властивості керамзитобетонів з різними видами пористих пісків. Збірка тез доповідей міжнародної конференції «Моделювання та оптимізація будівельних композитів», Одеса:ОДАБА, 2019. С. 87-90.

10. Дудник Л.В., Кровяков С.О. Портландцемент з добавкою пуцолани як альтернатива сульфатостійкому цементу. Збірка тез доповідей III міжнародної конференції «Експлуатація та реконструкція будівель і споруд», Одеса: ОДАБА, 2019. С.63.

11. Кровяков С.О., Дудник Л.В. Використання гранульованого піноскла в якості дрібного заповнювача керамзитобетону. Збірка тез доповідей 75-ї науково-технічної конференції професорсько-викладацького складу Одеської державної академії будівництва та архітектури. Одеса: 2019. С. 253.

12. Дудник Л.В., Кровяков С.О., Мішутін А.В. Фізико-механічні властивості бетонів на різних типах портландцементу. Збірка тез доповідей міжнародної наукової конференції «Структуроутворення, міцність та руйнування композитних будівельних матеріалів та конструкцій», Одеса: ОДАБА, 2019. С.39-41.

13. Кровяков С.О., Дудник Л.В., Петричко С.М. Стійкість кольорової гама декоративних керамзитобетонів. Збірка тез доповідей другої науково-практичної конференції «Проблеми та перспективи розвитку будівельного комплексу м. Одеси», Одеса: ОДАБА, 2018. С.101.

14. Кровяков С.О., Мішутін А.В., Дудник Л.В. Дослідження легких бетонів з різними типами дрібного заповнювача. Тези доповідей 74-ї науково-технічної конференції професорсько-викладацького складу Одеської державної академії будівництва та архітектури. Одеса: ОДАБА, 2018. С.269.

15. Міцність модифікованих керамзитобетонів і фіброкерамзитобетонів для тонкостінних конструкцій гідротехнічних і транспортних споруд. С.О.Кровяков, А.В.Мішутін, О.В. Піщев, Л.В. Дудник, М.В. Заволока. Збірник тез доповідей міжнародної конференції «Структуроутворення, міцність та руйнування композиційних будівельних матеріалів і конструкцій», Одеса: ОДАБА, 2018. С.80-83.

16. Кровяков С.О., Дудник Л.В., Полторапавлов А.О. Застосування місцевого заповнювача в транспортному і гідротехнічному будівництві в одеському регіоні. Збірка тез доповідей науково-практичної конференції «Проблеми та перспективи розвитку будівельного комплексу м. Одеси», Одеса: ОДАБА, 2016. С.117.

ЗМІСТ

Анотація.....	2
Вступ.....	20
Розділ 1 Властивості і довговічність легких бетонів гідротехнічних споруд ..	26
1.1 Легкі бетони для гідротехнічних споруд	26
1.1.1 Огляд основних типів заповнювачів для легких бетонів	26
1.1.2 Досвід експлуатації гідротехнічних споруд з легких бетонів.....	30
1.2 Методи забезпечення довговічності бетонів гідротехнічних споруд	34
1.3 Модифікатори як метод підвищення довговічності бетону.....	40
1.4 Вплив виду цементу на довговічність гідротехнічних споруд.....	44
1.5 Особливості структури та властивостей декоративних бетонів.....	47
Розділ 2 Методика проведених досліджень і характеристика використаних матеріалів	52
2.1 Характеристика матеріалів, використаних при дослідженнях бетонів	52
2.2 Методика досліджень фізико-механічних властивостей і структури бетонів	56
2.3 Загальна схема проведення досліджень	59
Висновки за 2-м розділом	62
Розділ 3 Вплив типу цементу на довговічність бетонів гідротехнічних морських споруд	63
3.1 Вплив типу цементу на міцність бетону	65
3.1.1 Підбір складів бетонів на різних типах цементів	65
3.1.2 Зміна міцності бетонів на різних типах цементу у часі	69
3.2 Дослідження водонепроникності і морозостійкості бетонів на різних типах цементів	71
3.3 Вплив виду цементу на корозійну стійкість бетонів у рідкому сульфатному середовищі	73
3.4 Дослідження корозійної стійкості бетонів на різних	

	19
цементях у морській воді при зволоженні та висушуванні	80
Висновки за 3-м розділом	87
Розділ 4 Структура, властивості та довговічність модифікованих керамзитобетонів з різними типами пісків	89
4.1 Вплив типу піску і кількості суперпластифікатору на міцність і середню густину керамзитобетонів	89
4.2 Дослідження водонепроникності та морозостійкості модифікованих керамзитобетонів з різними типами пісків	101
4.3 Вплив типу цементу на властивості керамзитобетонів з пористими пісками	106
4.4 Дослідження структури керамзитобетонів з різними типами пісків.....	115
Висновки за 4-м розділом	121
Розділ 5 Дослідження властивостей декоративних керамзитобетонів для тонкостінних морських гідротехнічних споруд. Впровадження результатів досліджень	123
5.1 Вплив складу декоративних керамзитобетонів для тонкостінних морських гідротехнічних споруд на їх механічні властивості та довговічність	123
5.2 Декоративні властивості керамзитобетонів та їх зміна в часі	135
5.3. Впровадження результатів досліджень	142
5.3.1 Вибір раціональних складів керамзитобетонів на пористих пісках	142
5.3.2 Практичне впровадження результатів досліджень	148
Висновки за 5-м розділом	150
Загальні висновки	152
Список використаних джерел	155
Додаток А. Список публікацій здобувача за темою дисертації та відомості про апробацію результатів дисертації	178
Додаток Б. Акти впровадження результатів досліджень	183

ВСТУП

Обґрунтування вибору теми дослідження. Україна має розвинуту морську інфраструктуру, яка включає споруди різного типу, зокрема тонкостінні. Одним з видів морських гідротехнічних споруд є залізобетонні плавучі гідротехнічні споруди: плавучі доки, готелі, будинки, причали, газо- і нафтовидобувні платформи. В останні роки для подібних великогабаритних плавучих споруд все частіше використовуються керамзитобетони та інші бетони на пористих заповнювачах. Дані легкі бетони мають достатню міцність при зниженій середній густині, що дозволяє підвищити вантажопідйомність плавучих споруд та забезпечує кращі умови перебування людей і роботи обладнання в приміщеннях споруди.

Україна є однією з нечисленних країн світу, в яких розвинуто залізобетонне суднобудування. Крім того, більша частина конструкцій морських гідротехнічних споруд в нашій країні має значну ступінь зносу та потребує заміни або відновлення. Відповідно задача отримання керамзитобетонів та інших легких бетонів для тонкостінних конструкцій морських гідротехнічних споруд з підвищеною довговічністю в типових для даних споруд умовах експлуатації є актуальною. Ця задача має вирішуватися з врахуванням наявної вітчизняної сировинної бази, включаючи фактично доступні на ринку цементу. Також для окремих морських гідротехнічних споруд, таких як плавучі готелі, дома, ресторани, актуальною є задача отримання декоративних легких бетонів, які за умови забезпечення їх довговічності дозволять покращити архітектурну виразність даних споруд.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. 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), «Розробка та впровадження сучасних технологій при будівництві

автомобільних доріг, водопропускних споруд та аеродромів» (№ держреєстрації 0111U001249), та госпдогвірної науково-дослідної роботи «Дослідження міцності, водопоглинання, морозостійкості, водонепроникності та корозійної стійкості бетонів на основі сульфатостійкого портландцементу ССПЦ 400-Д0 і портландцементу ПЦ П/А-П-500 Р-Н виробництва ПрАТ «Івано-Франківськцемент»» (№4444 від 19.06.2018 р.).

Метою роботи є розробка керамзитобетонів для тонкостінних конструкцій морських гідротехнічних споруд, зокрема плавучих залізобетонних, з підвищеною довговічністю в умовах комплексної дії середовища експлуатації за рахунок використання раціональних типів цементів, суперпластифікатору і пористих пісків.

Для досягнення мети поставлені **завдання**:

- дослідити можливість використання портландцементу з пуцоланом в якості альтернативи бездобавочному сульфатостійкому портландцементу для розширення асортименту в'язучих для бетонів тонкостінних конструкцій морських гідротехнічних споруд з врахуванням впливу виду цементу на структуру і фізико-механічні властивості матеріалу, що визначають його довговічність: водонепроникність, морозостійкість, корозійну стійкість;

- виявити можливість використання пористих пісків (керамзитового і гранульованого піноскла) в керамзитобетонах для тонкостінних конструкцій морських гідротехнічних споруд для зниження середньої густини матеріалу;

- вивчити вплив виду та кількості пористих пісків та кількості суперпластифікатору полікарбоксиластного типу на структуру, міцність, водонепроникність і морозостійкість керамзитобетону;

- дослідити вплив виду цементу (бездобавочного сульфатостійкого портландцементу, портландцементу з пуцоланом і сульфатостійкого пуцоланового цементу) на міцність, морозостійкість, водонепроникність і корозійну стійкість керамзитобетонів з пористими пісками;

- дослідити вплив залізоокисних пігментів на фізико-механічні і декоративні властивості та довговічність керамзитобетонів; виявити

можливість використання декоративних керамзитобетонів у тонкостінних конструкціях морських гідротехнічних споруд, зокрема плавучих залізобетонних;

- визначити раціональні склади керамзитобетонів, провести промислове впровадження отриманих результатів.

Об'єкт досліджень – структура і властивості легких бетонів на пористих заповнювачах для тонкостінних конструкцій морських гідротехнічних споруд та їх зміна в процесі експлуатації.

Предмет досліджень – закономірності впливу виду цементу, модифікаторів, заповнювачів і пігментів на структуру і властивості легких бетонів в типових для морських гідротехнічних споруд умовах експлуатації.

Методи дослідження. Фізико-механічні властивості бетонних сумішей і бетонів визначалися відповідно до діючих нормативів на повіреному обладнанні. Застосовано мікроскопічний і рентгенофазовий аналіз структури бетонів, аналіз технологічної пошкодженості та цифровий аналіз кольорової гами легких декоративних бетонів. Вибір раціональних складів модифікованих легких бетонів з забезпеченою довговічністю виконувався із застосуванням методів планування експерименту і експериментально-статистичного моделювання.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в наступному:

- доведена можливість використання цементів з пуцоланом в якості альтернативи бездобавочному сульфатостійкому портландцементу в бетонах тонкостінних гідротехнічних споруд при забезпеченні їх довговічності за умови високої водонепроникності бетону;

- встановлено вплив різних типів цементів, включаючи цементи з пуцоланом, та суперпластифікатору полікарбосилатного типу на структуру і фізико-механічні властивості керамзитобетонів з кварцовим і пористими пісками;

- виявлено вплив керамзитового піску і гранульованого піноскла в якості частини дрібного заповнювача на структуру, середню густину, міцність та

довговічність керамзитобетонів для тонкостінних конструкцій морських гідротехнічних споруд в типових для них умовах експлуатації;

- встановлена можливість зниження середньої густини керамзитобетонів на різних типах цементів при забезпеченні їх довговічності в умовах комплексної дії середовища експлуатації тонкостінних конструкцій гідротехнічних споруд завдяки використанню пористих пісків та суперпластифікатору полікарбосилатного типу;

- доведена можливість використання залізоокисних пігментів у декоративних керамзитобетонах для тонкостінних гідротехнічних споруд при забезпеченні їх міцності та довговічності;

- з використанням комплексу експериментально-статистичних моделей визначені раціональні склади керамзитобетонів, що включають пористі піски, для тонкостінних конструкцій морських гідротехнічних споруд, зокрема плавучих залізобетонних.

Практичне значення отриманих результатів. Розроблені склади модифікованих керамзитобетонів з пористими пісками з забезпеченими рівнями міцності, морозостійкості, водонепроникності та корозійної стійкості у морській воді. Розроблені склади декоративних керамзитобетонів для тонкостінних конструкцій гідротехнічних споруд з високою довговічністю. У промислових умовах підтверджена можливість використання цементів з пуцоланом в бетонах морських гідротехнічних споруд. На Херсонському державному заводі «Паллада» виготовлена дослідно-промислова партія модифікованого керамзитобетону рекомендованого складу, проведено дослідження щодо можливості використання цементу ПЦ II/A-II-500 P-II для суднобудівних бетонів. Результати досліджень використовувалися ПрАТ «Івано-Франківськцемент» при виробництві сульфатостійкого портландцементу і цементів з пуцоланом, а також впроваджені в навчальному процесі в Одеській державній академії будівництва та архітектури при підготовці здобувачів вищої освіти за спеціальностями 192 «Будівництво та цивільна інженерія» і 194 «Гідротехнічне будівництво, водна інженерія та водні технології».

Особистий внесок здобувача полягає у формулюванні робочої гіпотези, мети і постановці завдань досліджень, проведенні експериментальних досліджень структури і властивостей модифікованих бетонів, обробці та узагальненні отриманих результатів, впровадженні результатів досліджень у виробництво і навчальний процес. Всі основні результати досліджень були одержані автором самостійно.

Особистий внесок автора в роботах, що надруковані в співавторстві, полягає в наступному:

- дослідження структури і властивостей модифікованих керамзитобетонів для тонкостінних гідротехнічних споруд, узагальнення результатів [1,5,15,16];

- проведення досліджень міцності і довговічності бетонів на сульфатостійкому портландцементі та портландцементі з пуцоланом, узагальнення результатів [3,7,10,12];

- дослідження структури і властивостей модифікованих керамзитобетонів з різними типами дрібного заповнювача [4,8,9,11,14];

- проведення аналізу структури і властивостей декоративних керамзитобетонів для тонкостінних конструкцій гідротехнічних споруд [2,6,13].

Апробація дисертаційної роботи. Основні положення і результати досліджень, виконаних в дисертаційній роботі, були представлені на таких міжнародних, всеукраїнських і регіональних конференціях та семінарах: міжнародних наукових конференціях «Структуроутворення, міцність і руйнування композиційних будівельних матеріалів і конструкцій» (м. Одеса, 2018, 2019 роки), міжнародних науково-технічних конференціях «Гідротехнічне і транспортне будівництво» (м. Одеса, 2016-2018 роки), міжнародній науково-технічній конференції «Моделювання та оптимізація будівельних композитів» (м. Одеса, 2019 р.), конференціях професорсько-викладацького складу Одеської державної академії будівництва та архітектури (м. Одеса, 2017-2019 роки), науково-практичних конференціях «Проблеми та перспективи розвитку будівельного комплексу м. Одеси» (м. Одеса, 2016, 2018 роки), міжнародній науково-технічній конференції «Ресурсоекономні

матеріали, конструкції, будівлі та споруди» (м. Рівне, 2018 р.), науково-практичному семінарі «Структура, властивості та склад бетону» (м. Рівне, 2020 р.).

Публікації. Основні положення дисертації опубліковані у 16 наукових працях, з яких 6 статей у фахових виданнях України (4 індексуються наукометричною базою Index Copernicus), 2 статті у наукових періодичних виданнях інших держав (1 у періодичному науковому виданні держави, що входить до Європейського Союзу, індексується наукометричною базою Web of Science), 8 тез доповідей у збірниках наукових конференцій.

Структура та обсяг дисертації. Дисертацію викладено на 186 сторінках, у тому числі 132 сторінки основної частини, складається із вступу, 5 розділів, висновків, списку використаних джерел (212 найменувань) та додатків на 9 сторінках, містить 25 рисунків і 20 таблиць.

РОЗДІЛ 1

ВЛАСТИВОСТІ І ДОВГОВІЧНІСТЬ ЛЕГКИХ БЕТОНІВ ГІДРОТЕХНІЧНИХ СПОРУД

1.1 Легкі бетони для гідротехнічних споруд

1.1.1 Огляд основних типів заповнювачів для легких бетонів

Заповнювачами для бетонів вважають штучні або природні матеріали, розміри яких знаходяться в визначеному діапазоні. Заповнювачі займають до 80% об'єму композиту, сприймають напруження усадки і в кілька разів зменшують усадки бетону в порівнянні з усадкою цементного каменю [1]. У бетоні застосовують крупний (більше 5 мм) і дрібний заповнювач. До заповнювачів висуваються вимоги, що враховують особливості їх впливу на властивості бетону [2, 3]. Тобто раціональний вибір заповнювачів для бетону та їх розумне використання є важливою задачею технології бетону [4].

Для приготування легкобетонних сумішей використовують природні, штучні або отримані з відходів промисловості заповнювачі [5, 6]. Для гідротехнічних споруд більш широко використовують штучні пористі заповнювачі, одержані поризацією природної сировини чи виготовлені з промислових відходів. Ці заповнювачі представлені керамзитом, аглопоритом, шлаковою пемзою, вермікулітом, зольним гравієм, шлаковим гравієм та ін. Перший завод з виробництва легких заповнювачів для бетону був відкритий у США, досвід його роботи показав, що однорідна якість і склад штучних заповнювачів має багато переваг в порівнянні з заповнювачами природного походження [7].

Найбільш розповсюдженим типом пористих заповнювачів є керамзит – це пористий матеріал, що отримують прискореним випалом глинистих порід, які спучуються при нагріванні до 1300 °С [8]. Керамзитовий гравій виготовляється з розміром зерен від 5 до 40 мм, також виробляється керамзитовий щебінь і пісок [9]. Керамзит застосовують як заповнювач для виготовлення легкого бетону, для тепло- і звукоізоляції. Також можливе застосування керамзитового

гравію підвищеної густини в дорожніх бетонах для влаштування нижніх шарів двошарових покриттів [10]. Структура керамзиту являє собою спечену склоподібну масу, що складається з комірок переважно сферичної форми [11]. Комірки відділені одна від одної тонкими стінками зі скла з включенням залишків мінералів, що не розчинилися. В залежності від складу сировини, добавок і температури випалу отримують керамзит з різною насипною густиною – від 150 до 900 кг/м³ [12]. Найбільш щільні варіанти керамзиту під назвою «керамдор» використовувалися навіть для покриттів цементобетонних доріг [13]. Дослідні ділянки таких доріг успішно експлуатувалися протягом тривалого часу. Технологія виробництва керамзитового гравію передбачає короткотривалий випал сировини, спучування та утворення гранул. При порушенні технології охолодження на поверхні гравію утворюються радіальні і концентричні тріщини, які зменшують його міцність та збільшують водопоглинання [14]. Існує технологія отримання керамзитового гравію, армованого органічними і неорганічними волокнами: базальтовим волокном, матеріалами з відходів вуглезбагачення та відходами виробництва теплоізоляційних матеріалів [15].

На відміну від керамзиту аглопоритовий щебінь характеризується більшою часткою відкритих пор (15...20%), які в бетоні заповнюються водою і цементним тістом [1]. Це призводить до деякого підвищення витрати цементу, але сприяє зміцненню заповнювача і зчепленню з цементним каменем, що сприятливо позначається на міцності бетону. Також аглопорит відрізняється порівняно високою однорідністю за насипною густиною і міцністю, але на сучасному ринку України він практично не представлений.

Спучений перліт використовують як дрібний заповнювач для легкого бетону [16], а також як теплоізоляційний матеріал і заповнювач для теплоізоляційних, конструкційно-теплоізоляційних і жаростійких бетонів. У зв'язку з великим водопоглинанням спученого перліту проводилися дослідження щодо гідрофобізації його поверхні розчинами ГКЖ-10 і ГКЖ-11, завдяки якій значно зменшується його водопоглинання, що створює умови для більш ефективного

використання заповнювача [1]. Проте недостатня міцність спученого перліту [17, 18] не дає можливості виробляти на його основі конструкційні бетони достатньої для тонкостінних гідротехнічних споруд міцності.

Також в останні роки в якості легкого заповнювача все частіше використовують піноскло, яке представляє собою застиглу скляну піну [19, 20]. Піноскло є легким пористим матеріалом зі спученого скла, в якому рівномірно розподілені комірки, що розділені тонкими стінками. Пористість піноскла складає 80..95%, переважає дрібна пористість. Основним світовим виробником піноскла є фірма «Pittsburgh Corning», що має виробництва в США, Канаді, Бельгії, Німеччини, Чехії. Середня густина піноскла змінюється в залежності від фракцій від 40 до 500 кг/м³ [20]. В СРСР була розроблена технологія отримання гранульованого піноскла з відходів скляної промисловості з насипною густиною 100..350 кг/м³ та з межею міцності в циліндрі 0,6..1,1 МПа [1]. Створювалась технологія виготовлення піноскла зі зниженими технологічними витратами без варіння з одноразовим нагріванням сировини до 800..850°C. Отримані за цією технологією матеріали мали міцність на стиск 1,2..9,8 МПа і середню густина 200..600 кг/м³ [21].

Міцність піноскла в 10 разів більше міцності інших теплоізоляційних матеріалів такої ж теплопровідності або середньої густини [22], тому деякі дослідники висловлюють ідею про недоцільність окремого вивчення властивостей піноскла, посилаючись на великий резерв міцності матеріалу [23, 24]. Порівнюючи керамзит і піноскло можна сказати, що керамзит при меншому відсотку пористості (71%..85%) має більший відсоток водопоглинання за масою (19%..21%) [25, 26]. Дослідження впливу вологи на зразки з піноскла протягом 30 діб показали [22], що зразки з піноскла максимально водонасичувались на 0,9% та їх міцність знизилась лише на 10%. В повітряно-сухому стані усі види піноскла є морозостійкими, а морозостійкість зволоженого піноскла знижується по мірі збільшення в ньому дефектів структури і відкритої пористості. При випробуванні піноскла на стиск при навантаженні 200 кг/м³ майже ніколи не спостерігається різкого

руйнування зразків, що характерно для крихких матеріалів [22]. Дослідним шляхом доведено, що за межу міцності на стиск піноскла можна приймати величину тиску при деформації, що стабілізована.

Ще одним склоподібним заповнювачем для легкого бетону є дорсил. Це склокристалічно поризований щебінь у вигляді порожніх скляних сфер з насипною густиною близько 1000 кг/м^3 і межею міцності до 100 МПа. Характеристики дорсилу дозволяють використовувати його в декоративних, кислотостійких бетонах і асфальтобетонних дорожніх покриттях. [1]

Заповнювачі впливають на вартість, властивості та довговічність бетону [2]. Більшість дослідників вважають неперервний зерновий склад заповнювача найбільш ефективним. Пустотність заповнювача зменшується при поєднанні зерен різної крупності, дрібні частинки будуть розташовуватися в пустотах між більшими. Іншою важливою характеристикою заповнювача, яка впливає на властивості бетонної суміші, є питома поверхня зерен заповнювача, що зворотно пропорційна діаметру зерен [2]. Дрібнодисперсні заповнювачі [27] частіше бувають доступні тільки у вигляді подрібненого матеріалу, що призводить до високої водопотреби суміші та погіршує характеристики його оброблюваності. В.П. Петров [28] і Я.Ш. Штейн [29] вважали, що ступінь неоднорідності гранул керамзиту несуттєво впливає на властивості бетону. Н.А. Попов висловлював протилежну думку і вважав, що головними факторами, які впливають на основні властивості бетону певної міцності, є якість наповнювачів і їх зерновий склад [30]. Тобто якість і однорідність пористих заповнювачів суттєво впливає на всі властивості легкого бетону.

Також на структуру та міцність легких бетонів впливає попередня обробка заповнювача. В.М. Вировим і О.А. Кучеренком для підвищення якості керамзитобетону та інших легких бетонів була запропонована технологія гідрофобізації поверхні пористого гравію [31, 32]. Для гідрофобізації поверхні використовуються кремнійорганічні рідини різного типу [32, 33], рідше бітумна емульсія [34]. У [35] доведено, що керамзитобетони на обробленому деревинно омиленою смолою керамзиті мають в 1,5 рази менше

водопоглинання і на 6..23% більшу міцність на стиск. При досить високій ефективності попередньої обробки заповнювача, вона вимагає додаткової технологічної операції, чим ускладнює виготовлення легкого бетону.

Таким чином, ґрунтуючись на досвіді використання і застосування легких заповнювачів, можна зробити висновок, що для конструкційних легких бетонів, зокрема для конструкцій тонкостінних гідротехнічних споруд, у якості пористого заповнювача найбільш широко використовується керамзит. Також в останні роки перспективним матеріалом для легких бетонів, які працюють у вологих та несприятливих умовах зовнішнього середовища, стає гранульоване піноскло як пористий заповнювач, що практично не поглинає вологу.

1.1.2 Досвід експлуатації гідротехнічних споруд з легких бетонів

Батьківщиною перших гідротехнічних споруд вважається Стародавній Єгипет, де до наших днів збереглися залишки побудованої між 2950 і 2750 рр. до н.е. дамби Сад Ель-Кафаров [36]. Серед відомих людству гідротехнічних бетонів бетон на пористих заповнювачах був першим [37]. Пліній ще у 1-му сторіччі пропонував рецепт, який включав вапно, пуцолан і товчений туф. Протягом декількох століть гідротехнічні споруди з легкого бетону будувалися в Римській імперії, деякі з них збереглися до теперішнього часу [38]. Наприклад досі існує побудований у I-му сторіччі бетонний мол у місті Поццуолі [39]. Легкі бетони на основі туфу і пемзи широко використовувалися для гідротехнічних споруд на Кавказі. З туфобетону у 30-х роках минулого сторіччя було виконано облицювання Арташатського каналу, а з 50-их років більшість гідротехнічних споруд Вірменії будувалися з бетонів на літоїдній пемзі [40].

Легкі бетони мають декілька переваг перед важкими при їх використанні в гідротехнічному будівництві. Наприклад в [41] проведено порівняння модифікованих конструкційних легких бетонів класів В40..В60 з рівноміцними важкими бетонами, викладено переваги легких бетонів і ефект від реалізації цих переваг в конструкціях. Виділяється міцність контактної зони пористого

заповнювача, яка обумовлює переваги у властивостях конструкційних легких бетонів, зокрема підвищений рівень границь області мікротріщиноутворювання, висока морозостійкість і водонепроникність. При зменшенні відстані між арматурою в гідротехнічних спорудах використовуються заповнювачі зменшеного розміру, зазвичай з максимальною крупністю від 10 до 20 мм, і суміші з рухомістю від 18 до 22 см [42].

Бетони на легких заповнювачах успішно використовувалися для будівництва мостів в Норвегії, США, Японії, Німеччині, Фінляндії та інших країнах [43, 44]. У 1958 р. балки та інші елементи метро-мосту в Москві були виготовлені з керамзитобетону. Перший керамзитобетонний міст був збудований в колишньому СРСР у 1961 році та забезпечував переправу через р. Ахтубу [45]. У США і Канаді [46] легкий бетон використовували для будівництва близько 200 автомобільних мостів з 30-х і до 80-х років минулого століття. Легкий бетон на основі спучених сланців міцністю 48 МПа при середній густині 2000 кг/м^3 використовувався у США для мостових конструкцій [47]. У Західній Європі перший міст з легкого бетону був побудований в кінці 1960-х років. Досвід використання легкого бетону для будівництва і реконструкції мостів в штаті Каліфорнія з 1960 по 1990 роки підтвердив довговічність і надійність даного матеріалу [48]. 50-ти річний досвід експлуатації бетонних мостів на легких заповнювачах показав, що мости працювали задовільно і їх довговічність не відрізняється від мостів з важкого бетону [46]. В Норвегії з легкого бетону класу LC-55 з середньою густиною $1900..1950 \text{ кг/м}^3$ у 1999 році побудовано міст «Stolma bridge», що має довжину прольоту 148 м [49]. Для бетону цього мосту використано пористий заповнювач Леса-800, високомарочний цемент і мікрокремнезем. За рахунок застосування суперпластифікаторів В/Ц сумішей не перевищувало 0,40.

Керамзитобетон показав себе як ефективний матеріал для виробництва напірних труб методом вібропресування [50]. Використання керамзитобетону для звичайних і попередньо напружених керамзитобетонних прогонових

споруд з прольотами до 30 м і ланок водопропускних труб регламентувалося відомчими будівельними нормами ВСН 28-65, прийнятими у 1965 році.

Керамзитобетон і подібні йому матеріали широко використовуються для морських плавучих залізобетонних споруд. Одним з перших кораблів з легкого залізобетону вважається побудоване у США в 1918 році судно «Атлантик». До другої світової війни США мали вже 104 судна постачання з легкого залізобетону, вантажопідйомністю від 3200 до 140000 тон [51].

У другій половині минулого сторіччя на Херсонському заводі залізобетонного суднобудування «Паллада» були збудовані декілька залізобетонних плавучих доків з керамзитобетонних конструкцій [52]. В якості матеріалу для водонепроникних внутрішніх переборок понтонів залізобетонних і композитних плавучих доків керамзитобетон на заводі «Паллада» широко використовувався на протязі двадцяти років. Обстеження даних плавучих доків підтвердити довговічність керамзитобетону при експлуатації в морі [53], а більшість з цих доків досі експлуатуються [54].

Для великогабаритних залізобетонних плавучих споруд бетони на пористих заповнювачах широко і з успіхом використовуються в останні 25 років. Нафтодобувна платформа Heidrun з 1995 року працює в Північному морі. Корпус платформи виконано з легкого бетону класу LC-60 при середній густині 1950 кг/м^3 [41, 55]. Бетон корпусу платформи Hibernia, яка збудована у Канаді у 1998 році, включає спучений сланець у кількості 50% від об'єму крупного заповнювача [56]. Середня густина даного бетону 2160 кг/м^3 , міцність на стиск 70 МПа. Морські бетонні платформи для видобутку і перевалки нафти і газу є рушійною силою в розробці високоякісних бетонів [42, 57]. Наприклад у [58, 59] було розглянуто особливий вид легкого бетону густиною менш ніж 1000 кг/м^3 для корпусів сендвіч-кораблів. З 1995 по 2005 роки було проведено багато досліджень бетону з використанням легкого заповнювача для морських платформ [42, 60]. Їх мета полягала у розробці бетонів з найбільшою міцністю при малій густині. В даний час легкий бетон з високою міцністю і густиною $1900..2000 \text{ кг/м}^3$ може масово вироблятися в морі на місці будівництва.

Як за значено вище, для залізобетонних плавчих споруд необхідна висока міцність при низькій вазі [42], що залежить від використання заповнювачів. Спуско-підйомний комплекс MPU Heavy Lifter [61, 62] використовується для демонтажу знятих з експлуатації видобувних платформ та для монтажу фундаментів вітрових установок в Північному морі. В його конструкціях вперше для морської споруди використовується легкий бетон, який частково включає пористий пісок. Завдяки цьому при середній густині 1600 кг/м^3 бетон має клас LC35/38. Зниження середньої густини було важливо для збільшення підйомної сили понтонів. Також існує досвід використання керамзитового гравію для суднобудівного сіркобетону, який мав середню густину до 2000 кг/м^3 при міцності до 50 МПа і водонепроникності до W20 [63]. У колишньому СРСР розробкою легких суднобудівних бетонів займалися фахівці декількох науково-дослідних інститутів та вищих навчальних закладів [64, 65, 66, 67]. На Городецькій верфі у 1954 році було збудоване експериментальне керамзитобетонне судно, а на Сокольській верфі у 1959 було збудовано два дебаркадера: з керамзитобетону та з бетону на літоїдній пемзі [66]. У 1962 році на Городецькій верфі збудована баржа з корпусом з попередньо напруженого керамзитобетону [68]. Городецька верф у Нижегородській області досі будує залізобетонні плавучі споруди.

Висока ефективність легкого бетону у залізобетонному суднобудуванні дозволила ще у 1995 році Міжнародній федерації бетону і залізобетону (fib) сформулювати рекомендації щодо використання в конструкціях плавучих нафтових платформ переважно високоміцного легкого бетону класів від LC40 до LC70 [41, 69]. Для таких бетонів рекомендовано використовувати штучні пористі заповнювачі, зокрема на основі відходів виробництв, та природні пористі заповнювачі з вулканічних гірських порід.

Таким чином, завдяки низькій середній густині при достатньому рівні міцності і високій водонепроникності та морозостійкості легкі бетони на пористих заповнювачах, і насамперед керамзитобетони та їх аналоги, є ефективними матеріалами для тонкостінних гідротехнічних споруд, зокрема

для плавучих залізобетонних. Враховуючи досвід та умови експлуатації гідротехнічних споруд з легких бетонів можна відзначити їх високу довговічність та окреслити перспективи їх більш широкого застосування, зокрема для великогабаритних стоянкових плавучих споруд.

1.2 Методи забезпечення довговічності бетонів гідротехнічних споруд

Довговічність є одним з основних показників як конструктивної, так і економічної ефективності бетонів. Довговічність має багато визначень, одно з яких – це здатність не знижувати набрану міцність протягом тривалого періоду експлуатації конструкцій, які перебувають під впливом зовнішнього середовища [70]. Тиск води, коливання температури, зволоження і висушування, вплив хімічно активних середовищ є факторами, які руйнують бетон. Для морських гідротехнічних споруд довговічність обумовлюється багатьма чинниками, значимість кожного з яких визначається конкретними умовами експлуатації.

Дослідження корозійної стійкості бетону в морській воді були розпочаті більше 100 років тому з натурних спостережень морських споруд [71, 72]. Першим нестійкість бетонів на «рядових» портландцементних в'язках в морській воді зазначив академік А.А. Байков, виявивши, що при збільшенні щільності бетону термін служби збільшується, але руйнуючі процеси не зупиняються [71, 73]. Він відзначав, що для всіх бетонних споруд неминуче відбуваються явища вилугування вапна та як наслідок конструкція «втрачає всіляку зв'язність і руйнується». Питаннями тривалих (25 і 50 років) випробувань бетону займалися Міллер і Менсон в США, проводячи порівняння бетонних зразків на різних видах цементу. В якості агресивних середовищ використовували сульфати натрію і магнію [74].

Корозійні процеси в бетоні під дією водного середовища в залежності від природи речовин, що містяться у воді, класифікував В.М. Москвін. Згідно його відомій класифікації корозію бетону можна поділити на три основні види [75].

При корозії першого виду відбувається руйнування цементного каменю внаслідок вимивання з бетону $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Вилуговування 15-30% $\text{Ca}(\text{OH})_2$ з цементного каменю призводить до зменшення міцності бетону на 40-50%. Корозія другого виду – це наслідок реакції складових цементного каменю з кислотами і деякими солями. При обмінних реакціях утворюються легкорозчинні з'єднання, які не мають міцності. До цього виду корозії відносять вуглекислотну, загальнокислотну, магнезіальну. Корозія третього виду виникає при дії на цементний камінь речовин, що здатні утворювати кристалічні сполуки збільшеного об'єму. Вони чинять тиск на стінки пор і руйнують цементний камінь. Корозія відбувається при дії рідин, що містять сульфат кальцію, сульфат натрію та ін. В результаті взаємодії утворюються кристалічні трьохсульфатні гідроалюмінати з об'ємом в 2,8 рази більшим за об'єм вихідних речовин. Також В.М. Москвін відзначав, що в чистому вигляді окремі види корозії зустрічаються рідко, частіше вони поєднуються або переходять одна в іншу. Разом з тим, В.В. Кинд [76] класифікував процеси корозії в залежності від характеру процесів, що протікають в бетоні.

В цілому проблему довговічності конструкцій слід розглядати в декількох аспектах з врахуванням і вивченням основних факторів впливу навколишнього середовища на споруди в цілому та вивчення процесів корозії зсередини [77, 78]. Швидкість корозії бетону в початковій стадії визначається швидкістю взаємодії навколишнього агресивного середовища з компонентами бетону. Далі, після появи на поверхні бетону продуктів корозії, на швидкість корозії впливає також дифузія агресивних середовищ до поверхні зіткнення. Первісне зниження швидкості корозії пов'язане з утворенням на поверхні контакту продуктів корозії, які уповільнюють доступ до неї агресивних речовин [79, 80].

Температура навколишнього середовища істотно впливає на кінетику корозійних процесів, а саме розчинність гідроксиду кальцію підвищується з пониженням зовнішньої температури і досягає піку при низьких позитивних температурах [77, 81]. У різних умовах експлуатації на довговічність бетону

істотно впливають і хімічні властивості заповнювачів. Хімічні реакції в заповнювачах (силікатні, залізисті, вапняні) викликають істотне збільшення об'єму заповнювача і напруження в бетоні [37]. За даними А. І. Мінаса при впливі розчинів солей 5% концентрації на протязі 3 місяців збільшується кристалізаційний тиск нових сполук в залежності від виду кристала (Na_2SO_4 – 4,4; MgSO_4 – 3,6; NaCl – 2,7; CaSO_4 – 0,09 МПа) [82]. Морська вода містить значну кількість хлоридів натрію, що змінює характер деяких видів корозії. Встановлено [83, 84], що вплив хлоридів на бетон менш суттєвий, ніж сульфатів, проте в їх присутності сульфатна корозія відбувається повільніше.

При сульфатній корозії доцільно застосування пуцоланових і шлакових портландцементів, але у випадках, коли бетони не піддаються частим поперемінним замерзанням і відтаюванням. У разі частого замерзання-відтаювання рекомендується застосовувати сульфатостійкі портландцементи з вмістом C_3A не більш 5%. При великих концентраціях сульфатів для підвищеної щільності бетону рекомендується додавати в сульфатостійкі портландцементи пуцоланові добавки у кількості від 5 до 8% [82].

Сумісна дія низьких температур і сульфатної корозії є більш агресивною. Наприклад у [85] показано, що у 5% розчині сульфату натрію при зниженні температури навколишнього середовища з $+20^\circ\text{C}$ до $+4^\circ\text{C}$ при інших рівних умовах бетони втрачають міцність в 1,37 рази швидше. При комбінуванні впливів сульфатів і карбонатів швидкість руйнування збільшується в 1,42 рази, а при зниженні температури розчину швидкість руйнування збільшується в 1,58 разів. Це показує, що утворення кристалів етрінгіту в бетоні при впливі сульфатних середовищ більш активно при нормальних температурах, при комбінуванні впливів сульфатів і карбонатів утворюється система етрінгіт-таумазит, а при зниженні температури руйнування бетону відбувається внаслідок утворення кристалів таумазита.

Доведено [86, 87], що введення в бетон хімічно-активних добавок може сприяти синтезу додаткових «небезпечних» для цементного каменю кристалогідратних сполук з гідроксидом кальцію (вапном) і алюмінатною

фазою портландцементу. З одного боку це нейтралізує фази клінкеру для подальшої їх взаємодії з активними компонентами зовнішнього середовища, а з другого – ущільнює структуру бетону на мікрорівні. Додатковим чинником стабільності бетонів в умовах агресивного середовища за думкою авторів [86] є обов'язкова витримка бетону до 28 діб при нормальних умовах для сприяння гідратації портландцементу. Якщо використовувати бетон до закінчення активних процесів гідратації цементна, то процес вилуговування вапна з бетону почнеться одразу з початку експлуатації конструкції.

При дослідженні корозії дрібнозернистих бетонів з активними заповнювачами підтверджено [88], що заповнювачі з гідравлічно активних матеріалів підвищують корозійну стійкість бетонів в розчинах сульфатів натрію і магнію, а також в кислих середовищах. Активні заповнювачі, взаємодіючи з гідроксидом кальцію в'язучого, забезпечують підвищену щільність контактної зони композиту (штучного конгломерату) і тим самим уповільнюють дифузію агресивного агента. Завдяки посиленню контакту між заповнювачем і цементною матрицею, корозійна стійкість бетону з заповнювачами, механізм дії яких обумовлений взаємодією із цементною матрицею, більше ніж бетонів на традиційному заповнювачі. Умовно основні заповнювачі можна розташувати в ряд по мірі зниження стійкості бетонів на їх основі в агресивних середовищах [88, 89]: уртит, перліт, шлак, керамзит, бетонний лом, кварцовий пісок.

Бетони на карбонатних пористих заповнювачах показали високу довговічність в сульфатних середовищах [90]. Це, зокрема, дозволило ефективно використовувати ці бетони для конструкції Джанкойської зрошувальної системи, яка експлуатувалася в воді зі значним вмістом сульфат-іона і бікарбонат-іона. Обстеження показали, що після 12-14 років експлуатації в агресивному середовищі без захисного покриття конструкції не мали ознак руйнування, а міцність бетону зросла в 1,5-2,5 рази. У роботі [91] на карбонатних породах було отримано бетон класу В45 для напірних труб.

Бетон, що застосовується для конструкцій плавучих споруд, експлуатується в жорстких умовах, у зв'язку з цим до суднобудівного бетону

висуваються підвищені вимоги за багатьма показниками [92]. Для тонкостінних густоармованих конструкцій матеріал має відповідати наступним фізико-механічним характеристикам: міцність на стиск від 30 МПа; міцність на згин від 4 МПа; водонепроникність від W10; морозостійкість від 400 циклів.

Комплекс досліджень показав, що конструкційні керамзитобетони марок за міцністю М300..500 та з середньою густиною 1500..1800 кг/м³ в порівнянні з важкими бетонами мають підвищену деформативність, що важливо для тонкостінних конструкцій [93]. Так само в порівнянні з важкими бетонами для легких збільшуються показники ударної в'язкості, граничного навантаження при тріщиноутворенні, знижується теплопровідність та залишається однаковий з важкими бетонами показник зносостійкості. Встановлено [93], що бетони на керамзитових заповнювачах мають більш високу стійкість в умовах підвищених температур в порівнянні з аналогічними бетонами на важких заповнювачах, що збільшує експлуатаційну надійність і довговічність матеріалу. Це обумовлено близькими значеннями коефіцієнтів термічного розширення заповнювача та бетонної матриці.

Підвищення щільності бетону досягається підбором виду заповнювача та його зерновим складом [94]. Заповнювач забезпечує максимальне заповнення порот і зменшує кількість цементу. Так само підвищення щільності бетону залежить від В/Ц відношення та від типу цементу. Пуцолановий, глиноземний цемент і цементи з великою питомою поверхнею позитивно впливають на щільність бетонного каменю [94].

Пуцолан використовували ще для будівництва Аппіанського шляху, Колізею і Пантеону, а також Пон-дю-Гар в Південній Франції. В 1414-му році були виявлені рукописи римського архітектора Поліо Вітрувіуса, в яких містилася інформація про пуцолан. В 1163-му році Фра Джокондо використав пуцолановий цемент для будівництва пірса Пон-де-Нотр-Дам в Парижі. Ключем до довговічності давніх цементів було саме використання вулканічного попелу або пуцолани (pozzolana). Рецепт бетону, встановлений архітектором Вітрувієм у першому столітті до нашої ери, включав пуцолану і шматки

вулканічної породи. Опубліковані в 2013 році дослідження показали, що додавання морської води в суміш фактично зміцнило римські морські бетони, які використовуються для побудови причалів і хвилерізів [95].

У [96] при виробництві легких бетонів рекомендується застосування портландцементів з додаванням шлаків і зол, що веде до збільшення стійкості бетонів в агресивних середовищах. У [97] показано, що додавання в бетонну суміш кремнезему в поєднанні з доменним шлаком збільшує непроникність для розчинів хлоридів. Крім цього, підвищується хімічна стійкість бетону до сульфатів та морозостійкість. У [98] відзначено, що додавання в портландцемент 10% і 20% природної пуцолани покращує механічні властивості бетону, а заміна 10% цементу пуцоланом приводить до зниження швидкості корозії та відповідно підвищення довговічності композиту. Проте додавання дрібнодисперсних пуцоланових добавок [83] збільшує питому поверхню суміші і, як наслідок, призводить до збільшення її водопотреби, що дещо сповільнює наростання міцності бетону.

У [99] проводилися довгострокові натурні випробування бетону на різних видах цементу. Протягом 10 років порівнювався вплив морської води на фізико-хімічні властивості, лужність, вміст вільних хлоридів і сульфатів, біологічне обростання і електрохімічні властивості бетону. Зразки випробовувалися в зоні підводного, змінного і надводного рівнів води. Всі бетонні зразки мали майже близькі фізико-хімічні властивості, але бетони на пуцолановому цементі і бетони з додаванням шлаку мали більш високу корозійну стійкість у всіх трьох зонах впливу.

Вологісні деформації легкого бетону є більшими, ніж у аналогічного важкого бетону [4]. Але фактично при поперемінному змочуванню і висиханню у конструкціях з легкого бетону існує дві зони – зовнішня, яка завжди змочується і висихає, і внутрішня, яка завжди ізольована [100]. Товщина цих зон і концентрація хлоридів в зовнішньому шарі залежить від щільності бетону, агресивності навколишнього середовища і температури повітря.

Спираючись на вищевикладене, можна зробити висновок, що довговічність бетонів гідротехнічних споруд забезпечується цілим комплексом властивостей, основними з яких є водонепроникність, морозостійкість і корозійна стійкість. Для морських гідротехнічних споруд основним корозійним середовищем є сульфатне, відповідно для бетону даних споруд важливою є їх сульфатостійкість. Корозійна стійкість бетону у сульфатному середовищі забезпечується насамперед використанням відповідних сульфатостійких цементів, або цементів з пуцоланом, а також високою щільністю структури бетону.

1.3 Модифікатори як метод підвищення довговічності бетону

Одним з ефективних і при цьому доступних методів поліпшення властивостей бетону є застосування добавок-модифікаторів [101]. «Добавками» вважають речовини, що модифікують, регулюють і змінюють властивості бетонних сумішей, а також структуру і властивості затверділих бетонів і розчинів. Метою впливу на бетонні суміші і бетони є додання їм спеціальних заданих властивостей. Добавки можуть бути неорганічного і органічного походження, а також їх поєднанням. Згідно [102] мінеральні добавки для бетонів можуть бути класифіковані на хімічно активні мінеральні добавки і мікро-наповнювачі з мінеральних добавок. Завдяки різноманітності складів добавок можна знизити рівень витрат на одиницю продукції, підвищити якість бетонних і залізобетонних конструкцій, задати певні властивості та збільшити термін служби бетонів і конструкцій в цілому. Використання модифікаторів дозволяє спрямовано керувати структурою бетонів і отримувати композити, що мають задані властивості [103], зокрема спеціальні корозійно- та жаростійкі бетони, багатофункціональні бетони, високоміцні та бетони, що самоущільнюються, бетони для масивних конструкцій тощо. За рахунок застосування модифікаторів можливо отримання бетонів, що мають високу міцність, морозостійкість, водонепроникність, біо- та хімічну стійкість [2]. Використання бетону з

підвищеною міцністю сприяє підвищенню довговічності, але зайвий запас міцності не завжди забезпечує довговічність. Рациональним рішенням є застосування бетонів з меншим запасом міцності, що мають підвищену довговічність, яка визначається їх структурою [104, 105].

Зараз в світовій практиці не існує єдиної класифікації добавок для бетонів та будівельних розчинів. В різних країнах діють свої класифікаційні схеми. Одні країни та дослідники класифікують добавки за їх основним призначенням, інші за механізмом дії. Залежно від основного ефекту дії, добавки для бетонів і будівельних розчинів відповідно до ДСТУ Б В.2.7-171:2008 [106] підрозділяються на наступні види:

- добавки, що регулюють властивості готових до вживання бетонних та розчинних сумішей;

- добавки, що змінюють властивості бетонів і розчинів;

- добавки, що надають бетонам (розчинам) спеціальних властивостей.

Виходячи з механізму дії на процеси гідратаційного тверднення в'язучих у бетонах добавки за Ратіновим В.Б. [107] можна розділити на чотири класи:

Перший – електроліти, що змінюють розчинність в'язучих речовин;

Другий – добавки, що реагують із в'язучими речовинами з утворенням важкорозчинних або малодисоційованих сполук;

Третій – готові центри кристалізації;

Четвертий – органічні поверхнево-активні речовини.

Класифікаційну схему за основним ефектом дії добавок можна вважати більш зручною з точки зору їх вибору та застосування.

Наряду з хімічними добавками для активного управління структурою і властивостями бетону застосовують мінеральні добавки [2, 108]. Зазвичай це порошки різними мінеральними породами, що отримані з техногенної сировини [109]. Від наповнювачів мінеральні добавки відрізняються більш дрібними розмірами зерен, а від хімічних модифікаторів здатністю не розчинятися у воді. Таким чином мінеральні добавки є тонкою складовою твердої фази бетону.

В останні роки все більшого поширення знаходять комплексні поліфункціональні модифікатори, що складаються з двох або більше добавок і дозволяють надавати бетонам необхідної структури і властивостей [110, 111]. Наприклад у [112] показано, що на основі полікарбоксилатів та прискорювачів тверднення, регулюючи аніонну активність полікарбоксилатів у поєднанні з електролітами, створюється можливість отримувати цілий спектр високофункціональних бетонів з покращеними експлуатаційними властивостями, підвищеною довговічністю, зносостійкістю, захисними властивостями по відношенню до арматури та високою хімічною стійкістю. Введення до складу бетону комплексної активної мінеральної добавки призводить до ущільнення структури зі значною кількістю низькоосновних гідросилікатів кальцію та твердих розчинів гідроалюмосилікатного складу, що позитивно відображається на довговічності композиту [103]. Бетони без додавання комплексної добавки характеризуються більш активним вимиванням в агресивному середовищі розчинних сполук типу портландиту.

При додаванні пуцоланів мінералогія портландцементних систем радикально не змінюється, але змінюється пористість і капілярна структура, що збільшує показники міцності та довговічності [113]. Суміші, що містять дві або більше мінеральних добавок в поєднанні з пластифікаторами, створюють можливості для розробки високоміцних та довговічних бетонів [114]. Ефективність використання комплексних органо-кремнеземистих добавок у вирішенні задачі підвищення міцності досягає 100% в цементних композитах в порівнянні з немодифікованими бетонами, та 30% в порівнянні з цементними системами, модифікованими тільки суперпластифікаторами [115].

У роботі [116] показано, що завдяки застосуванню комплексного модифікатора, що складається з суперпластифікатору С-3 і мікрокремнезему, суттєво підвищується довговічність суднобудівних керамзитобетонів для тонкостінних плавучих та гідротехнічних споруд, а також їх міцність. У [117, 118] при тривалому дослідженні комплексом фізико-хімічних методів встановлено, що застосування комплексної добавки зола-винесення ТЕС +

метакаолін суттєво підвищує стійкість бетонів в сульфатному середовищі. У [119] завдяки використанню полікарбоксилатного суперпластифікатору забезпечена міцність керамзитобетонів до 45 МПа, при цьому вдалося знизити водоцементне відношення до 0,35 при збереженні рухомості керамзитобетонної суміші на рівні 1..2 см. При цьому введення полікарбоксилатного суперпластифікатору дозволило збільшити коефіцієнт конструктивної якості до 20%. Проте добавки на основі полікарбоксилатів менш ефективні при використанні портландцементів з вмістом шлаку [120].

Тепловиділення і усадка корозійностійких бетонів з комплексною алюмосилікатною добавкою (сумішшю золи-винесення та метакаоліну) є меншим, ніж суміші контрольного складу [121], при цьому найбільший вклад в зниження інтенсивності тепловиділення вносить витрата суперпластифікатору [122, 123]. Позитивний ефект щодо зменшення тепловиділення у часі дозволяє рекомендувати склади модифікованих комплексною алюмосилікатною добавкою бетонів для експлуатації не тільки в агресивних середовищах, але й для бетонування масивних конструкцій.

При виготовленні легких бетонів [27] завдяки використанню пористих заповнювачів рекомендується попередньо змішувати легкий заповнювач, пісок та приблизно $2/3$ всієї води замішування. Добавки в легкі бетони рекомендується додавати якомога пізніше, щоб уникнути неконтрольованого поглинання добавки заповнювачем.

Таким чином, використання модифікаторів є ефективним методом впливу на структуру і відповідно властивості бетону, який дозволяє, зокрема, досягнути підвищення довговічності матеріалу. При цьому фактично обов'язковим для сучасної технології бетонів є використання пластифікуючих добавок. В останні роки, незважаючи на протиріччя щодо сумісності з деякими видами цементу, все ширше використовуються суперпластифікатори полікарбоксилатного типу, які також ефективно працюють у складі комплексних добавок та в бетонах з пуцоланом або на основі пуцоланових цементів.

1.4 Вплив виду цементу на довговічність гідротехнічних споруд

Згідно з ДБН В.2.4-3-2010 [124] основні вимоги до гідротехнічних споруд повинні виконуватися протягом обґрунтованого строку служби. При цьому однією з основних вимог є забезпечення міцності та стійкості до навколишнього середовища. Особливостями гідротехнічного бетону є забезпечення тривалої експлуатації конструкцій, що постійно або періодично омиваються водою. Крім того, в залежності від умов експлуатації, до гідротехнічного бетону висуваються також вимоги щодо щільності, водонепроникності та морозостійкості [1].

Бетон в гідротехнічних спорудах за характером експлуатації можна поділити на три види [125]:

- бетон підводний. Крім сульфатостійкого цементу для нього використовують пуцоланові цементи, шлакопортландцементи та портландцементи з обов'язковим додаванням пластифікаторів;

- бетон змінного рівня води. Це бетон, що піддається найбільшому циклічному впливу зволоження і висушування. Він має задовольняти вимоги з морозостійкості та виготовляється на сульфатостійкому цементі, портландцементі з застосуванням комплексних модифікуючих добавок, рідше на шлакопортландцементі з добавками;

- бетон надводний. Бетон, який знаходиться вище рівня води і в загальному випадку виготовляється на всіх видах цементу.

Закладені вимоги до гідротехнічного бетону при проектуванні його складу є основою довговічності споруди [126]. Використання сульфатостійкого цементу, а також пластифікованого і гідрофобного цементів, пуцоланового і шлакопортландцементу для виготовлення бетону гідротехнічних споруд обумовлено умовами їх експлуатації [127].

Г.П. Вербецький [128] вказував, що одним з основних умов довговічності бетону у водному середовищі є його висока щільність, яка знижує проникність. У роботах А.В. Мішутіна і С.О. Кровякова показано, що на довговічність

конструкцій в підводній частині позитивно впливає водонепроникність, в надводній – висока морозостійкість, а в зоні змінного рівня води – комплекс властивостей, що також включає тріщиностійкість [129, 130].

Зважаючи на таку специфіку експлуатації гідротехнічних споруд, а також з врахуванням корозійного впливу, для них має використовуватися сульфатостійкий портландцемент. Це може бути як бездобавочний сульфатостійкий цемент, так і цемент з пуцоланом. Наприклад у [131] показано, що використання пуцоланів в бетоні (як мінеральних добавок) знижує пористість, збільшує стійкість до агресивних речовин, знижує кількість тепла від гідратації і покращує оброблюваність свіжої суміші. Твердіння портландцементів з пуцоланом – це сумісні процеси гідратації клінкерної частини і реакцій хімічної взаємодії гідратних новоутворень з активними компонентами добавки [83]. Процес протікає повільно, наприклад при додаванні 30% трепелу до цементу гідроксид кальцію не буде повністю зв'язаний з кремнеземом трепелу через рік твердіння. Незважаючи на початкове повільне зростання міцності, більш пізні значення міцності бетонів на пуцолановому цементі можуть бути вище, ніж в аналогічних бетонах на портландцементі.

При впливах прісних, особливо м'яких і сульфатних вод, стійкість шлакопортландцементів і пуцоланових цементів вище, ніж портландцементів [128]. У [132] показано, що застосування цеоліту як природного пуцолану підвищує сульфатостійкість цементів. У [133] з шлакопортландцементу отримано бетон для гідротехнічних споруд класів В7,5...В40 з водонепроникністю W2...W20 та морозостійкістю від 50 циклів. Такий бетон є стійким до руйнуючої дії м'яких сульфатних вод, особливо якщо використовувати сульфатостійкий шлакопортландцемент з обмеженням в складі клінкеру C_3A до 8%, а в складі шлаку Al_2O_3 – до 8%.

Часто використання пуцоланових цементів в бетонах сприяє зниженню морозостійкості [134], величина якої пропорційна щільності структури пуцоланової добавки. Тобто мінеральні добавки з щільною структурою, які не збільшують водопотребу бетонів на пуцоланових цементах, практично не

знижують морозостійкість. За даними [83, 135] пуцолани надають бетонним сумішам більшу пластичність і відповідно легкоукладальність. Бетони на цементі з пуцоланом характеризуються також зниженою повітропроникністю та підвищеною сульфатостійкістю. Порівняння корозійної стійкості в 2% розчині сульфату магнію бетонів на трьох видах цементу (сульфатостійкому портландцементі, сульфоалюмінатному цементі і звичайному портландцементі) показало, що після року випробувань бетони на сульфатостійкому і сульфатоалюмінатному цементі більш стійкі до сульфатного середовища, ніж бетони на портландцементі [136]. Дослідження можливості використання для виготовлення бетону в'язучих з високим вмістом додаткових цементних матеріалів показали, що присутність сульфат-іонів як активаторів підсилює осадження твердих фаз, які ущільнюють матрицю і підвищують механічну міцність системи [137].

Для масивних гідротехнічних споруд доцільно використовувати цементи типу ПЦ-П/А-Ш-400 [125], які мають менше тепловиділення та нижчу ціну. Бетони на портландцементі з додаванням шлаку мають меншу усадку в порівнянні з чистим портландцементом, досить високу сульфатостійкість і довговічність. Обов'язковою умовою довговічності бетону також є застосування ефективних модифікаторів і забезпечення сприятливого температурно-вологісного режиму твердіння.

У [138] досліджено вплив сульфатів і карбонатів калію та натрію на характер утворення мікроструктури цементного каменю. Встановлено, що карбонат калію є більш ефективною добавкою для бетонів на портландцементі з точки зору модифікації мікроструктури, а сульфат калію краще використовувати для бетонів на шлаковому портландцементі. У [139], завдяки заміні 45% портландцементу на 30 % дрібнозернистої базальтової золи та 15% порошку вапняку, отримано бетони з високою стійкістю до хлоридного середовища. Отримані модифіковані бетони мали міцність на стиск 39 МПа в віці 28 діб, та 57 МПа через рік спостережень. У [140] показано, що бетони з домішками гідралічного вапна та з додаванням пуцолани замість частини

портландцементу мають міцність на стиск 35 МПа, що аналогічно міцності аналогічних бетонів на портландцементі.

Таким чином, довговічність бетонів морських гідротехнічних споруд обумовлюється комплексом властивостей, серед яких однією з основних є корозійна стійкість у сульфатному середовищі. Для забезпечення корозійної стійкості бетонів необхідно використовувати сульфатостійкі цементи, а основною альтернативою їм є цементи з пуцоланом. Використання сульфатостійкого шлакопортландцементу в морських спорудах можливе лише при незначних впливах заморожування і відтавання на конструкцію.

1.5 Особливості структури та властивостей декоративних бетонів

Для отримання декоративних (кольорових) бетонів застосовують як білі так і звичайні цементи, різноманітні мінеральні та органічні пігменти. Пігменти для декоративних бетонів повинні мати високу світло-, атмосферо- і лугостійкість [127]. Крім того, для декоративних бетонів важлива покриваність (криюча здатність) пігменту і інтенсивність фарбування. [141]. Найбільш якісними є матеріали із застосуванням синтетичних порошкових пігментів [142, 143]. Стабільний хімічний склад таких пігментів дозволяє отримувати широку кольорову гаму як на білих, так і на звичайних портландцементних.

Пігменти, що розбілюють цемент, вводять не більше 25% за масою. Кількість природних пігментів, що мають невисоку колірну насиченість, вводять більше 10%, інтенсивних мінеральних – до 10%, пігментів на основі оксиду заліза – до 5%. Органічні фталоціанінові пігменти блакитного, синього і зеленого кольорів вводяться в кількості 1% від маси цементно-піщаної суміші. Зворотнім ефектом підвищення кількості пігментів у бетонній суміші є зниження міцності [141]. Органічні і вуглецеві пігменти можуть відводитись із затверділої цементної матриці на відміну від пігментів з оксидів металів [144]. Пігменти для бетону на основі оксидів металів не мають хімічної реактивності

в бетоні. Тому зміна кольору бетонних поверхонь в часі в більшості випадків не пов'язана з дефектами пігментів, а ґрунтується на змінах в структурі бетону.

Навіть через кілька років гідратація в'язучого в бетоні в повному обсязі не закінчена [144] і з плином часу на поверхні і в структурі бетону відбуваються зміни. Вицвітання пігментів є додатковим джерелом візуальних змін на бетонних поверхнях. Найбільш виражені зміни відбуваються в разі застосування синього пігменту ультрамарин, який реагує з мінералами цементу, або в разі застосування вуглецевого пігменту, який з часом може вимиватися з цементної матриці через недостатню стабільність зв'язування. Залізоокисні пігменти не мають такої схильності, вони хімічно інертні [144], не виявляють хімічних або фізичних змін при гідратації бетону, стійкі до впливу світла, ультрафіолету та інших природних впливів. Тому декоративні бетони з залізоокисними пігментами більш стійкі до атмосферних впливів, та не так швидко втрачають декоративні властивості в порівнянні з іншими видами пігментів.

Дослідження стійкості декоративного бетону в гідротехнічних спорудах до впливу хлоридів і до карбонізації показали, що розподіл хлоридів є однаковим для надводних зон і зон змінного рівня води, а вміст хлоридів зменшується з глибиною [145]. Надалі вміст хлоридів збільшується, утворюючи максимальну концентрацію у зовнішній поверхні бетону. З плином часу як в надводній зоні так і в зоні змінного рівня води відхилення кольоровості поверхні бетону є мінімальним. Це свідчить про незначний вплив проникнення хлоридів на кольоровість поверхні. Карбонізація навпаки має негативний вплив на кольоровість поверхні.

Утворення висолів на поверхні матеріалу пов'язано з розчиненням та винесенням з'єднань, що знаходяться в бетоні на його поверхню, або в результаті впливу середовища, що містить розчини солі [146]. Джерелом розчинних з'єднань в бетоні можуть бути всі його складові, а постійним джерелом розчинних з'єднань є в'язуче. Для зниження інтенсивності висолів пропонуються різні добавки, спрямовані на утворення малорозчинних сполук, зниження проникності цементного каменю шляхом зміни його структури,

ускладнення проникнення води у бетон. У [147] встановлено, що при введенні добавок, які містять кремній, за рахунок зменшення рухливості гідроксиду кальцію зменшується висолеутворення, відбувається ущільнення бетону. Введення в цемент добавок з кремнієм зменшує макропористість на 2..3% і кількість висолеутворень на 35..50%. Введення до складу бетонної суміші замість частини портландцементу мікродоломіту та часткове використання доломітового заповнювача підвищує інтенсивність забарвлення виробів, а водостійкість і морозостійкість бетону не змінюються [148].

При збільшенні у складі декоративного бетону кількості деяких пігментів значно зростають деформації усадки [149]. Також на деформації усадки впливає збільшений вміст біліту і трьохкальцієвого алюмінату в складі цементу.

Проте при обмеженому використанні пігментів їх вплив на властивості бетону є мінімальним. Так, у [150] встановлено, що зразки бетону з введенням 1% від маси цементу залізоокисного зеленого, залізоокисного червоного і залізоокисного коричневого пігментів мають приблизно однакові фізико-механічні характеристики, а при введенні фталоціанінового блакитного пігменту міцність на стиск бетону навіть дещо зростає. У [151] при використанні пігменту в кількості до 15 кг/м³ морозостійкість бетону збільшувалася на 50 циклів, але підвищення кількості пігменту до 25 кг/м³ вже знижувало морозостійкість бетону на 50 і більше циклів. Це пояснюється тим, що введення оптимальної кількості пігментів позитивно впливає на порову структуру бетону в якості наповнювачів, зокрема підвищує однорідність пор за розмірами. Аналогічний висновок зроблено у [152] при дослідженні участі пігментів в структуроутворенні декоративного бетону. Від 2 до 6% від маси цементу замінювалося порошковим пігментом: червоним (Fe₂O₃), синім ((Na₂O·Al₂O₃·mSiO₂)_x·Na₂Sn) та жовтим (FeO(OH)). Виявлено, що найбільший вплив на структуроутворення надає (Na₂O·Al₂O₃·mSiO₂)_x·Na₂Sn, дещо меншій – FeO(OH). З одного боку велика питома поверхня пігментів вимагає збільшення кількості води замішування, але з іншого боку дрібнодисперсні порошки сприяють щільнішому заповненню матриці бетону. У [153] отримано

атмосферостійкій пігмент CaTiSiO_5 на основі титану, кремнію і кальцію з високим ступенем дисперсності, що сприяло поліпшенню його фізико-технічних та пігментних характеристик.

Проведений рентгенографічний [154], диференційно-термічний і мікроструктурний аналізи декоративних суднобудівних бетонів показали, що залізоокисні пігменти не вступають в реакції з мінералами цементу. За рахунок застосування комплексного модифікатору і порошкових пігментів отримані мікропористі декоративні суднобудівні бетони з високою однорідністю пор.

Є позитивний досвід використання цеоліту у складі декоративних бетонів [155]. Розроблені [156] декоративні мінеральні фарби на основі лужних цементів. Встановлено, що найбільший вплив на показники білизни систем має вміст сполук заліза у складі вихідної сировини [157]. Експлуатаційні властивості фарб показали високу стійкість у часі до атмосферного впливу та умов експлуатації. Але в бетонах з низьким В/Ц через низьку проникність цементного каменю зростає ризик розвитку внутрішньої корозії в результаті лужно-силікатної реакції пігментів [158].

Таким чином, отримання декоративних керамзитобетонів підвищеної корозійної стійкості та довговічності для тонкостінних конструкцій гідротехнічних споруд є актуальною задачею. Основним методом її вирішення можна вважати використання залізоокисних пігментів, які дозволяють надавати бетонам відповідного кольору без суттєвого впливу на властивості, що обумовлюють довговічність матеріалу.

Проведений огляд технічної літератури за темою дисертації дозволив сформулювати *робочу гіпотезу* роботи.

Довговічність керамзитобетонів в умовах комплексної дії середовища експлуатації тонкостінних конструкцій морських гідротехнічних споруд може бути забезпечена перерозподілом капілярно-пористої структури, що має сприяти підвищенню водонепроникності та морозостійкості матеріалу при забезпеченні корозійної стійкості в сульфатному середовищі. Досягнути цього можливо завдяки використанню ефективних полікарбоксилатних суперпластифікаторів,

що дозволяють отримувати суміші з гранично низьким В/Ц. Корозійна стійкість у сульфатному середовищі може бути забезпечена насамперед використанням сульфатостійкого цементу, а в умовах дефіциту даного в'язучого в якості альтернати можна розглядати цементи з пуцоланом. Також для тонкостінних плавучих залізобетонних споруд актуальною є задача зниження середньої густини керамзитобетонів, досягнути чого без підвищення проникності матеріалу можна за рахунок використання пористих пісків з низькою проникністю, зокрема гранульованого піноскла. При необхідності надання керамзитобетонам морських гідротехнічних споруд декоративних властивостей найбільш простим методом вирішення завдання є використанням залізоокисних пігментів, які мають використовуватися одночасно з ефективними цементами і суперпластифікаторами, що забезпечують довговічність матеріалу.

Виходячи з робочої гіпотези і спираючись на проведеній огляд технічної літератури, була сформульована *мета роботи*: розробка керамзитобетонів для тонкостінних конструкцій морських гідротехнічних споруд, зокрема плавучих залізобетонних, з підвищеною довговічністю в умовах комплексної дії середовища експлуатації за рахунок використання раціональних типів цементів, суперпластифікатору і пористих пісків.

Для досягнення мети були поставлені завдання дослідження, які наведені у вступі дисертації.

РОЗДІЛ 2
МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ
І ХАРАКТЕРИСТИКА ВИКОРИСТАНИХ МАТЕРІАЛІВ

2.1 Характеристика матеріалів, використаних при дослідженнях бетонів

При вивченні структури і властивостей бетонів для тонкостінних конструкцій морських гідротехнічних споруд були використані наведені нижче вихідні матеріали.

В якості в'язучих використовувалися:

- сульфатостійкий портландцемент ССПЦ 400-Д0 (ДСТУ Б В.2.7-85-99) виробництва Івано-Франківського цементного заводу ПрАТ «Івано-Франківськцемент». Хімічний склад даного бездобавочного цементу та мінералогічний склад клінкеру наведено у таблиці 2.1. Питома поверхня даного цементу складає 313 м²/кг.

Таблиця 2.1

Хімічний склад сульфатостійкого портландцементу ССПЦ 400-Д0
та мінералогічний склад клінкеру виробництва
Івано-Франківського цементного заводу

Хімічний склад цементу		Мінералогічний склад клінкеру	
SiO ₂ %	20,93	C ₃ S %	48,64
Al ₂ O ₃ %	4,25	C ₃ A %	4,40
Fe ₂ O ₃ %	4,93	Σ C ₃ A + C ₄ AF %	19,55
CaO %	63,49	КН %	0,86
MgO %	0,88	СаО _В %	1,22
SO ₃ %	2,44		
R ₂ O %	0,78		
Cl %	0,00		

- портландцемент ПЦ II/A-П-500 Р-Н (ДСТУ Б В.2.7-46:2010) виробництва Івано-Франківського цементного заводу ПрАТ «Івано-Франківськцемент». Хіміко-мінералогічний склад даного портландцементу з пуцоланом наведено у таблиці 2.2. Питома поверхня даного цементу складає 393 м²/кг.

Таблиця 2.2

Хімічний склад портландцементу ПЦ II/A-П-500 Р-Н
та мінералогічний склад клінкеру виробництва
Івано-Франківського цементного заводу

Хімічний склад цементу		Мінералогічний склад клінкеру	
SiO ₂ %	22,92	C ₃ S %	59,59
Al ₂ O ₃ %	5,46	C ₃ A %	7,39
Fe ₂ O ₃ %	3,51	C ₂ S %	13,83
CaO %	60,89	C ₄ AF %	12,12
MgO %	0,80	КН %	0,92
SO ₃ %	2,42	CaO _B %	2,23
R ₂ O %	0,90		
Cl %	0,014		

- сульфатостійкий пуцолановий цемент СЕМ IV/A(P) 42,5 R-SR (аналог ПЦЦ IV/A-500 Р) виробництва Івано-Франківського цементного заводу ПрАТ «Івано-Франківськцемент». Даний цемент має вміст клінкеру 77% і вміст природної пуцолани 23%. Вміст C₃A у його клінкері 7,6%, вміст SO₃ в цементі – 2,34%, вміст Cl-, – 0,013%. Питома поверхня даного цементу складає 5410 м²/кг.

У якості заповнювачів для бетонів в проведених дослідженнях використовувалися наступні матеріали.

Керамзитовий гравій фракції 5..10 мм виробництва Одеського керамзитового заводу ВАТ «Кераміт» (ДСТУ Б В.2.7-17-95 «Гравій, щебінь і

пісок штучні пористі»). Властивості керамзитового гравію визначалися згідно ДСТУ Б В.2.7-264:2011 «Заповнювачі пористі неорганічні для будівельних робіт. Методи випробувань». Гравій складався переважно із зерен округлої форми, тобто не був отриманим дробленням більш великих фракцій. Це, зокрема, відповідає рекомендаціям ОСТ 5.9880-85 «Бетон суднобудівний легкий. Технологія приготування та застосування» щодо заповнювачів для легких суднобудівних бетонів.

Насипна густина керамзитового гравію, що використовувався у дослідженнях керамзитобетонів з пористими пісками, складала 500 кг/м^3 , міцність на стиск в циліндрі – 2,4 МПа, що відповідає марці з міцності П100. Насипна густина керамзитового гравію, що використовувався у дослідженнях декоративних керамзитобетонів, складала 540 кг/м^3 , міцність на стиск в циліндрі – 2,7 МПа, що відповідає марці з міцності П125.

Середнє значення водопоглинання за годину керамзитового гравію фракції 5...10 мм за масою складало 13,4%. Середнє значення коефіцієнту розм'якшення гравію – 0,77. Втрата маси при кип'ятінні – 0,38%.

Гранітний щебінь фракції 5..20 мм. Насипна густина гранітного щебеню – 1390 кг/м^3 . Вміст пилюватих частинок в щебені – 0,2%. Марка гранітного щебеню за дробимістю 1200. Вміст зерен пластинчастої форми – 19% . Щебінь відповідає вимогам ДСТУ Б В.2.7-75-98 «Щебінь і гравій щільні природні для будівельних матеріалів, виробів, конструкцій і робіт. Технічні умови».

Кварцовий пісок Микитівського кар'єра (Вознесенський район Миколаївської області) з модулем крупності 2,46 (усереднене значення). Пісок відповідає вимогам ДСТУ Б В.2.7-32-95. Випробування піску здійснювалося згідно ДСТУ Б В.2.7-232:2010 «Будівельні матеріали. Пісок для будівельних робіт. Методи випробувань». Пісок промивався водою для видалення пилюватих і глинистих часток, після чого просушувався на повітрі. Насипна густина піску – 1480 кг/м^3 . Зерновий склад промитого кварцового піску наведено в таблиці 2.3. Даний вид кварцового піску використовувався як один з розповсюджених і найбільш якісних типів дрібного заповнювача для бетонів з

наявних на півдні України пісків. Також важливо зазначити, що аналогічний пісок постачається на Херсонський державний завод «Паллада» для виробництва суднобудівних бетонів.

Таблиця 2.3

Зерновий склад кварцового піску Микитівського кар'єра

Залишки на ситах	Розмір отворів сит, мм					Прохід скрізь сито 0,16
	2,5	1,25	0,63	0,315	0,16	
часткові, %	8,0	8,7	25,4	37,5	20,0	0,4
повні, %	8,0	16,7	42,1	79,6	99,6	

Керамзитовий пісок виробництва Одеського керамзитового заводу, розсіяний по фракціях. Насипна густина піску у фракції 0,16-0,315 мм – 790 кг/м³, у фракції 0,315-0,63 мм – 750 кг/м³, у фракції 1,25-2,5 мм – 700 кг/м³, у фракції 2,5-5 мм – 605 кг/м³.

Гранульоване піноскло виробництва ТОВ НПП «Технологія», м. Шостка, з розміром часток піноскляного піску (гранул) від 1,25 до 5 мм. Піноскло розсіювалося по фракціям. Насипна густина піноскла фракції 1,25-2,5 мм – 270 кг/м³, фракції 2,5-5 мм і 5-8 мм – 230 кг/м³. Діапазон робочих температур піноскла від -260 до + 485 °С, водопоглинання за годину 1,4..1,5% за об'ємом (5,2..6,5% за масою). Піноскляні гранули постачаються виробником розсіяні на фракції 1-4 мм и 4-8 мм [159].

У якості модифікаторів при дослідженні бетонів використовувалися:

- добавка суперпластифікатор полікарбосилатного типу Coral ExpertSuid-5 (гіперпластифікатор). Виробляється на основі полімерів карбонових кислот і ефірів згідно ТУ У В.2.7-24.6-35365973-001:2008 компанією Coral, м. Запоріжжя. Склад добавки спроектований фахівцями в галузі будівельної хімії України та Німеччини [160];

- добавка суперпластифікатор С-3 (СП-1), ТУ 5745-001-97474489-2007 (ТУ 5870-005-58042865-05), виробництва ТОВ Поліпласт, м. Новомосковськ.

При дослідженнях властивостей декоративних легких бетонів для надання матеріалам відповідного кольору використовувалися неорганічні залізоокисні синтетичні пігменти торгової марки Bayferrox виробництва LanXESS GmbH (Німеччина) [161]:

- червоний пігмент – IOX R03 (Bayferrox 130 B), основна речовина – Fe_2O_3 ;
- жовтий пігмент – IOX Y02 (Bayferrox 920), основна речовина – $\text{FeO}(\text{OH})$.

Процес виробництва пігментів включає стадію високотемпературної кальцинації, за рахунок чого пігменти мають високу внутрішню твердість та є стійкими до зміни кольору.

Для приготування бетонних сумішей використовувалася вода, яка відповідає вимогам ДСТУ Б В.2.7-273:2011 «Вода для бетонів і розчинів. Технічні умови».

2.2 Методика досліджень фізико-механічних властивостей і структури бетонів

Рухомість бетонних сумішей всіх типів визначалася згідно ДСТУ Б В.2.7-114-2002 «Будівельні матеріали. Суміші бетонні. Методи випробувань».

Перемішування бетонних сумішей всіх типів проводилося в змішувачах примусового типу.

Твердіння бетонних зразків відбувалося в нормальних (стандартних) умовах, тобто при температурі $20 \pm 2^\circ\text{C}$ і вологості $95 \pm 5\%$.

Міцність бетонів на стиск визначалася згідно ДСТУ Б В.2.7-224:2009 «Будівельні матеріали. Бетони. Правила контролю міцності» на зразках – кубах з ребром 10 см і 7,07 см. Міцність на розтяг при згині визначалася на зразках – балочках розміром $4 \times 4 \times 16$ см.

Визначення водонепроникності бетонів проводилося за методом мокрої плями згідно ДСТУ Б В.2.7-170:2008 «Будівельні матеріали. Бетони. Методи визначення середньої густини, вологості, водопоглинання, пористості і водонепроникності» на зразках-циліндрах діаметром 150 мм і висотою 150 мм. Водонепроникність бетонів також додатково контролювалася за повітропроникністю приладом «АГАМА-2» на зразках-кубах з ребром 15 см.

Морозостійкість бетонів визначалася прискореним методом в солоній воді при заморожуванні до -50°C згідно ДСТУ Б В.2.7-49-96 «Бетони. Прискорені методи визначення морозостійкості при багаторазовому заморожуванні та відтаванні» (третій метод).

Середня густина, пористість і вологість бетонів визначались згідно ДСТУ Б В.2.7-170:2008 «Будівельні матеріали. Бетони. Методи визначення середньої густини, вологості, водопоглинання, пористості і водонепроникності» на зразках – кубах з ребром 10 см і 7,07 см.

Визначення корозійної стійкості бетону в штучній морській воді (26,9 г NaCl + 3,4 г MgCl₂ + 2,5 г MgSO₄ + 1,2 г CaSO₄ на 1 л) проводилося згідно ОСТ 5.9266-76 «Бетон судостроительный тяжелый. Методы испытаний бетона» в лабораторних умовах. Проводилося почергове зволоження і висушування зразків при кімнатній температурі за режимом: 6 годин зразки знаходилися у воді, 18 годин зразки висихали при кімнатній температурі.

Вивчення корозійної стійкості бетонів в рідкому агресивному середовищі проводилося згідно ДСТУ Б ГОСТ 27677:2011. В якості агресивного було прийняте сульфатне середовище (розчин Na₂SO₄) з концентрацією SO₄²⁻ 10000 мг/л.

Мікроскопічний аналіз структури керамзитобетонів і важких бетонів проводився на растровому електронному мікроскопі РЕМ-106И в режимі вторинних електронів. Для проведення дослідження відбирався фрагмент з поверхні зламу зразку бетону площею приблизно 1 см². Відібрані фрагменти закріплювалися за допомогою двостороннього струмопровідного скочу 3m і далі на них наносилося спеціальне напилення, яке сприяє стіканню зарядів з

непровідних для струму зразків та являє собою золотий шар завтовшки приблизно 10нм. Напруга прискорення у кВ, що використана при дослідженні, зазначається на фото. Сила струму електронної гармати складала 85..100мА, напруга 220В з чотирикратною розгорткою, вакуум всередині камери об'єктів складав не більше 5×10^{-4} мм рт.ст.

Рентгенофазовий аналіз структури досліджених керамзитобетонів проводили в монохроматизованому Со-К α випромінюванні ($\lambda = 1,7902\text{А}$) на рентгенівському дифрактометрі ДРОН-2. Ідентифікація сполук (фаз) проводилася шляхом порівняння міжплощинних відстаней (d, А) і відносних інтенсивностей ($I_{\text{отн}}=I/I_0$) експериментальної кривої з даними електронної картотеки PCPDFWIN.

Значення коефіцієнту технологічної пошкодженості керамзитобетонів по площі $K_{\text{П}}$ (см/см²) визначався як відношення суми довжин проявлених поверхневих тріщин на зразку в межах ділянки, що аналізувалася (T_0), до площі цієї ділянки (S) [162-164]:

$$Kn_s(\text{см} / \text{см}^2) = \frac{\sum T_0}{S} \quad (2.1)$$

Технологічні тріщини на поверхні проявлялися за рахунок експонування зразків у розчині таніну – запареної дубової кори. Для збільшення точності визначення довжини поверхневих технологічних тріщин, що проявилися, їх довжина замірялася по цифрових фотографіях зі збільшенням в масштабі 5:1.

Пошук раціональних складів керамзитобетону проводився із застосуванням методик планування експерименту і експериментально-статистичного моделювання [165-167]. Для розрахунку експериментально-статистичних (ЕС) моделей здійснювався перехід від натурних перемінних до їх кодованих значень, тобто до діапазону від -1 до +1. Розрахунок і статистичний аналіз ЕС-моделей виконувався із застосуванням розробленої в Одеській державній академії будівництва та архітектури програми COMPEX.

Розрахунки ЕС-моделей виконувалися із урахуванням прийнятої помилки експерименту при двосторонньому ризику 10%. Для даного рівня ризику з використанням критерію Гаусовим точності проводилася перевірка значимості коефіцієнтів, тобто перевіралася гіпотеза про відмінність оцінок коефіцієнтів ЕС-моделей від нуля. Незначущі коефіцієнти послідовно виключалися з ЕС-моделі, а модель з усіма значущими оцінками коефіцієнтів перевірялася на адекватність за критерієм Фішера.

2.3 Загальна схема проведення досліджень

Дослідження структури, властивостей і довговічності бетонів для тонкостінних конструкцій морських гідротехнічних споруд проводилися в декілька зв'язаних етапів.

За результатами проведеного аналізу літературних джерел і даних попередніх пошукових експериментів було зроблено висновок, що при експлуатації у морській воді довговічність бетонів в значній мірі визначається їх стійкістю до сульфатної корозії. Корозійна стійкість бетону в сульфатному середовищі обумовлюється насамперед типом в'язучого, яке використане для його приготування. На сучасному будівельному ринку України існує певний дефіцит бездобавочного сульфатостійкого портландцементу, а бетон на основі сульфатостійкого шлакопортландцементу, як відомо, гірше працює в умовах морозних впливів [9, 168]. Дефіцит є наслідком того, що при непостійному попиті на це в'язуче технологічні особливості виробництва бездобавочного сульфатостійкого портландцементу обумовлюють певні незручності для його замовників. Основні – це необхідність попереднього замовлення на виготовлення партії такого цементу та обмеження щодо мінімального розміру даної партії. Імпортні сульфатостійкі бездобавочні портландцементи в Україні не є поширеними і мають з урахуванням доставки в декілька разів вищу вартість в порівнянні з вітчизняними. Відповідно при невеликих обсягах виконання робіт з

використанням сульфатостійкого портландцементу виробник бетону не завжди може отримати необхідне в'язуче, або вимушений замовляти досить велику партію і чекати на її виготовлення.

Описана вище проблема може бути вирішена за рахунок використання альтернативного цементу, виробництво якого в масовій кількості є технологічно простішим, при цьому дане в'язуче зможе забезпечити необхідний для більшості конструкцій морських споруд рівень корозійної стійкості, морозостійкості та водонепроникності бетону. Альтернативою сульфатостійкому портландцементу можуть бути цементи з пуцоланом, бетони на основі яких характеризуються задовільною морозостійкістю при досить високій сульфатостійкості [98, 99].

Відповідно на *першому етапі* роботи було досліджено вплив виду цементу на довговічність бетону в умовах, характерних для морських гідротехнічних споруд. Вивчалася структура, фізико-механічні показники і довговічність бетонів на основі бездобавочного сульфатостійкого портландцементу ССПЦ 400-Д0 і портландцементу з пуцоланом ПЦ П/А-П-500 Р-Н. Ці дослідження проводилися на немодифікованих важких бетонах, але їх результати можна в цілому перенести на керамзитобетони зважаючи на те, що попри суттєво різний характер капілярно-порової структури керамзитобетонів і важких бетонів (насамперед в контактній зоні заповнювача), вплив в'язучого на корозійну стійкість цементного каменю не залежить від типу бетону. Результати даного етапу роботи описані в 3-му розділі дисертації.

На *другому етапі* роботи був досліджений вплив різних типів пісків (кварцового піску, керамзитового піску та гранульованого піноскла у якості дрібного заповнювача), а також суперпластифікатору полікарбосилатного типу на структуру, властивості та довговічність керамзитобетонів. Використання пористих пісків спрямоване на додаткове зниження середньої густини керамзитобетонів. При цьому задачею даного етапу було виявлення можливості використання керамзитобетонів з пористими пісками для тонкостінних конструкцій морських гідротехнічних споруд, зокрема плавучих

залізобетонних. На даному етапі в якості в'язучого використовувався сульфатостійкий портландцемент ССПЦ 400-Д0. Результати другого етапу роботи описані в 4-му розділі дисертації, пп.4.1,4.2,4.4.

На *третьому етапі* роботи досліджувався вплив різних типів цементів на структуру і властивості керамзитобетонів з різними типами пісків, включаючи пористі. В якості дрібного заповнювача використовувалися кварцовий пісок, керамзитовий пісок і гранульоване піноскло, що аналогічно другому етапу досліджень. В якості в'язучих використовувалися такі цементи: сульфатостійкий портландцемент ССПЦ 400-Д0, портландцемент з пуцоланом ПЦ II/A-II-500 Р-Н, сульфатостійкий пуцолановий цемент СЕМ IV/A(P) 42,5 R-SR (аналог ПЦЦ IV/A-500 Р). Всі склади досліджених керамзитобетонів модифікувалися добавкою суперпластифікатором полікарбосилатного типу. Результати третього етапу роботи описані в п.4.3 і частково в п.4.4.

На *четвертому етапі* роботи досліджувався вплив неорганічних залізоокисних синтетичних пігментів і суперпластифікаторів на фізико-механічні та декоративні властивості, а також довговічність декоративних (кольорових) керамзитобетонів. В якості в'язучих для декоративних бетонів використовувалися сульфатостійкий портландцемент ССПЦ 400-Д0 і портландцемент з пуцоланом ПЦ II/A-II-500 Р-Н. У якості модифікаторів використовувалися добавка суперпластифікатор С-3 і добавка суперпластифікатор полікарбосилатного типу. Розробка декоративних керамзитобетонів спрямована на їх використання у залізобетонному суднобудуванні з метою покращення декоративних властивостей конструкцій плавучих залізобетонних споруд. Результати четвертого етапу роботи описані в 5-му розділі дисертації, пп.5.1, 5.2.

П'ятий етап роботи присвячений впровадженню результатів досліджень і описаний у п.5.3 дисертації.

Висновки за 2-м розділом

1. Описано використані в дослідженнях матеріали, а також наведено їх основні характеристики. При виготовленні бетонів були використані цементи ССПЦ 400-Д0, ПЦ II/A-П-500 Р-Н і СЕМ IV/A(P) 42,5 R-SR (ПЦЦ IV/A-500 Р), кварцовий пісок, керамзитовий пісок і гранульоване піноскло, керамзитовий гравій і гранітний щебінь, суперпластифікатори Coral ExpertSuid-5 і С-3, неорганічні залізоокисні синтетичні пігменти.

2. Описано методику досліджень структури і фізико-механічних властивостей бетонів для тонкостінних конструкцій морських гідротехнічних споруд.

3. Описана загальна схема проведення досліджень, що складалися з п'яти пов'язаних етапів.

4. Прийняті методи досліджень структури і властивостей бетонів, а також використані в дослідженнях матеріали дають можливість вирішити поставлені завдання та реалізувати мету досліджень.

РОЗДІЛ 3

ВПЛИВ ТИПУ ЦЕМЕНТУ НА ДОВГОВІЧНІСТЬ БЕТОНІВ ГІДРОТЕХНІЧНИХ МОРСЬКИХ СПОРУД

Обов'язковою умовою довговічності бетонів конструкцій морських гідротехнічних споруд є їх корозійна стійкість у сульфатному середовищі, що забезпечується в першу чергу використанням сульфатостійких в'язучих. Але на сучасному будівельному ринку України існує певний дефіцит бездобавочного сульфатостійкого цементу. До 2014 року включно бездобавочний сульфатостійкий портландцемент в Україні виробляв лише Новоамвросіївський цементний завод ПрАТ «ХайдельбергЦемент Україна» і виробництво даного типу цементу на цьому підприємстві було налагоджено на постійній основі.

Починаючи з 2015 року через повне припинення роботи Новоамвросіївського цементного заводу єдиним виробником сульфатостійкого портландцементу в Україні стає Івано-Франківський цементний завод ПрАТ «Івано-Франківськцемент». Решта українських виробників цементу пропонують на ринку лише сульфатостійкий шлакопортландцемент, бетони на основі якого, як відомо, гірше працюють в конструкціях, що піддаються заморожуванню і відтаюванню, відповідно в більшості випадків не можуть забезпечувати необхідну довговічність тонкостінних морських гідротехнічних споруд в кліматичних умовах України та інших країн з помірним кліматом [9, 168, 169].

Проте технологічні особливості виробництва бездобавочного сульфатостійкого цементу при непостійному попиті на це в'язуче обумовлюють певні незручності для його замовників. Основні – це необхідність попереднього замовлення на виготовлення партії такого цементу та обмеження щодо мінімального розміру партії (більше 300 тонн). Імпортні сульфатостійкі бездобавочні цементы в Україні не є поширеними і з врахуванням витрат на доставку мають в декілька разів вищу вартість в порівнянні з вітчизняними.

Відповідно при невеликих обсягах виконання робіт з використанням сульфатостійкого цементу виробник бетону не завжди може отримати необхідне в'язуче, або вимушений чекати на його виготовлення.

Описана вище проблема може бути вирішена за рахунок використання альтернативного цементу, виробництво якого в масовій кількості є технологічно простішим, при цьому дане в'язуче зможе забезпечити необхідний для більшості конструкцій морських споруд рівень корозійної стійкості, морозостійкості та водонепроникності.

Як показують дослідження багатьох вчених, в якості такої альтернативи сульфатостійкому портландцементу можуть виступати цементи з пуцоланом, бетони на основі якого характеризуються високою сульфатостійкістю та задовільною морозостійкістю [98, 99, 170-172]. Відповідно на *першому етапі* роботи, який описано у даному розділі, було проведено дослідження впливу цементу на структуру і властивості бетонів, які визначають їх довговічність в типових для морських гідротехнічних споруд умовах. Задачею дослідження було встановлення можливості використання цементу з пуцоланом в конструкціях морських гідротехнічних споруд.

Відомо, що добавки-модифікатори активно впливають на структуру бетонів, відповідно на всі їх властивості. Зокрема застосування суперпластифікаторів дозволяє суттєво знизити водопотребу бетонної суміші, за рахунок чого можливо суттєво підвищити міцність бетонів і покращити рівень властивостей, які забезпечують їх довговічність. Але слід враховувати, що ефективність дії тих чи інших добавок-модифікаторів в бетоні в значній мірі залежить від виду цементу. Відповідно для більш коректного порівняння довговічності бетонів на різних типах цементів необхідно дослідити структуру і властивості немодифікованих бетонів, зокрема їх довговічність в морській воді. Капілярно-порова структура керамзитобетонів та інших бетонів на пористих заповнювачах суттєво відрізняється від структури важких бетонів, що, як показано у дослідженнях наукової школи В.М. Вирового, пояснюється структурними процесами різної спрямованості, що відбуваються що на границі

матричного матеріалу з заповнювачем [163, 164 та ін.]. В керамзитобетонах заповнювач активно взаємодіє з матрицею, поглинає вологу на початковому етапі формування структури і віддає в подальшому, що в найбільшій мірі впливає на капілярно-пористу структуру в контактній зоні заповнювача. Але з точки зору впливу типу цементу на корозійну стійкість цементного каменю в морській воді, відповідно в значній мірі – на стійкість цементно-піщаної матриці бетону, неважливим є вид заповнювача при забезпеченні його власної стійкості до сульфатної корозії. Тобто за виключенням контактної зони заповнювача, вид цементу має в цілому аналогічний вплив на корозійну стійкість цементного каменю (цементно-піщаної матриці) як керамзитобетонів, так і важких бетонів, що показано нижче. Тому в описаних в даному розділі дослідженнях, проведених в рамках *першого етапу* роботи, для оцінки впливу типу цементу на довговічність бетонів морських гідротехнічних споруд в якості базового матеріалу застосовувався бездобавочний важкий бетон.

3.1 Вплив типу цементу на міцність бетону

3.1.1 Підбір складів бетонів на різних типах цементів

З метою проведення аналізу міцності і довговічності бетонів на різних типах цементів на даному етапі досліджень згідно ДСТУ Б В.2.7-215:2009 «Бетони. Правила підбору складу» за методом абсолютних об'ємів був проведений підбір 4-х складів важких бетонів класів С20/25 (В25) і С30/35 (В35). Склади бетонів обох класів підбиралися на двох типах цементів: ССПЦ 400-Д0 і ПЦ II/A-П-500 Р-Н. Всі бетони без хімічних добавок, рухомість бетонної суміші П2, максимальна крупність щебеню 20 мм. Результати підборів складів для бетонів класу С20/25 (В25) наведено в таблиці 3.1, класу С30/35 (В35) – в таблиці 3.2.

У таблицях 3.1 і 3.2 відображено послідовний підбір складів бетонів. Так перші варіанти складів при підборі у всіх випадках показали міцність, що є

набагато більшою за необхідну. Міцність на стиск других варіантів складів при підборі була ближче до необхідної, але все ще не точно задовольняла величинам заданих класів з врахуванням розрахункового коефіцієнта варіації. Відповідно, третій варіант складів при підборі задовольнив вимоги щодо міцності.

Таблиця 3.1

Результати підборів складів бетонів класу С20/25

№ підбору	Склад бетону, В/Ц суміші	Міцність $f_{ck.cube.7}$ у віці 7 діб, МПа	Середня густина ρ у віці 7 діб, кг/м ³	Міцність $f_{ck.cube}$ у віці 28 діб, МПа	Середня густина зразків ρ у віці 28 діб, кг/м ³
1	2	3	4	5	6
на сульфатостійкому портландцементі ССПЦ 400-Д0					
1	Цемент – 393 кг/м ³ , Щебінь – 1206 кг/м ³ , Пісок – 611 кг/м ³ , Вода – 192 л/м ³ , В/Ц = 0,489	35,9	2392	46,9	2387
2	Цемент – 339 кг/м ³ , Щебінь – 1188 кг/м ³ , Пісок – 692 кг/м ³ , Вода – 182 л/м ³ , В/Ц = 0,537	27,2	2392	37,1	2394
3	Цемент – 331 кг/м ³ , Щебінь – 1190 кг/м ³ , Пісок – 701 кг/м ³ , Вода – 178 л/м ³ , В/Ц = 0,538	24,3	2389	37,8	2386
на портландцементі з пуцоланом ПЦ ІІ/А-ІІ-500 Р-Н					
1	Цемент – 365 кг/м ³ , Щебінь – 1211 кг/м ³ , Пісок – 630 кг/м ³ , Вода – 189 л/м ³ , В/Ц = 0,518	39,1	2390	45,8	2391
2	Цемент – 313 кг/м ³ , Щебінь – 1202 кг/м ³ , Пісок – 711 кг/м ³ , Вода – 176 л/м ³ , В/Ц = 0,562	32,9	2394	39,3	2384
3	Цемент – 311 кг/м ³ , Щебінь – 1202 кг/м ³ , Пісок – 712 кг/м ³ , Вода – 176 л/м ³ , В/Ц = 0,566	29,5	2382	36,2	2393

Результати підборів складів бетонів класу С30/35

№ підбору	Склад бетону, В/Ц суміші	Міцність $f_{ck.cube.7}$ у віці 7 діб, МПа	Середня густина ρ у віці 7 діб, кг/м ³	Міцність $f_{ck.cube}$ у віці 28 діб, МПа	Середня густина ρ у віці 28 діб, кг/м ³
на сульфатостійкому портландцементі ССПЦ 400-Д0					
1	Цемент – 499 кг/м ³ , Щебінь – 1182 кг/м ³ , Пісок – 509 кг/м ³ , Вода – 203 л/м ³ , В/Ц = 0,407	46,2	2406	57,5	2411
2	Цемент – 421 кг/м ³ , Щебінь – 1179 кг/м ³ , Пісок – 600 кг/м ³ , Вода – 200 л/м ³ , В/Ц = 0,475	34,5	2410	45,3	2411
3	Цемент – 433 кг/м ³ , Щебінь – 1179 кг/м ³ , Пісок – 585 кг/м ³ , Вода – 202 л/м ³ , В/Ц = 0,467	37,8	2417	49,7	2419
на портландцементі з пуцоланом ПЦ II/A-П-500 Р-Н					
1	Цемент – 478 кг/м ³ , Щебінь – 1190 кг/м ³ , Пісок – 530 кг/м ³ , Вода – 196 л/м ³ , В/Ц = 0,410	45,6	2417	56,4	2413
2	Цемент – 411 кг/м ³ , Щебінь – 1187 кг/м ³ , Пісок – 607 кг/м ³ , Вода – 191 л/м ³ , В/Ц = 0,465	40,3	2418	49,0	2414
3	Цемент – 413 кг/м ³ , Щебінь – 1187 кг/м ³ , Пісок – 606 кг/м ³ , Вода – 190 л/м ³ , В/Ц = 0,460	42,8	2426	49,3	2420

Підбір бетонів даних двох класів на різних видах цементу був необхідним для отримання можливості більш коректного порівняння властивостей бетонів відповідно на сульфатостійкому портландцементі та портландцементі з пуцоланом. Портландцементи ССПЦ 400-Д0 і ПЦ II/A-П-500 Р-Н мають різну марку, відповідно різну активність. За рахунок порівняння бетонів не з рівною витратою в'язучого на 1 м³, а рівних класів, порівняння морозостійкості, водонепроникності та корозійної стійкості бетонів буде коректнішим з

врахуванням того, що в реальних промислових умовах «базовим» показником для бетону є саме його клас. При цьому довговічність необхідно забезпечувати при дотриманні класу бетону. Виключенням в даному випадку можуть бути бетони для залізобетонного суднобудування, для яких регламентується мінімальна витрата цементу на 1 м³ суміші.

Для всіх чотирьох складів бетонів остаточною, тобто таким, що забезпечував необхідний клас при прийнятому коефіцієнті варіації у 13%, але не був вище за обумовлену класом міцність, був підбір складу за №3. Остаточні результати підбору 4-х складів бетонів наведені в таблиці 3.3. В подальших дослідженнях структури і властивостей бетонів, проведених в межах *першого етапу* роботи, результати яких наведено в даному розділі, використовувалися бетони наведених в таблиці 3.3 підібраних складів відповідно класів С20/25 і С30/35. При цьому очікувана витрата цементу на 1 м³ для бетонів на основі сульфатостійкого портландцементу ССПЦ 400-Д0 є вищою в порівнянні з бетонами на основі портландцементу з пуцоланом ПЦ П/А-П-500 Р-Н через різну активність даних цементів.

Таблиця 3.3

Склади підібраних бетонів класів С20/25 і С30/35

Клас бетону і вид цементу	Цемент, кг/м ³	Щебінь, кг/м ³	Пісок, кг/м ³	Вода, л/м ³	В/Ц
С20/25 (В25) на сульфатостійкому портландцементі ССПЦ 400-Д0	331	1190	701	178	0,538
С20/25 (В25) на портландцементі ПЦ П/А-П-500 Р-Н	311	1202	712	176	0,566
С30/35 (В35) на сульфатостійкому портландцементі ССПЦ 400-Д0	433	1179	585	202	0,467
С30/35 (В35) на портландцементі ПЦ П/А-П-500 Р-Н	413	1187	606	190	0,460

3.1.2 Зміна міцності бетонів на різних типах цементу у часі

З метою оцінки зміни у часі міцності важких бетонів підібраних складів на різних типах цементів їх міцність на стиск визначалася у віці 7, 28, 90 і 180 діб. Результати визначення міцності даних бетонів наведені в таблиці 3.4. Ці дані дозволяють проаналізувати наявність певного «резерву» в'язучих властивостей цементів у часі, що важливо з врахуванням різниці їх мінералогічного складу і гранулометрії.

За даними таблиці 3.4 побудовані графіки зміни міцності на стиск досліджених важких бетонів у часі, які показані на рис.3.1.

Таблиця 3.4

Міцність на стиск досліджених бетонів у віці 7, 28, 90 і 180 діб

Клас бетону і вид цементу	Міцність $f_{ck.cube.7}$ у віці 7 діб, МПа	Міцність $f_{ck.cube}$ у віці 28 діб, МПа	Міцність $f_{ck.cube.90}$ у віці 90 діб, МПа	Міцність $f_{ck.cube.180}$ у віці 180 діб, МПа
C20/25 на сульфатостійкому портландцементі ССПЦ 400-Д0	24,3	37,8	50,2	51,5
C20/25 на портландцементі ПЦ II/A-II-500 P-N	29,5	36,2	48,6	51,4
C30/35 на сульфатостійкому портландцементі ССПЦ 400-Д0	37,8	49,7	57,2	59,2
C30/35 на портландцементі ПЦ II/A-II-500 P-N	42,8	49,3	57,3	59,8

Аналіз графіків показує, що завдяки складу в'язучого досить очікувано міцність бетонів на портландцементі з пуцоланом ПЦ II/A-II-500 P-N у віці 7 діб є вищою, ніж аналогічних за класом бетонів на сульфатостійкому портландцементі ССПЦ 400-Д0. Тобто цемент ПЦ II/A-II-500 P-N забезпечує більш високу ранню міцність бетонів, що відповідає його маркуванню (індекс «P»). У віці 28 діб виходячи з умов експерименту міцність всіх бетонів

відповідала їх класу. Подальше зростання міцності бетонів (90 і 180 діб) на різних типах цементу відбувалося приблизно на однакову величину для рівних класів. У віці 90 діб міцність бетонів класу С20/25 (на обох видах цементу) була вище за стандартну 28-ми денну на 33-35%, а міцність бетону класу С30/35 (на обох видах цементу) за цей період зросла на 15-16%. У віці 180 діб міцність бетону класу С20/25 була вище за марочну 28-ми денну на 36-42%, а міцність бетону класу С30/35 за цей період зросла на 19-21%.

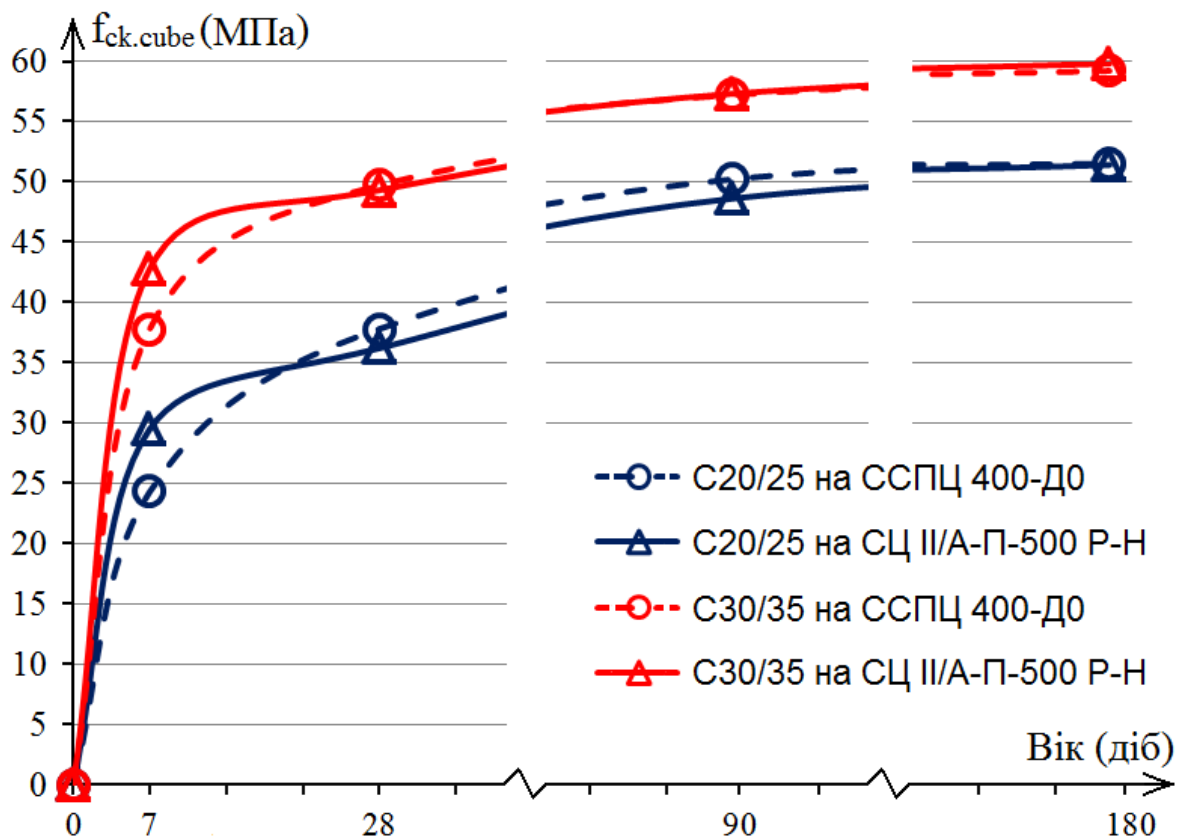


Рис.3.1. Зміна міцності на стиск досліджених важких бетонів на різних типах цементу у часі

Таким чином, при використанні портландцементу з пуцоланом ПЦ ІІ/А-П-500 Р-Н досягається більш висока рання міцність бетону, що може бути важливим у разі необхідності пришвидшення розпалубки бетонних виробів, але довготривале зростання міцності бетонів на основі цементів ССПЦ 400-Д0 і ПЦ ІІ/А-П-500 Р-Н носить приблизно однаковий характер. Останній факт свідчить про те, що для двох досліджених типів цементів, не

зважаючи на їх різну гранулометрію, темп гідратації реліктових зерен в'язучого є приблизно однаковим, що важливо з позиції забезпечення довговічності бетонів.

3.2 Дослідження водонепроникності і морозостійкості бетонів на різних типах цементів

Як зазначалося вище, водонепроникність є одним з основних показників якості бетону, який забезпечує його довговічність в конструкціях тонкостінних гідротехнічних споруд, зокрема морських.

На даному етапі досліджень визначалася водонепроникність важких бетонів 4-х досліджених складів на двох типах цементів. Випробування зразків виконувалося за методом "мокрої плями" на зразках-циліндрах. Для даних бетонів прискореним методом згідно з ДСТУ Б В.2.7-49-96 «Бетони. Прискорені методи визначення морозостійкості при багаторазовому заморожуванні та відтаванні» також визначалася їх морозостійкість, і згідно ДСТУ Б В.2.7-170:2008 було визначено їх водопоглинання.

Значення морозостійкості, водонепроникності та величини водопоглинання важких бетонів 4-х досліджених складів наведені у таблиці 3.5.

Аналіз наведених в таблиці 3.5 даних показує, що морозостійкість важких бетонів одного класу на різних типах цементу була однаковою – 150 циклів для бетонів класу С20/25 і 200 циклів для бетону класу С30/35. Важливо зазначити, що ці показники отримані при визначенні рівня F прискореним методом. Тобто точніше сказати, що при визначенні морозостійкості прискореним методом, рівень даного показника якості для досліджених бетонів на різних типах цементу не розрізнявся. Такий рівень морозостійкості бетонів (F150 і F200) є достатньо високим для важких бетонів, до складу яких не вводилися добавки-модифікатори, спрямовані на отримання структури бетону, яка забезпечує більш високі показники стійкості при заморожуванні і відтаюванні. Крім того

відомо, що морозостійкість важких бетонів є відносно меншою в порівнянні з морозостійкістю легких бетонів на пористих заповнювачах [173-176].

Таблиця 3.5

Морозостійкість, водонепроникність та водопоглинання
досліджених бетонів на різних типах цементу

Клас бетону і вид цементу	Морозостійкість	Водонепроникність	Водопоглинання
C20/25 на сульфатостійкому портландцементі ССПЦ 400-Д0	F150	W6	4,8
C20/25 на портландцементі ПЦ ІІ/А-ІІ-500 Р-Н	F150	W8	4,7
C30/35 на сульфатостійкому портландцементі ССПЦ 400-Д0	F200	W10	5,0
C30/35 на портландцементі ПЦ ІІ/А-ІІ-500 Р-Н	F200	W12	4,7

Водонепроникність досліджених бетонів очікувано залежала від витрати портландцементу у їх складі, відповідно від їх класу. Але як видно з наведених в таблиці 3.5 даних, рівень W також залежав і від типу цементу, який використовувався у бетоні. Бетони класу C20/25 мають природно нижчу водонепроникність, W6 і W8, а бетони класу C30/35 вище – W10 і W12. Важливим результатом є те, що бетони на портландцементі з пуцоланом ПЦ ІІ/А-ІІ-500 Р-Н мали водонепроникність на одну марку вище, ніж бетони аналогічного класу на сульфатостійкому портландцементі ССПЦ 400-Д0. При цьому, водопоглинання всіх 4-х досліджених бетонів знаходилося на приблизно одному рівні – 4,7-5%.

Тобто не зважаючи на те, що виходячи з умов експерименту (рівний клас за міцністю) бетони на портландцементі ПЦ ІІ/А-ІІ-500 Р-Н мали у складі на 20 кг/м³ меншу кількість в'язучого, ніж бетони на сульфатостійкому

портландцементі ССПЦ 400-Д0, водонепроникність досліджених важких бетонів на портландцементі з пуцоланом ПЦ II/A-II-500 P-H була на одну марку вище, ніж аналогічних за класом бетонів на сульфатостійкому портландцементі, а морозостійкість була рівною з бетонами на сульфатостійкому портландцементі. Це показує можливість застосування цементів з пуцоланом у бетонах конструкцій тонкостінних гідротехнічних споруд. Але для морських гідротехнічних споруд також обов'язковою умовою довговічності є корозійна стійкість бетону в сульфатах, що містяться у морській воді. Дослідження впливу типу цементу на корозійну стійкість бетонів у відповідних умовах наведені нижче.

3.3 Вплив виду цементу на корозійну стійкість бетонів у рідкому сульфатному середовищі

Відомо, що основною причиною застосування сульфатостійкого портландцементу в бетонах для конструкцій морських гідротехнічних споруд є необхідність опиратися агресивному впливу сульфатів у середовищі експлуатації, тобто у морській воді [9, 53, 168, 169, 177]. Відповідно, при розгляді портландцементу з добавкою пуцолани як альтернативи сульфатостійкому портландцементу, необхідно порівняти корозійну стійкість бетонів на даних двох цементах в агресивному сульфатному середовищі.

Вивчення корозійної стійкості бетонів в рідкому агресивному середовищі проводилося згідно ДСТУ Б ГОСТ 27677:2011. В якості агресивного було прийняте сульфатне середовище з концентрацією SO_4^{2-} 10000 мг/л (розчин Na_2SO_4). Контролювалася міцність зразків після витримування у агресивному середовищі протягом 1, 3, 6 і 12 місяців та контрольних зразків аналогічного віку після витримування у прісній воді. За цими даними було розраховано коефіцієнт стійкості бетонів у агресивному середовищі (таблиця 3.6).

Також була визначена середня густина зразків бетонів після 1, 3, 6 і 12 місяців витримування в рідкому агресивному сульфатному середовищі. Вона

визначалася безпосередньо перед випробуваннями зразків на міцність на стиск, тобто у насиченому рідиною стані. Середня густина бетонів після витримування в рідкому агресивному сульфатному середовищі порівнювалася з середньою густиною зразків, які зберігалися у воді та маса яких контролювалася також безпосередньо перед випробуваннями на міцність на стиск в аналогічному віці.

Таблиця 3.6

Визначення корозійної стійкості бетонів
в рідкому агресивному сульфатному середовищі

Клас бетону і вид цементу	1 місяць витримування			3 місяця витримування			6 місяців витримування			12 місяців витримування		
	міцність контрольних зразків (МПа)	міцність зразків в агресивному середовищі (МПа)	коефіцієнт стійкості	міцність контрольних зразків (МПа)	міцність зразків в агресивному середовищі (МПа)	коефіцієнт стійкості	міцність контрольних зразків (МПа)	міцність зразків в агресивному середовищі (МПа)	коефіцієнт стійкості	міцність контрольних зразків (МПа)	міцність зразків в агресивному середовищі (МПа)	коефіцієнт стійкості
С20/25 на сульфатостійкому портландцементі ССПЦ 400-Д0	44,9	44,0	0,981	47,2	47,8	1,013	53,6	53,8	1,004	53,5	56,0	1,047
С20/25 на портландцементі ПЦ ІІ/А-ІІ-500 Р-Н	41,2	39,9	0,968	44,2	44,1	0,998	48,8	46,2	0,947	49,1	42,8	0,872
С30/35 на сульфатостійкому портландцементі ССПЦ 400-Д0	52,7	54,8	1,041	55,1	57,9	1,051	62,7	66,1	1,054	64,9	65,1	1,003
С30/35 на портландцементі ПЦ ІІ/А-ІІ-500 Р-Н	52,9	55,6	1,051	55,7	58,3	1,047	62,2	61,1	0,982	62,5	61,8	0,989

Встановлено, що незалежно від терміну витримування середня густина зразків, які знаходилися у агресивному сульфатному середовищі, відрізнялася від середньої густини зразків, які витримувалися у прісній воді, не більше, ніж на 1,7%. Тобто середня густина важких бетонів як на сульфатостійкому портландцементі ССПЦ 400-Д0, так і на портландцементі з пуцоланом ПЦ II/A-П-500 Р-Н практично не змінювалася при витримуванні у агресивному сульфатному середовищі з концентрацією SO_4^{2-} 10000 мг/л протягом всього дослідження (від 1 до 12 місяців).

Міцність досліджених бетонів на різних типах цементів при витримуванні в рідкому агресивному сульфатному середовищі змінювалася по-різному, що відображено на наведених на рис.3.2 графіках, побудованих за даними таблиці 3.6.

Як видно з графіків на рис.3.2.а, міцність бетону класу С20/25 на сульфатостійкому портландцементі ССПЦ 400-Д0 при витримуванні у агресивному сульфатному середовищі та у прісній воді змінювалася приблизно однаково, тобто зростала у часі за близькою до логарифмічної функцією.

Міцність бетону класу С20/25 на портландцементі ПЦ II/A-П-500 Р-Н при витримуванні у прісній воді також зростала за функцією, близькою до логарифмічної. Але при витримуванні в рідкому агресивному сульфатному середовищі приблизно після 3-х місяців темп зростання міцності бетону класу С20/25 на портландцементі ПЦ II/A-П-500 Р-Н став нижче, ніж темп зростання міцності цього бетону в воді. А приблизно через 6 місяців витримування в сульфатному середовищі міцність даного бетону почала знижуватися під впливом корозійного середовища.

Відповідно коефіцієнт корозійної стійкості в рідкому агресивному сульфатному середовищі (таблиця 3.6) бетону класу С20/25 на портландцементі ПЦ II/A-П-500 Р-Н після 12 місяців витримування дорівнював 0,872. Це значно нижче, ніж значення коефіцієнту корозійної стійкості бетону аналогічного класу на сульфатостійкому портландцементі ССПЦ 400-Д0, яке дорівнює 1,047.

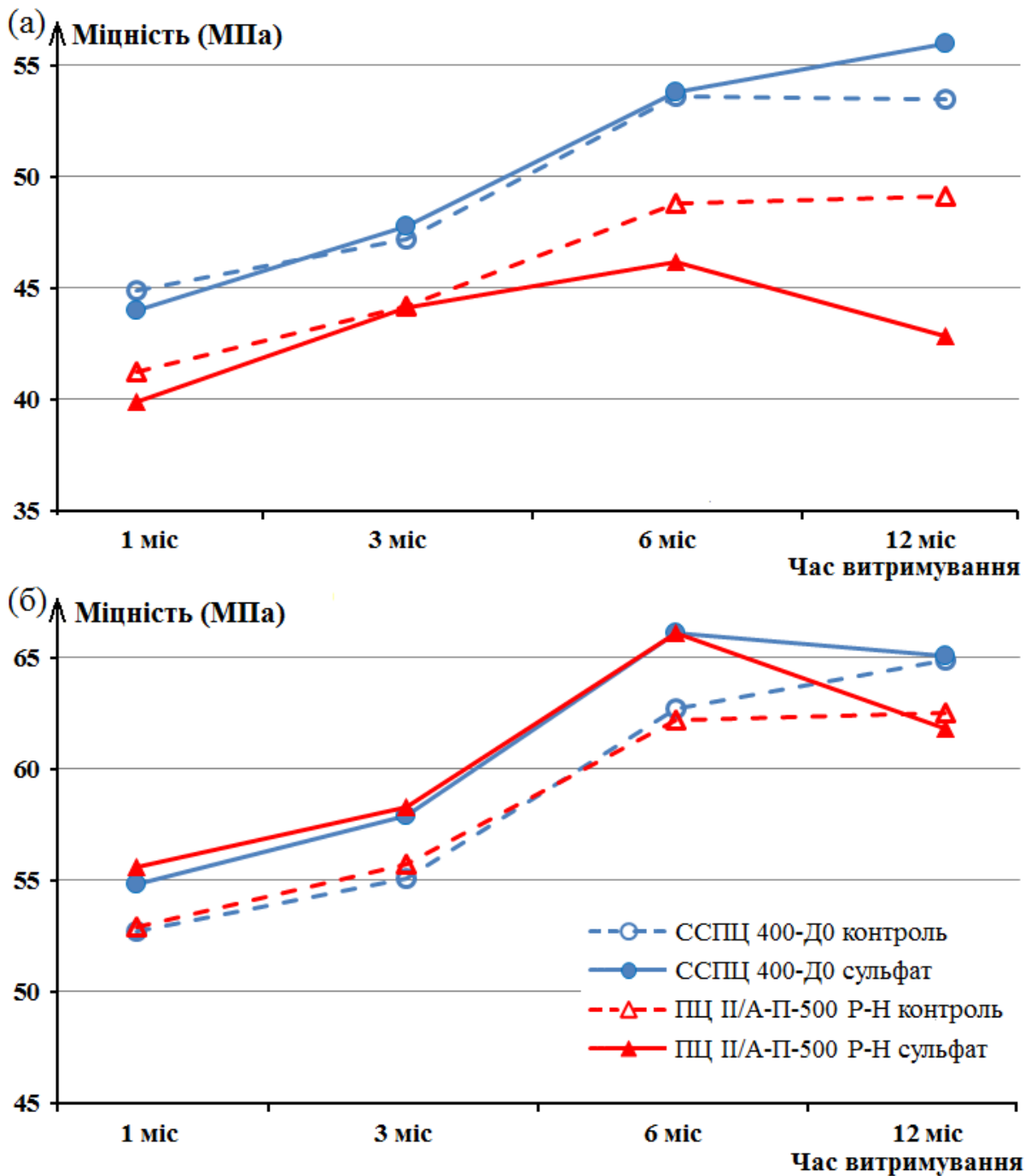


Рис.3.2. Зміна міцності бетонів при витримуванні у агресивному сульфатному середовищі та у прісній воді:

а) бетон класу С20/25; б) бетон класу С30/35

Для досліджених бетонів класу С30/35 на двох видах цементу різниця в характері зміни міцності при витримуванні зразків від 1 до 12 місяців у агресивному сульфатному середовищі менш відчутна (рис.3.2.б). При витримуванні у прісній воді міцність бетону на сульфатостійкому

портландцементі ССПЦ 400-Д0 і на портландцементі ПЦ П/А-П-500 Р-Н змінюється (зростає) приблизно в одному темпі. При витримуванні зразків у рідкому агресивному сульфатному середовищі до 6 місяців характер зміни міцності бетонів на сульфатостійкому портландцементі ССПЦ 400-Д0 і портландцементі ПЦ П/А-П-500 Р-Н також є однаковим. Після 6 місяців витримування у агресивному сульфатному середовищі міцність бетону класу С30/35 на портландцементі ПЦ П/А-П-500 Р-Н починає несуттєво знижуватися, а міцність бетону аналогічного класу на сульфатостійкому портландцементі ССПЦ 400-Д0 залишається стабільною. Проте значення коефіцієнту корозійної стійкості в рідкому агресивному сульфатному середовищі для обох досліджених бетонів класу С30/35 після 12 місяців витримування залишається близьким 1,003 і 0,989 відповідно для бетонів на ССПЦ 400-Д0 і ПЦ П/А-П-500 Р-Н.

Таким чином, після 12 місяців витримування в рідкому агресивному сульфатному середовищі корозійна стійкість бетону класу С20/25 на сульфатостійкому портландцементі ССПЦ 400-Д0 є вищою, ніж корозійна стійкість бетону аналогічного класу на портландцементі з пуцоланом ПЦ П/А-П-500 Р-Н.

Для бетонів класу С30/35 за 12 місяців витримування в рідкому агресивному сульфатному середовищі не виявлено суттєвої різниці у корозійній стійкості бетонів на сульфатостійкому портландцементі ССПЦ 400-Д0 і портландцементі з пуцоланом ПЦ П/А-П-500 Р-Н. Останнє може бути обумовлено високою водонепроникністю більш міцного дослідженого бетону класу С30/35 на портландцементі ПЦ П/А-П-500 Р-Н, яка дорівнює W12 (п.3.2). За рахунок більш високої водонепроникності корозійний вплив рідкого агресивного сульфатного середовища на структуру бетону знижується, що відповідно зменшує вплив типу цементу на корозійну стійкість.

Частково цей висновок підтверджується результатами рентгенофазового аналізу структури бетонів. На рис.3.3 і рис.3.4 показані рентгенівські дифрактограми цементно-піщаної матриці зразків досліджених бетонів класу С30/35 на різних типах цементу після 6 і 12 місяців витримування в рідкому

агресивному сульфатному середовищі. Аналізувалася структура бетонів у двох зонах:

- у зоні, прилеглий до краю зразка розміром $10 \times 10 \times 10$ см, тобто на яку сульфатне середовище впливало в найбільшій мірі;

- у зоні, близькій до середини зразка, на яку сульфатне середовище впливало найменше.

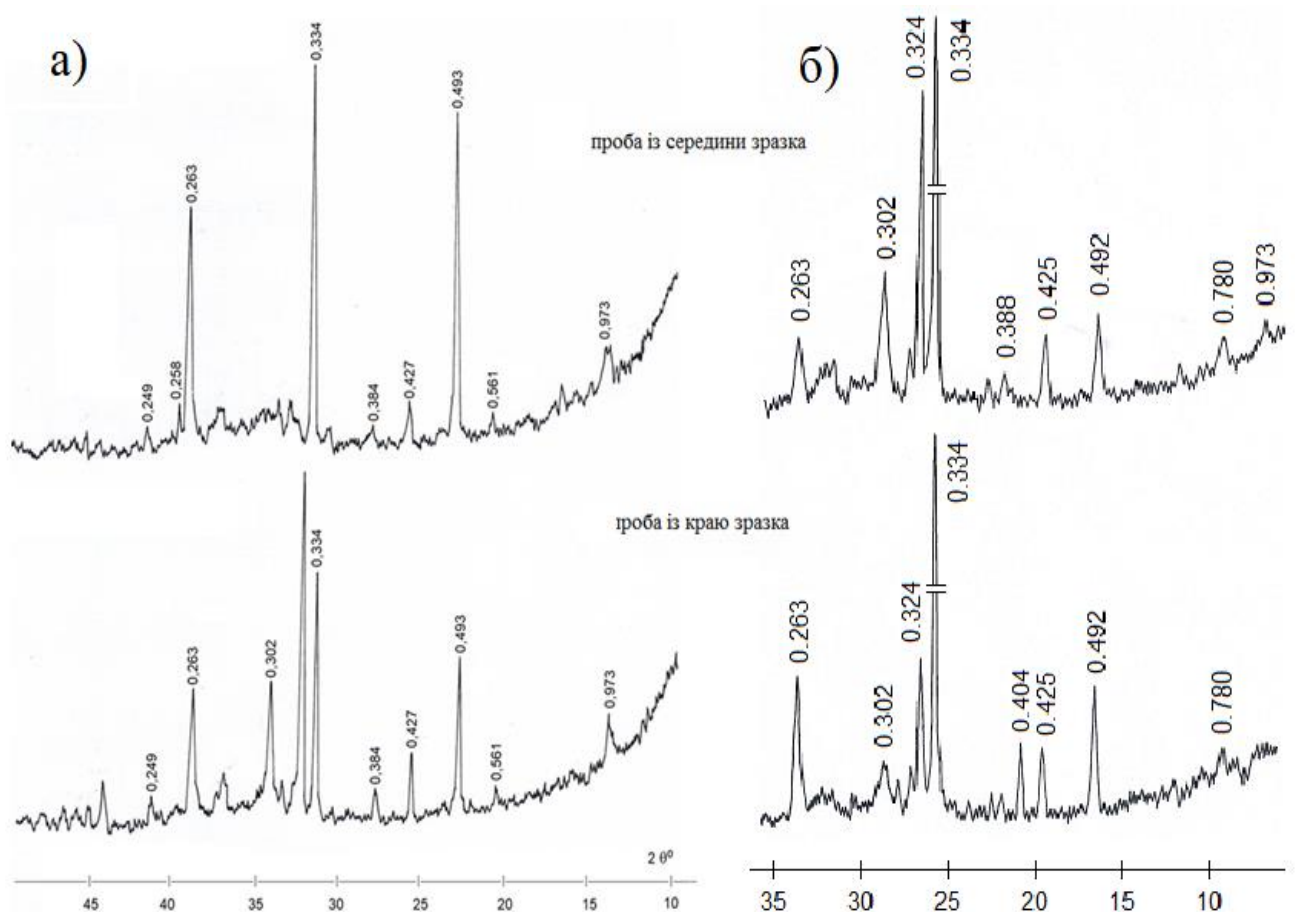


Рис.3.3. Рентгенівські дифрактограми цементно-піщаної матриці бетону класу С30/35 на сульфатостійкому портландцементі ССПЦ 400-Д0 після 6 (а) і 12 (б) місяців витримування в рідкому агресивному сульфатному середовищі

Аналіз наведених на рис.3.3 і рис.3.4 рентгенівських дифрактограм показує, що фазовий склад цементно-піщаної матриці бетонів на обох типах цементу у зоні, прилеглий по краю зразка, та у зоні близькій до середини зразка, є приблизно однаковим. Тобто під впливом агресивного сульфатного

середовища не відбулося відчутних змін кристалічної структури бетону в результаті корозійних процесів у бетоні, що підтверджує його сульфатостійкість.

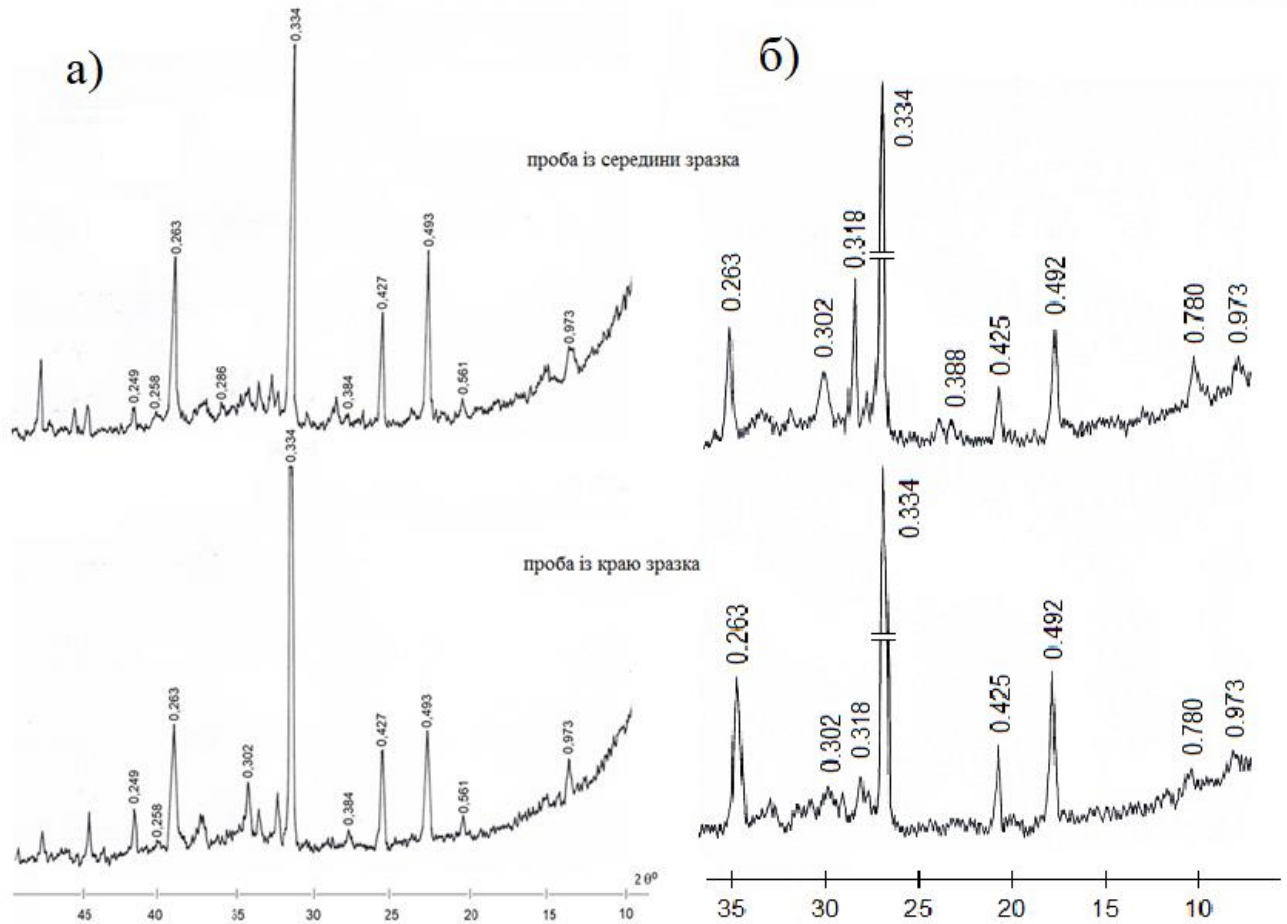


Рис.3.4. Рентгенівські дифрактограми цементно-піщаної матриці бетону класу С30/35 на портландцементі з пуцоланом ПЦ П/А-П-500 Р-Н після 6 (а) і 12 (б) місяців витримування в рідкому агресивному сульфатному середовищі

Також аналіз дифрактограм показує, що кількість еtringіту в цементно-піщаній матриці бетонів як на сульфатостійкому портландцементі ССПЦ 400-Д0, так і на портландцементі з пуцоланом ПЦ П/А-П-500 Р-Н після 6 місяців витримування в рідкому агресивному сульфатному середовищі є приблизно однаковою (досліджено бетон класу С30/35). Цей факт також підтверджує приблизно рівну ступінь сульфатостійкості бетонів на цементах

ССПЦ 400-Д0 і ПЦ П/А-П-500 Р-Н при забезпеченні високої водонепроникності бетону.

Таким чином, бетони на портландцементі з пуцоланом ПЦ П/А-П-500 Р-Н є достатньо стійкими в рідкому агресивному сульфатному середовищі за умови забезпечення їх високої водонепроникності. Це дозволяє розглядати портландцемент з пуцоланом в якості альтернативи дефіцитному бездобавочному сульфатостійкому портландцементу при виготовленні бетонів для тонкостінних конструкцій морських гідротехнічних споруд.

3.4 Дослідження корозійної стійкості бетонів на різних цементах у морській воді при зволоженні та висушуванні

Відомо, що корозійний вплив морської води на бетони залізобетонних конструкцій не обмежується лише впливом агресивного сульфатного середовища. При експлуатації морських гідротехнічних споруд їх конструкції в зимовий період піддаються заморожуванню і відтаюванню, а протягом всього року в зоні змінного рівня води на бетон вливають процеси зволоження і висушування [53, 128, 169].

Визначення корозійної стійкості бетону в морській воді проводилося згідно ОСТ 5.9266-76 «Бетон судостроительный тяжелый. Методы испытаний бетона» в лабораторних умовах. Даний галузевий стандарт передбачає визначення стійкості бетону при зволоженні та висушуванні (6 годин у воді + 18 годин висихання при кімнатній температурі). В якості корозійного середовища використовувалася штучна морська вода з наступним вмістом солей на 1 літр: 26,9 г NaCl + 3,4 г MgCl₂ + 2,5 г MgSO₄ + 1,2 г CaSO₄. Такий вміст солей у воді відповідає «усередненому» значенню для світового океану і є найбільш близьким до вмісту солей у воді Атлантичного океану. Наприклад у Чорному морі вміст солей у воді є приблизно вдвічі меншим, відповідно меншою є і агресивність даної води.

Випробування зразків проводилися після 200 і 300 циклів зволоження і висушування в штучній морській воді.

Згідно ОСТ 5.9266-76 кількісна оцінка корозійної стійкості бетонів P_{KC} встановлюється порівнянням границі міцності зразків, що піддавалися корозійним випробуванням, зі значенням міцності бетону, яке відповідає його класу:

$$P_{KC} = \frac{f_{c,cube,KC}}{f_{c,cube}} \quad (3.1)$$

де P_{KC} – показник корозійної стійкості бетону;

$f_{c,cube,KC}$ – межа міцності на стиск зразків, що піддавалися випробуванню на корозійну стійкість, МПа;

$f_{c,cube}$ – проектна міцність суднобудівного бетону на стиск (відповідає його класу), МПа.

За значення міцності бетонів, яке відповідає їх класу, прийнято міцність у віці 28 діб. Після проведення необхідної кількості циклів зволоження і висушування зразки віком 7 діб витримувалися в нормальних умовах (висушувалися) для забезпечення такої вологості даних зразків, яка відповідає стандартним умовам випробування зразків бетону при визначенні його класу за міцністю.

Методика ОСТ 5.9266-76 не передбачає зволоження і висушування зразків до постійної маси і більше відповідає умовам експлуатації, типовим для зони змінного рівня води у конструкціях морських гідротехнічних споруд.

Дані щодо корозійної стійкості досліджених бетонів на різних типах цементу в штучній морській воді після 200 і 300 циклів зволоження і висушування наведені в таблиці 3.7.

Аналіз наведених у таблиці 3.7 даних показує, що значення показника корозійної стійкості в штучній морській воді після 200 і 300 циклів зволоження і висушування бетонів на сульфатостійкому портландцементі ССПЦ 400-Д0 є на 6-16% вищими, ніж значення показника корозійної стійкості

бетонів на портландцементі з пуцоланом ПЦ II/A-II-500 P-H. Але бетони на обох цементах мають високу корозійну стійкість в штучній морській воді. Так, після 300 циклів зволоження у штучній морській воді і висушування, міцність бетону класу С20/25 на сульфатостійкому портландцементі ССПЦ 400 Д0 зростає у порівнянні з «марочною» міцністю у віці 28 діб на 68%, а міцність бетону того ж класу на портландцементі ПЦ II/A-II-500 P-H зростає на 45% (таблиця 3.7). Міцність бетонів класу С30/35 після 300 циклів зволоження і висушування у штучній морській воді зростає відповідно на 53% і 45%.

Таблиця 3.7

Корозійна стійкість бетону в штучній морській воді після 200 і 300 циклів зволоження і висушування

Клас бетону і вид цементу	Міцність бетону у віці 28 діб, МПа (відповідає класу бетону)	Міцність бетону після 200 циклів зволоження і висушування, МПа	Показник корозійної стійкості бетону $P_{кс}$ після 200 циклів зволоження і висушування	Міцність бетону після 300 циклів зволоження і висушування, МПа	Показник корозійної стійкості бетону $P_{кс}$ після 300 циклів зволоження і висушування
С20/25 на сульфатостійкому портландцементі ССПЦ 400-Д0	37,8	59,9	1,59	63,5	1,68
С20/25 на портландцементі ПЦ II/A-II-500 P-H	36,2	49,3	1,36	52,5	1,45
С30/35 на сульфатостійкому портландцементі ССПЦ 400-Д0	49,7	71,8	1,45	76,1	1,53
С30/35 на портландцементі ПЦ II/A-II-500 P-H	49,3	62,3	1,26	71,3	1,45

Рентгенівські дифрактограми цементно-піщаної матриці бетонів класу С30/35 після 200 циклів зволоження і висушування у штучній морській воді

показані відповідно на рис.3.5 (бетон на сульфатостійкому портландцементі ССПЦ 400-Д0) і рис.3.6 (бетон на портландцементі з пуцоланом ПЦ П/А-П-500 Р-Н).

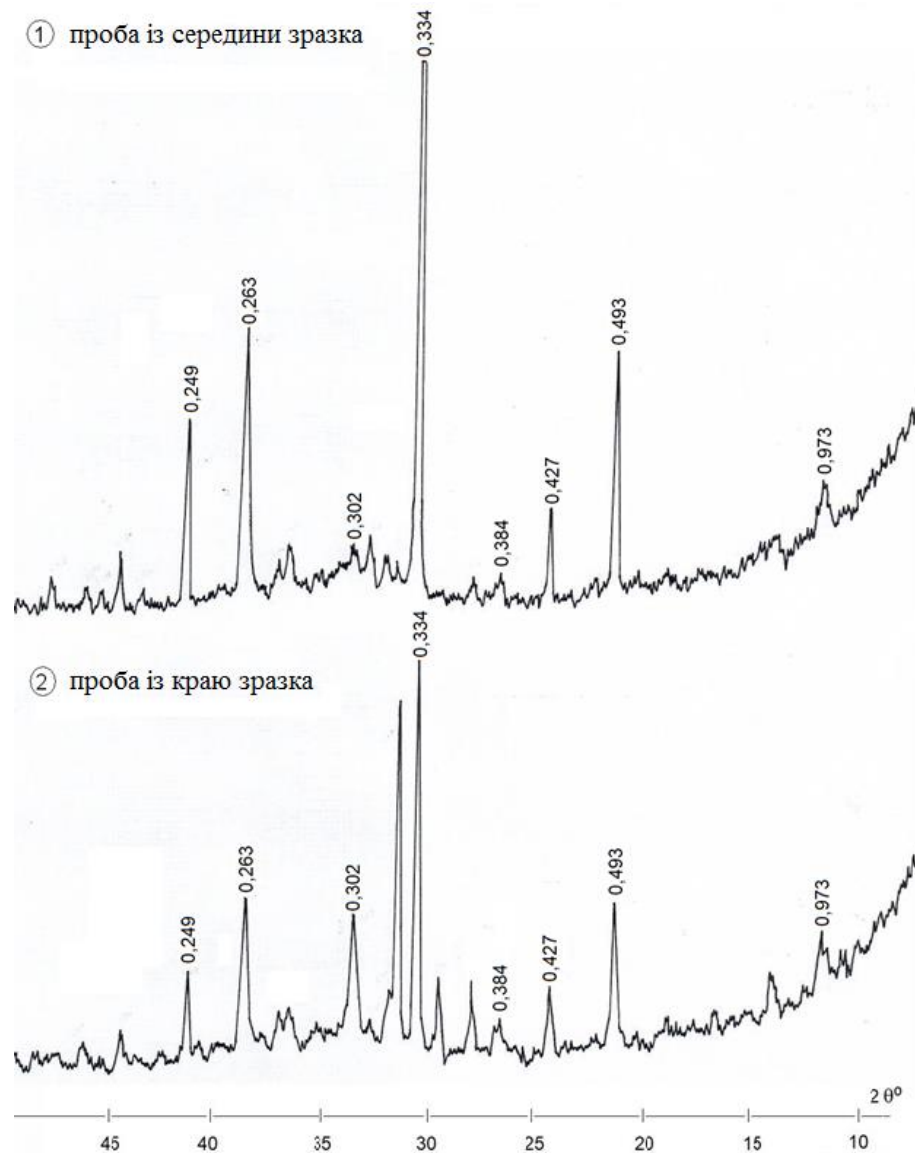


Рис.3.5. Рентгенівські дифрактограми цементно-піщаної матриці бетону класу С30/35 на сульфатостійкому портландцементі ССПЦ 400-Д0 після 200 циклів зволоження у штучній морській воді і висушування

Аналіз наведених на рис.3.5 і рис.3.6 дифрактограм показує, що багаторазове проведення зволоження морською водою і висушування є впливовим експлуатаційним фактором, під дією якого в бетоні у прилеглій по краю зразка зоні почав активно з'являтися еtringіт. Аналогічні висновки

дозволяє зробити проведений мікроскопічний аналіз структури бетонів класу С30/35 після 200 циклів зволоження у штучній морській воді і висушування (рис.3.7). Проте кількість еtringіту у структурі ще не є такою, що приводить до деструкції матеріалу, що можна побачити на фотографії мікроструктури.

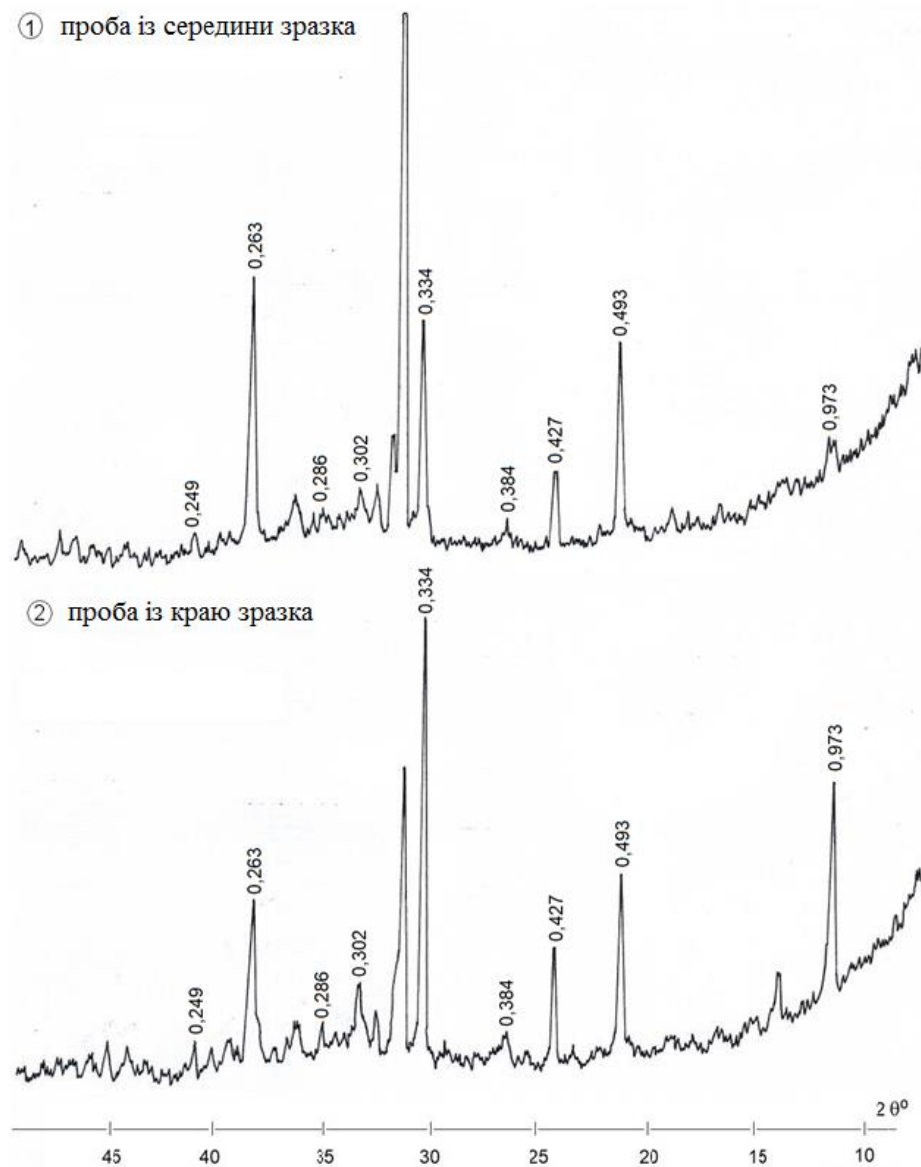


Рис.3.6. Рентгенівські дифрактограми цементно-піщаної матриці бетону класу С30/35 на портландцементі з пуцоланом ПЦ II/A-II-500 Р-Н після 200 циклів зволоження у штучній морській воді і висушування

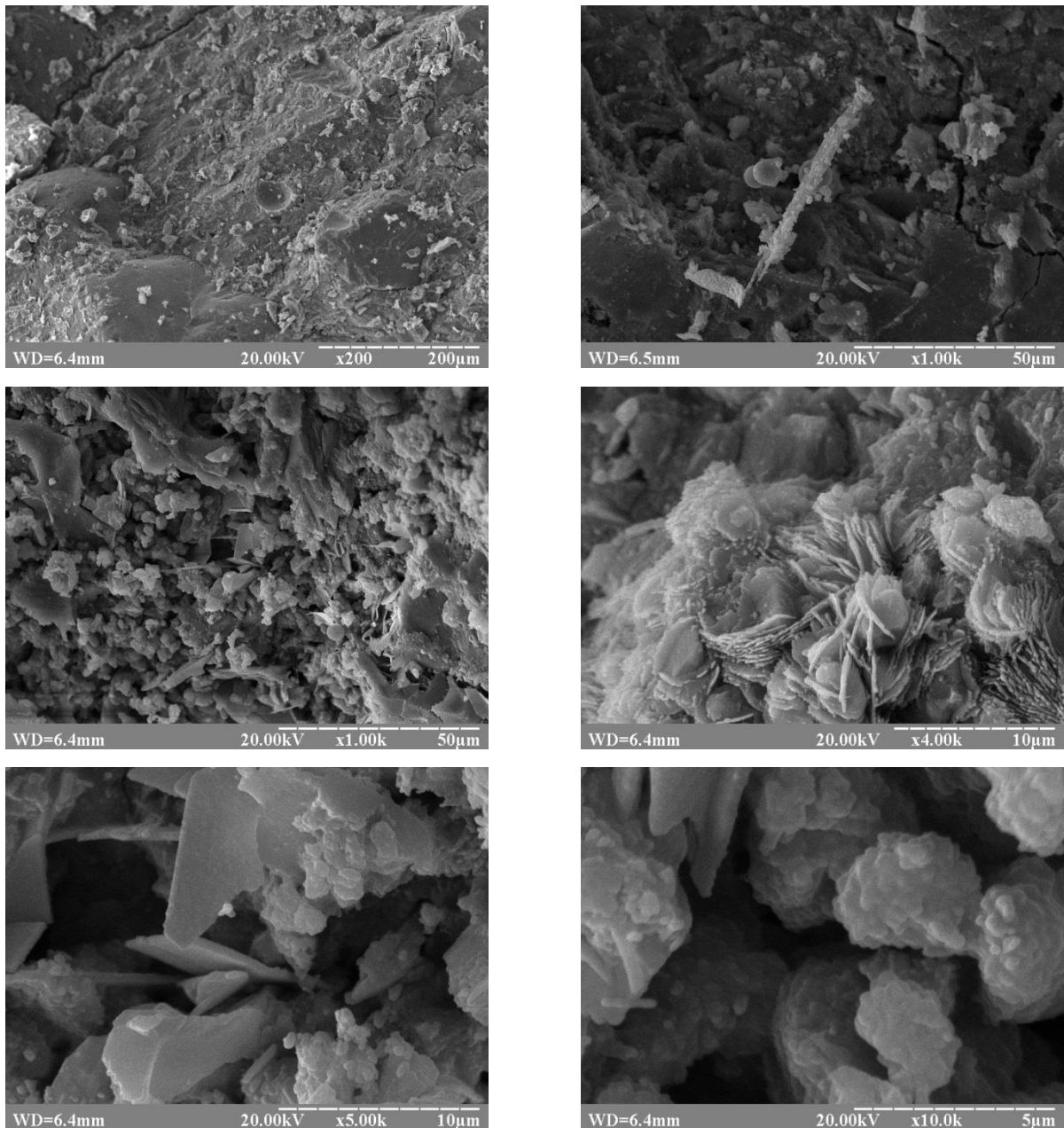


Рис.3.7. Мікроструктура бетону класу С30/35 на сульфатостійкому портландцементі ССПЦ 400-Д0 після 200 циклів зволоження і висушування у штучній морській воді (проба з краю зразка)

В цілому можна зробити висновок, що застосування сульфатостійкого портландцементу ССПЦ 400-Д0 забезпечує високу морозостійкість та корозійну стійкість бетонів конструкцій морських гідротехнічних споруд, чим дозволяє досягнути необхідної для більшості конструкцій довговічності матеріалу. За умови забезпечення високої водонепроникності бетони на портландцементі з пуцоланом ПЦ П/А-П-500 Р-Н також мають достатньо

високу довговічність при експлуатації в умовах експлуатації, які є типовими для тонкостінних конструкцій морських гідротехнічних споруд: показують корозійну стійкість і морозостійкість не нижче, ніж бетони на сульфатостійкому портландцементі ССПЦ 400-Д0. Тобто у якості основного в'язучого для легких бетонів тонкостінних конструкцій морських гідротехнічних споруд слід розглядати бездобавочний сульфатостійкий портландцемент.

Але за умови забезпечення високої водонепроникності бетонів, насамперед завдяки застосуванню добавок-модифікаторів, в якості альтернативи даному дефіцитному в'язучому можна розглядати цементи з пуцоланом. Для підтвердження цієї можливості необхідно дослідити ефективність даних цементів в легких бетонах, насамперед модифікованих сучасними пластифікаторами.

Наведені вище висновки щодо можливості застосування сульфатостійкого портландцементу ССПЦ 400-Д0 та портландцементу з пуцоланом ПЦ II/A-П-500 Р-Н в конструкціях морських гідротехнічних споруд можна в цілому переносити і на легкі бетони на пористих заповнювачах, зокрема на керамзитобетони. Як зазначалося вище, це обумовлено в цілому аналогічними процесами корозійного впливу морської води на мінерали, які утворюються в результаті гідратації цементу у цементно-піщаній матриці легких і важких бетонів. При цьому капілярно-порова структура легких і важких бетонів суттєво відмінні, насамперед для самого заповнювача і контактної зони заповнювача, властивості якої залежать переважно від типу заповнювача і технології приготування бетонної суміші [53, 128, 168, 178], а не типу цементу. Також важливо, що на даному *першому етапі* роботи досліджувалися бетони без добавок на однакових заповнювачах, тобто їх корозійна стійкість і довговічність в цілому була обумовлена насамперед типом в'язучого.

Висновки за 3-м розділом

1. Встановлено, що за умови забезпечення високої водонепроникності бетони на портландцементі з пуцоланом ПЦ П/А-П-500 Р-Н мають морозостійкість, а також корозійну стійкість в сульфатному середовищі та морській воді не нижче, ніж бетони на сульфатостійкому портландцементі ССПЦ 400-Д0. Це підтверджує можливість використання цементу з пуцоланом в конструкціях морських гідротехнічних споруд та дозволяє використовувати даний вид в'язучого в якості альтернативи дефіцитному бездобавочному сульфатостійкому портландцементу ССПЦ 400-Д0 в бетоні для даних споруд.

2. Міцність на стиск бетонів на портландцементі ПЦ П/А-П-500 Р-Н у віці 7 діб є на 14...21% вищою, ніж аналогічних за класом бетонів на сульфатостійкому портландцементі ССПЦ 400-Д0. У віці 28 діб виходячи з умов експерименту міцність всіх бетонів відповідала їх класу. Подальше зростання міцності бетонів на різних типах цементу проходить в однаковому темпі.

3. Досліджені важкі бетони на портландцементі з пуцоланом ПЦ П/А-П-500 Р-Н мають водонепроникність на одну марку вище, ніж аналогічні за класом бетони на сульфатостійкому портландцементі ССПЦ 400-Д0, та рівну з ними морозостійкість.

4. Після 12 місяців витримування в рідкому агресивному сульфатному середовищі (розчин Na_2SO_4 з концентрацією SO_4^{2-} 10000 мг/л) не виявлено суттєвої різниці у корозійній стійкості бетонів класу С30/35 на сульфатостійкому портландцементі ССПЦ 400-Д0 і портландцементі з пуцоланом ПЦ П/А-П-500 Р-Н, що обумовлено високою водонепроникністю даних бетонів, яка зменшує корозійний вплив агресивного середовища на їх структуру. Для бетонів класу С20/25, які мають меншу водонепроникність, корозійна стійкість бетону на сульфатостійкому портландцементі ССПЦ 400-Д0 є на 20% вищою, ніж корозійна стійкість бетону на портландцементі ПЦ П/А-П-500 Р-Н.

5. Показник корозійної стійкості в штучній морській воді після 200 і 300 циклів зволоження і висушування бетонів на сульфатостійкому портландцементі ССПЦ 400-Д0 є на 6..16% вищими, ніж показник корозійної стійкості бетонів на портландцементі з пуцоланом ПЦ П/А-П-500 Р-Н. Але бетони на обох цементах мають високу корозійну стійкість в штучній морській воді при зволоженні і неповному висушуванні, що важливо з позиції стійкості матеріалу в зоні змінного рівня води.

6. Наведені висновки щодо можливості застосування в конструкціях морських гідротехнічних споруд як сульфатостійкого портландцементу ССПЦ 400-Д0, так і портландцементу з пуцоланом ПЦ П/А-П-500 Р-Н як прийнятної альтернативи при забезпеченні високої водонепроникності бетону, після додаткових досліджень можна в цілому переносити на керамзитобетони для даних конструкцій. Це обумовлено в цілому аналогічними процесами корозійного впливу морської води на мінерали, які утворюються в результаті гідратації цементу у цементно-піщаній матриці легких і важких бетонів. При цьому капілярно-порова структура легких і важких бетонів суттєво відмінні, насамперед самого заповнювача і контактної зони заповнювача.

7. Результати досліджень, що викладені у даному розділі, опубліковані у роботах [179-182].

РОЗДІЛ 4
СТРУКТУРА, ВЛАСТИВОСТІ ТА ДОВГОВІЧНІСТЬ
МОДИФІКОВАНИХ КЕРАМЗИТОБЕТОНІВ
З РІЗНИМИ ТИПАМИ ПІСКІВ

**4.1 Вплив типу піску і кількості суперпластифікатору
на міцність і середню густину керамзитобетонів**

Як показано в пп.1.1, 1.1.2 новітній світовий досвід показав ефективність використання для тонкостінних конструкцій морських плавучих залізобетонних споруд легких бетонів, які включають не лише крупний пористий заповнювач, а і частково включають пористий пісок для зниження середньої густини матеріалу [61, 62]. Зниження середньої густини дозволяє покращити конструктивну ефективність бетону, зокрема для плавучої споруди – за рахунок підвищення вантажопідйомності її понтонів [169, 183]. Крім того, бетони з меншою середньою густиною забезпечують кращі умови перебування людей і роботи обладнання у внутрішніх приміщеннях споруд, що важливо насамперед для плавучих доків, готелів, домів.

Відповідно науковий інтерес представляє дослідження властивостей легких бетонів на основі керамзитового гравію (керамзитобетонів) при використанні різних типів дрібних заповнювачів, тобто пісків. Відомо, що для конструктивних керамзитобетонів та інших бетонів на легких заповнювачах найбільш часто використовується кварцовий пісок [174-176, 184], також є науковий і практичний досвід використання керамзитового піску [174, 175, 185, 186]. Але для тонкостінних конструкцій гідротехнічних споруд, зокрема морських, які працюють під дією постійного гідростатичного тиску, ефективність використання пористого керамзитового піску для легких бетонів вимагає додаткових досліджень.

Як зазначалося вище, в останні роки на будівельному ринку з'явився пористий заповнювач, який характеризується практично повністю закритою пористістю при низькій середній густині – гранульоване піноскло [159, 187-190].

Відповідно задачею *другого етапу* роботи було дослідження впливу різних типів пісків: кварцового, керамзитового і піску з гранульованого піноскла, а також кількості гіперпластифікатору полікарбонатного типу на структуру, міцність, середню густину і довговічність керамзитобетонів. Результати досліджень дозволяють встановити можливість і доцільність застосування легких пісків у конструкційних керамзитобетонах для тонкостінних морських гідротехнічних споруд. Зокрема, можливість застосування керамзитобетонів на пористих пісках в якості суднобудівних матеріалів.

В дослідженнях використовувався керамзитовий гравій фракції 5-10 мм Одеського керамзитового заводу з насипною густиною 500 кг/м^3 . В якості дрібного заповнювача використовувалися п'ять різних типів пісків, отриманих за рахунок змішування розсіяних по фракціям дрібних заповнювачів. На основі цих різних пісків виготовлялися 5 серій керамзитобетонів, в яких відповідно використовувалися:

Серія №1. Кварцовий пісок із співвідношенням фракцій (в мм): 2,5..5 – 15%, 1,25..2,5, 0,63..1,25 і 0,315..0,63 – по 25%, 0,16..0,315 – 10%. Тобто модуль крупності даного піску складав 3,1, насипна густина – 1580 кг/м^3 . Цей пісок в дослідженнях використовувався у ролі «традиційного» кварцового.

Серія №2. Пісок, в якому 50% об'єму крупних фракцій (1,25..2,5 мм і 2,5..5 мм) було замінено керамзитовим піском аналогічних фракцій (пісок виробництва Одеського керамзитового заводу, насипна густина піску у фракції 1,25..2,5 мм – 700 кг/м^3 , у фракції 2,5..5 мм – 605 кг/м^3). Насипна густина даного штучного піску складала 1430 кг/м^3 . Цей пісок можна розглядати як кварцовий пісок з умовно незначною часткою керамзитового піску.

Серія №3. Пісок, в якому 100% об'єму крупних фракцій (1,25..2,5 мм і 2,5..5 мм) було замінено керамзитовим піском відповідних фракцій. Насипна

густина даного піску складала 1290 кг/м^3 . Цей пісок можна умовно розглядати як гранульовану суміш кварцового і керамзитового пісків.

Серія №4. Пісок, в якому 50% об'єму крупних фракцій (1,25..2,5 мм і 2,5..5 мм) було замінено гранульованим піносклом відповідних фракцій (піноскло виробництва НВП «Технологія», м. Шостка, насипна густина гранульованого піноскла у фракції 1,25..2,5 мм – 270 кг/м^3 , у фракції 2,5..5 мм – 230 кг/м^3). Насипна густина даного штучного піску складала 1330 кг/м^3 . Цей пісок можна розглядати як кварцовий пісок з умовно незначною часткою піноскла.

Серія №5. Пісок, в якому 100% об'єму крупних фракцій (1,25-2,5 мм і 2,5-5 мм) було замінено гранульованим піносклом відповідних фракцій. Насипна густина даного піску складала 1080 кг/м^3 . Цей пісок можна умовно розглядати як гранульовану суміш кварцового піску і піноскла.

Керамзитовий пісок у якості дрібного заповнювача був обраний з позиції того, що даний вид пористого піску є розповсюдженим на ринку України і є доволі дешевим. Гранульоване піноскло як дрібний заповнювач було обране з врахуванням його властивостей, що є важливими для бетонів гідротехнічних споруд – майже повністю закрита пористість при низькій середній густині, що відмічено вище.

Отримання пісків за рахунок змішування розсіяних по фракціям дрібних заповнювачів було пов'язано з необхідністю дослідити вплив пісків різного типу без впливу їх гранулометрії. Відомо, що за рахунок зміни гранулометрії заповнювачів суттєво змінюються їх розміщення в композиті, відповідно змінюється капілярно-порова структура бетону і його властивості. Змішування різних фракцій пісків в однакових за об'ємом пропорціях у всіх серіях дозволило отримати піски фактично однакової гранулометрії, але з різними типами зерен.

Другим фактором, який варіювався у даних дослідженнях, була кількість суперпластифікатору полікарбонатного типу Coral ExpertSuid-5. Вона варіювалася від 0,4 до 1% від маси цементу. Цей модифікатор вітчизняного виробництва було обрано за результатами попередніх експериментів.

Відомо, що застосування пластифікаторів дозволяє суттєво знизити В/Ц бетонних сумішей, що впливає на структуру бетону і відповідно на його фізико-механічні характеристики і довговічність. Ефективність застосування суперпластифікаторів як одного з методів підвищення довговічності керамзитобетонів для тонкостінних гідротехнічних споруд була також підтверджена у попередніх експериментальних дослідженнях, проведених за участю автора роботи [191].

В якості в'язучого для керамзитобетонів тонкостінних морських гідротехнічних споруд на *другому етапі* експериментальних досліджень використовувався сульфатостійкий портландцемент ССПЦ 400-Д0 виробництва ПрАТ «Івано-Франківськцемент». Властивості та довговічність керамзитобетонів з використанням цементів з пуцоланом як альтернативних типів цементів для морських гідротехнічних споруд були досліджені додатково (на третьому і четвертому етапах) та описані нижче.

У всіх досліджених легких бетонах кількість портландцементу була однаковою і складала 500 кг/м^3 . Також однаковою була кількість керамзитового гравію – 675 л/м^3 (насипна густина гравію – 500 кг/м^3). Для забезпечення рівних об'ємів для всіх досліджених бетонів, тобто однакової витрати в'язучого і керамзитового гравію на 1 м^3 матеріалу, сумарна кількість піску корегувалася в залежності від кількості води у складі бетону, але знаходилася в достатньо вузькому діапазоні за об'ємом – $460\text{-}470 \text{ л/м}^3$.

Всі суміші мали рівну високу рухомість П5 (ОК складала від 20 до 24 см). Така висока рухомість суміші забезпечувалася насамперед застосуванням ефективного пластифікатору полікарбосилатного типу Coral ExpertSuid-5, який відноситься до так званих «гіперпластифікаторів». Значення В/Ц сумішей і фізико-механічних властивостей досліджених на даному етапі роботи керамзитобетонів на різних типах пісків наведені в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1

В/Ц суміші і фізико-механічні властивості керамзитобетонів
на різних типах пісків (сульфатостійкий портландцемент ССПЦ 400 Д0)

Тип піску	Пластиф. Coral Expert-Suid-5 (%)	В/Ц	Міцність на стиск (МПа)	Міцність на розтяг при згині (МПа)	Водонепроник. W (атм)	Морозостійкість F (цикли)	Середня густина (кг/м ³)	
							у сухому стані	у водон. стані
№1, кварцовий пісок	0,4	0,380	22,3	5,33	10	400	1597	1714
	0,6	0,332	26,1	5,47	12	500	1642	1735
	0,8	0,323	27,6	5,49	12	500	1665	1752
	1	0,320	27,5	5,46	12	500	1670	1755
№2, 50% керамз. піску в крупних фракціях	0,4	0,395	20,9	5,19	8	450	1547	1675
	0,6	0,346	24,3	5,28	10	500	1594	1701
	0,8	0,335	26,8	5,29	10	550	1618	1716
	1	0,331	26,9	5,21	10	500	1620	1717
№3, 100% керамз. піску в крупних фракціях	0,4	0,399	20,4	4,88	6	400	1509	1649
	0,6	0,352	23,6	5,01	8	500	1554	1674
	0,8	0,344	25,8	5,09	8	550	1571	1681
	1	0,341	25,3	5,04	8	500	1572	1681
№4, 50% піноскла в крупних фракціях	0,4	0,382	18,6	5,1	10	400	1497	1614
	0,6	0,338	20,4	5,15	12	500	1535	1629
	0,8	0,331	21,5	5,19	12	500	1548	1637
	1	0,328	20,9	5,17	12	500	1549	1636
№5, 100% піноскла в крупних фракціях	0,4	0,383	17,5	4,33	10	400	1402	1517
	0,6	0,342	18,5	4,45	12	450	1427	1524
	0,8	0,333	19,2	4,51	12	500	1439	1530
	1	0,330	18,8	4,47	10	500	1440	1529

Приготування всіх керамзитобетонних сумішей проводилося з використанням технологічного прийому попередньої обробки керамзитового гравію цементною суспензією в початковій стадії перемішування суміші. Цей прийом впливає на сумісну роботу пористого заповнювача та цементно-піщаної матриці, а також покращує однорідність заповнювача при його роботі в композиційному матеріалі завдяки насиченню тріщин і дефектів на його поверхні та в зовнішньому шарі цементною суспензією [178, 192]. Також він сприяє зниженню проникності контактного шару заповнювача і матриці для води і розчинів агресивних речовин.

Проведені за участю автора роботи попередні експерименти показали ефективність застосування прийому попередньої обробки пористого заповнювача цементною суспензією для керамзитобетонів [193] і бетонів на пористому вапняковому щебені [194].

Рівна рухомість бетонних сумішей забезпечувалася зміною кількості води, відповідно В/Ц досліджених сумішей залежало від їхнього складу. На рис.4.1 показані графіки, що відображають вплив кількості суперпластифікатору і типу піску на В/Ц керамзитобетонних сумішей.

Аналіз наведених на рис.4.1 графіків показує, що при збільшенні кількості пластифікатору Coral ExpertSuid-5 з 0,4 до 0,6% від маси цементу В/Ц легкобетонних сумішей на всіх типах пісків, тобто у всіх серіях, знижується на 11...13%. При збільшенні дозування пластифікатору до 0,8% В/Ц знижується ще на 2..3%. Подальше підвищення кількості пластифікатору, до 1% від маси цементу, вже малоефективне і знижує В/Ц суміші лише приблизно на 1%.

Легкобетонні суміші з дрібним заповнювачем з суміші кварцового піску і піноскла (серії №4 і №5) мають дещо вищу водопотребу і відповідно вище В/Ц в порівнянні з керамзитобетонними сумішами на кварцовому піску, але нижчу водопотребу в порівнянні з сумішами на керамзитовому піску. Це пояснюється тим, що гранульоване піноскло має переважно замкнуту пористість, відповідно низьке власне водопоглинання.

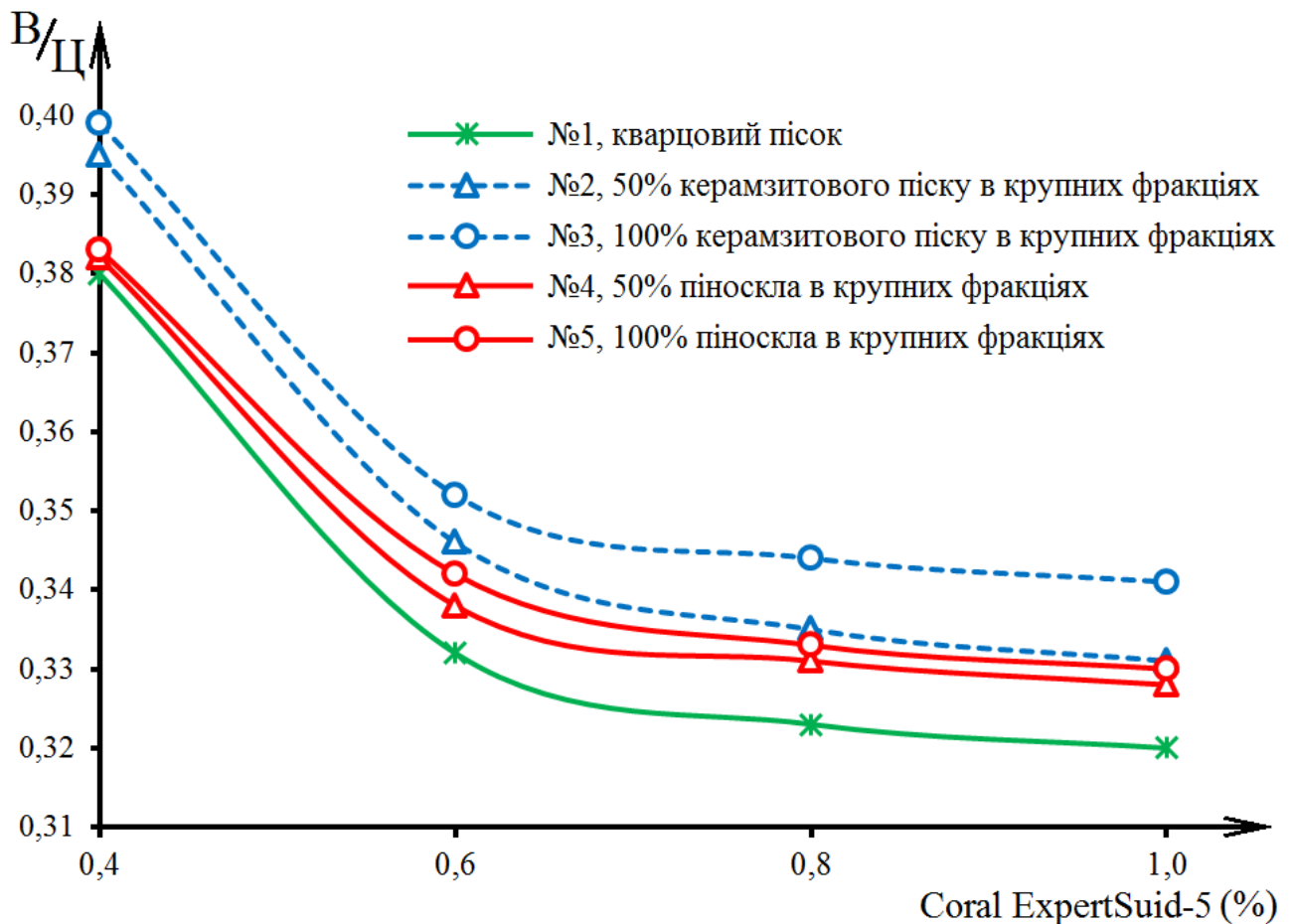


Рис.4.1. Вплив кількості пластифікатора і типу піску на В/Ц керамзитобетонних сумішей рівної рухомості

За умови рівної кількості пластифікатора найменше В/Ц мають керамзитобетонні суміші на кварцовому піску (серія №1), а найбільше – на суміші кварцового і керамзитового пісків (серії №2 і №3). Відповідно при заміні 100% крупних фракцій кварцового піску на легкий пористий пісок В/Ц зростає значно відчутніше, ніж при заміні 50% піску.

Як відомо, В/Ц сумішей суттєво впливає на структуру і, відповідно, на всі фізико-механічні властивості бетону, зокрема на міцність. Але для легких бетонів міцність в значній мірі визначається також типом заповнювача і його сумісною роботою з цементно-піщаною матрицею. Графіки, які відображають вплив кількості суперпластифікатора і типу піску на міцність досліджених керамзитобетонів (на основі сульфатостійкого портландцементу ССПЦ 400-Д0) на стиск, а також на розтяг при згині, показані на рис.4.2.

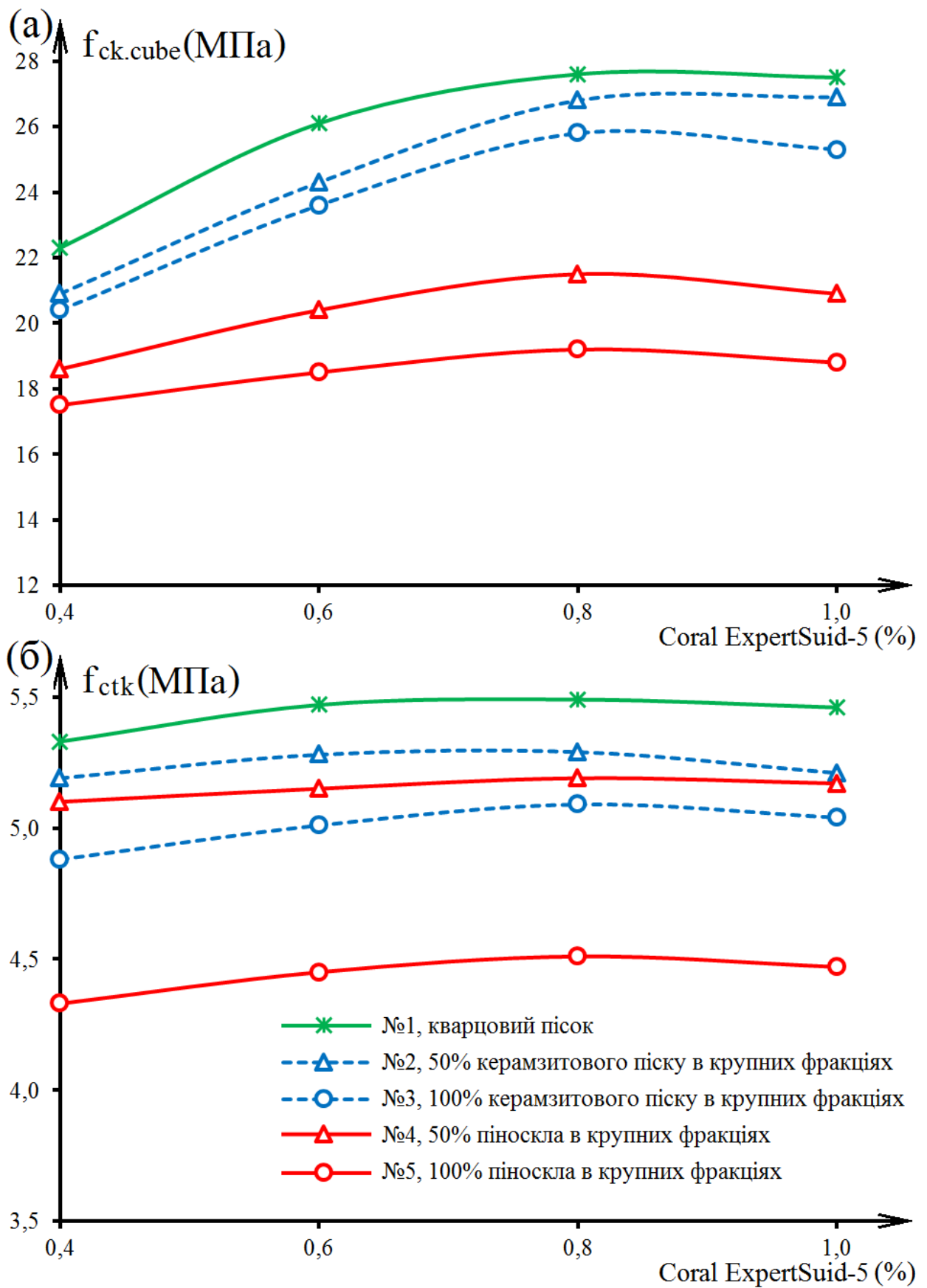


Рис.4.2. Вплив кількості пластифікатору і типу піску на:

а) міцність керамзитобетонів на стиск;

б) міцність керамзитобетонів на розтяг при згині

Аналіз показаних графіків і даних таблиці 4.1 дозволяє сказати, що кількість суперпластифікатору Coral ExpertSuid-5 завдяки зміні В/Ц суміші суттєво впливає на міцність керамзитобетону на стиск (рис.4.2.а), але на міцність легкого бетону на розтяг при згині (рис.4.2.б) кількість даного модифікатору впливає значно менше. Найбільш міцними є керамзитобетони з кількістю пластифікатору Coral ExpertSuid-5 0,8% від маси цементу, подальше підвищення дозування добавки неефективне.

Тип піску, який використовувався у досліджених керамзитобетонах тонкостінних конструкцій морських гідротехнічних споруд, більш відчутно впливав на величину міцності на стик, ніж на міцність на розтяг при згині. Склади з 50% та 100% керамзитового піску в крупних фракціях (серії №2 і №3) показують міцність на стик відповідно на 3..7% та 7..10% нижчу за міцність керамзитобетонів на кварцовому піску (серія №1). При застосуванні 50% та 100% гранульованого піноскла в дрібному заповнювачі (серії №4 і №5) міцність керамзитобетонів на стик знижується відповідно на 17..23% та 23..32% в порівнянні з бетонами на кварцовому піску (серія №1).

Але для тонкостінних конструкцій гідротехнічних споруд, зокрема морських, які в силу специфічних умов експлуатації сприймають різноспрямовані навантаження, не менш важливим показником якості є міцність на розтяг при згині. Як видно з рис.4.2.б, міцність керамзитобетону на розтяг при згині при застосуванні 50% і 100% керамзитового піску в крупних фракціях дрібного заповнювача (серії №2 і №3) змінюється на 4..6 і 7..9% відповідно в порівнянні з керамзитобетонами на кварцовому піску (№1). При застосуванні гранульованого піноскла міцність керамзитобетонів на розтяг також змінюється не суттєво – на 5..6 і 18..19% відповідно для серій №4 і №5 у порівнянні з серією №1, тобто з конструкційними керамзитобетонами на кварцовому піску.

Найбільшу міцність на розтяг при згині для більшості досліджених серій мають керамзитобетони з кількістю суперпластифікатору Coral ExpertSuid-5 0,8% від маси цементу. Проте, як відмічалось вище, дозування даного

модифікатору не суттєво впливало на величину міцності на розтяг при згині керамзитобетонів. Це пояснюється специфікою роботи бетонів на пористих заповнювачах при напруженнях розтягування завдяки кращої, ніж для важкого бетону, адгезії заповнювача до цементно-піщаної матриці.

Наведені дані показують, що керамзитобетони при застосуванні легких пористих пісків зберігають досить високу міцність на розтяг при згині, що, як відмічено вище, є важливим для тонкостінних конструкцій морських гідротехнічних споруд і насамперед для конструкцій плавучих залізобетонних споруд.

Основною метою застосування легких пісків в керамзитобетонах є додаткове зниження середньої густини матеріалу. Відповідно цей показник якості було проаналізовано як для матеріалів в сухому стані, так і для водонасичених бетонів. Середня густина в сухому стані регламентується нормативними документами на легкі бетони, а середня густина у водонасиченому стані є важливим показником якості саме для бетонів плавучих залізобетонних споруд – вона впливає на підйомну силу і відповідно вантажопідйомність залізобетонних понтонів. Крім того, середня густина бетону у водонасиченому стані та при рівноважній вологості регламентується відповідними галузевими стандартами на суднобудівний бетон.

За даними, наведеними в таблиці 4.1, були побудовані показані на рис.4.3 графіки, які відображають вплив кількості суперпластифікатору і типу піску на середню густину досліджених на даному етапі керамзитобетонів (на основі сульфатостійкого портландцементу ССПЦ 400-Д0) в сухому і водонасиченому станах.

Як видно на графіках, при підвищенні дозування суперпластифікатору за рахунок зниження В/Ц суміші і відповідно підвищенні щільності цементно-піщаної матриці середня густина керамзитобетонів в сухому стані зростає на 3..5% (рис.4.3.а).

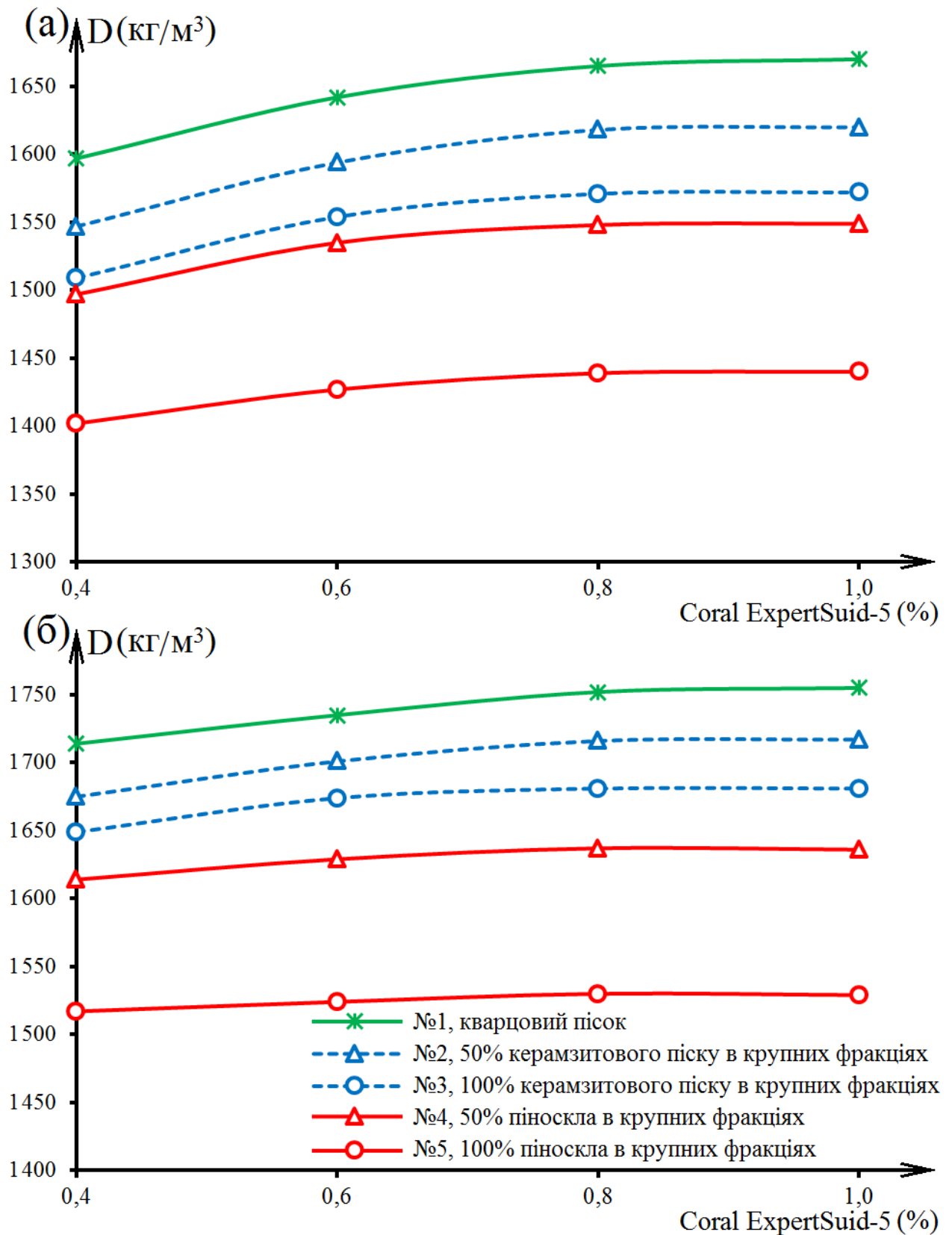


Рис.4.3. Вплив кількості пластифікатору і типу піску на середню густину керамзитобетонів:

а) в сухому стані;

б) в водонасиченому стані

У водонасиченому стані варіювання кількості добавки менш відчутно впливає на середню густину, яка змінюється при підвищенні дозування Coral ExpertSuid-5 з 0,4 до 0,8..1% в межах 1..2,5% (рис.4.3.б). Це пояснюється тим, що склади легких бетонів з більшим В/Ц мають більшу пористість, але при насиченні матеріалу водою значна частка пор у цементно-піщаній матриці заповнюється даною водою, відповідно різниця у середній густині матеріалів з різним В/Ц стає меншою.

При застосуванні 50% і 100% керамзитового піску в крупних фракціях дрібного заповнювача (серії №2 і №3) середня густина легких бетонів в сухому стані знижується на 2,9..3,1% і 5,4..5,9% відповідно. У водонасиченому стані при застосуванні керамзитового піску замість частини кварцового середня густина керамзитобетону змінюється ще менше – на 2,0..2,3% для серії №2 і 3,5..4,2% для серії №3.

Гранульоване піноскло є найбільш «легким» серед використаних типів дрібних заповнювачів, через що при його застосуванні в кількості 50% і 100% від об'єму крупних фракцій піску (серії №4 і №5) середня густина керамзитобетону в сухому стані знижується відповідно на 6,3..7,2% і 12,2..13,8% (рис.4.3.а). Важливим ефектом є те, що завдяки закритому типу пористості піноскла застосування даного заповнювача ефективно знижує середню густину керамзитобетону також і у водонасиченому стані – на 5,8..6,8% для серії №4 і на 11,5..12,9% для серії №5.

В цілому в сухому стані середня густина керамзитобетонів з керамзитовим піском у крупних фракціях (№3) не перевищує 1572 кг/м^3 , а з піском з гранульованого піноскла (№5) не перевищує 1440 кг/м^3 . У водонасиченому стані середня густина керамзитобетонів з керамзитовим піском у крупних фракціях знаходиться у діапазоні $1649..1572 \text{ кг/м}^3$, а середня густина керамзитобетонів з піском з гранульованого піноскла в крупних фракціях – в діапазоні $1517..1529 \text{ кг/м}^3$.

Таким чином, в результаті проведених на *другому етапі* роботи досліджень встановлено вплив пористих пісків, зокрема гранульованого

піноскла, на середню густину і міцність керамзитобетонів для тонкостінних конструкцій морських гідротехнічних споруд. Цим підтверджено можливість застосування легких пісків у конструкційних керамзитобетонах для тонкостінних морських гідротехнічних споруд. Модифіковані керамзитобетони на легких пісках можуть бути використані в якості конструктивних матеріалів в тонкостінних конструкціях, до міцності яких висувуються вимоги відповідного рівня. При цьому за рахунок використання даних матеріалів зі зниженою середньою густиною досягається зниження ваги конструкцій. Найбільш важливою ця задача є для плавучих залізобетонних споруд, зокрема морських, тому що зниження середньої густини матеріалу дозволяє додатково підвищити їх вантажопідйомність. При цьому з позиції зниження середньої густини саме в водонасиченому стані, який є типовим для конструкцій плавучих споруд, перспективними можна вважати керамзитобетони з дрібним заповнювачем, що включає гранульоване піноскло. Як зазначено вище, даний заповнювач має низьке власне водопоглинання, відповідно при насиченні бетону водою більшість його пор залишається заповненою повітрям.

4.2 Дослідження водонепроникності та морозостійкості модифікованих керамзитобетонів з різними типами пісків

Основними показниками якості, що забезпечують довговічність бетонів тонкостінних конструкцій морських гідротехнічних споруд, зокрема плавучих залізобетонних, в типових для них умовах експлуатації є морозостійкість і водонепроникність. Для конструкцій морських споруд, які експлуатуються в солоній воді, також важливою умовою довговічності є корозійна стійкість бетону в сульфатному середовищі. Відповідно в рамках даного етапу роботи були досліджені морозостійкість і водонепроникність модифікованих добавкою полікарбонатного типу керамзитобетонів на різних типах пісків. Задачею досліджень було встановлення впливу типу піску і кількості добавки на

довговічність даних бетонів. Лише за умови забезпечення необхідної водонепроникності та морозостійкості керамзитобетони на пористих пісках можна використовувати як матеріали для тонкостінних конструкцій морських гідротехнічних споруд.

На рис.4.4 показано графіки, які побудовані за даними таблиці 4.1 та які відображають вплив кількості суперпластифікатору Coral ExpertSuid-5 і типу піску на водонепроникність керамзитобетонів.

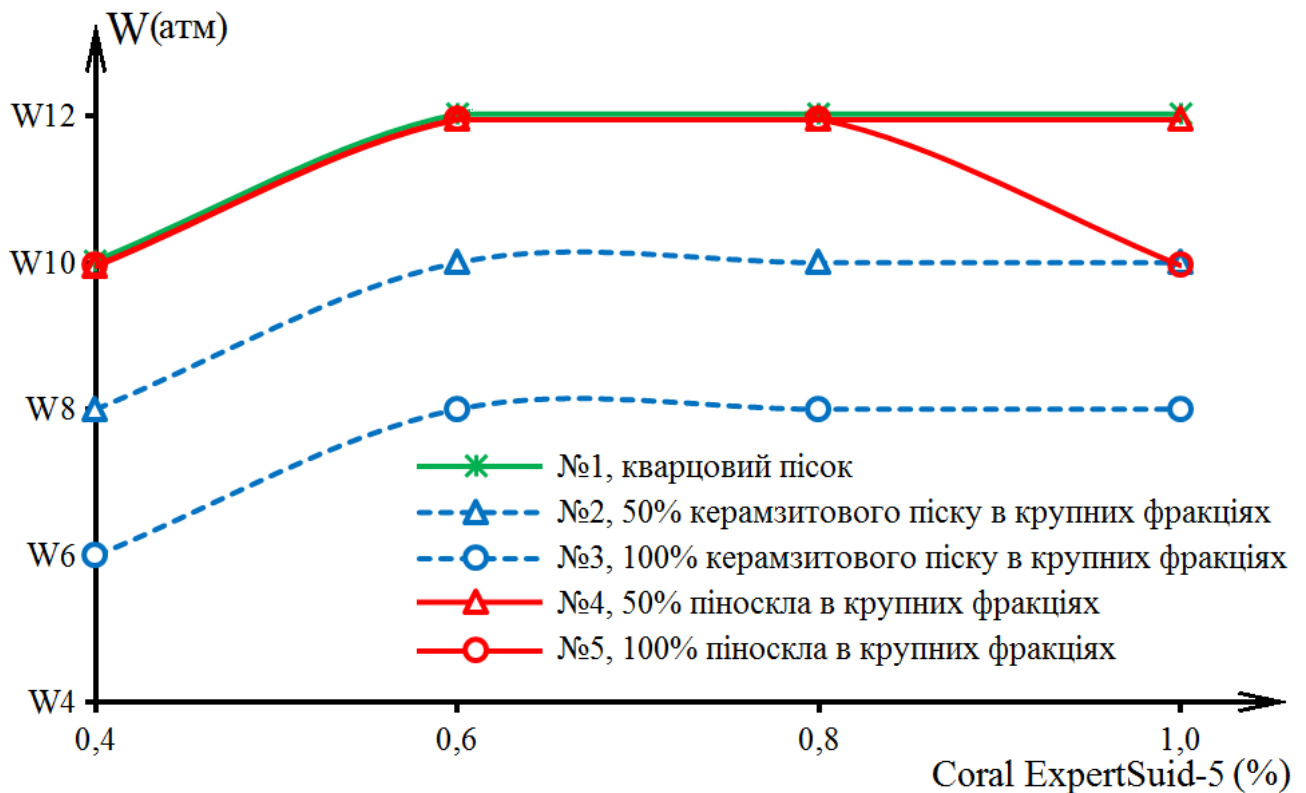


Рис.4.4. Вплив кількості пластифікатору і типу піску на водонепроникність керамзитобетонів

Як видно з рис.4.4, керамзитобетони, які включають піноскло в крупних фракціях дрібного заповнювача (серії №4 і №5), мають водонепроникність фактично на рівні керамзитобетонів на кварцовому піску (серія №1), що обумовлено практично повною непроникністю піноскла для вологи. При застосуванні 50% керамзитового піску в крупних фракціях дрібного заповнювача (серія №2) водонепроникність легких бетонів є приблизно на марку нижче водонепроникності аналогічних керамзитобетонів на кварцовому

піску. При підвищенні кількості керамзитового піску в крупних фракціях до 100% (серія №3) рівень W знижується ще приблизно на одну марку, що пояснюється здатністю даного пористого піску пропускати вологу під гідростатичним тиском. При підвищенні дозування добавки Coral ExpertSuid-5 до 0,6-1,0% за рахунок зниження В/Ц і відповідного впливу на структуру водонепроникність практично всіх досліджених легких бетонів підвищується приблизно на марку в порівнянні з керамзитобетонами з кількістю добавки 0,4% від маси цементу.

Графіки, які побудовані за даними таблиці 4.1 та які відображають вплив кількості суперпластифікатора Coral ExpertSuid-5 і типу піску на морозостійкість досліджених керамзитобетонів показані на рис.4.5.

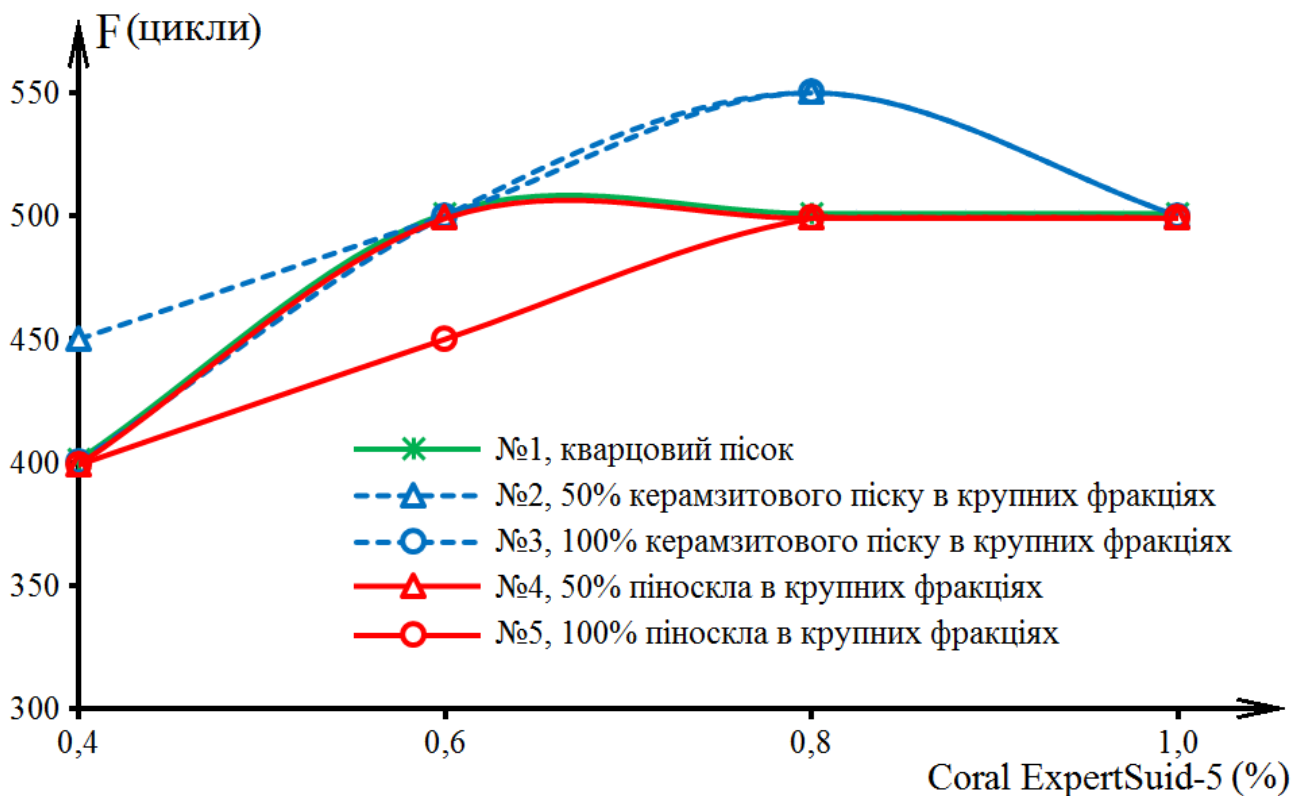


Рис.4.5. Вплив кількості пластифікатора і типу піску на морозостійкість керамзитобетонів

Аналіз графіків на рис.4.5 дозволяє сказати, що морозостійкість керамзитобетонів, до складу яких введено керамзитовий пісок у кількості 50% та 100% від об'єму крупних фракцій дрібного заповнювача (серії №2 і №3), є

рівною або на 50 циклів вищою в порівнянні з морозостійкістю легких бетонів на кварцовому піску. Це може бути пояснено роботою керамзитового піску у структурі капілярно-пористого матеріалу як замкнутої пори, що здатна компенсувати надлишковий тиск води і льоду при заморожуванні бетону. Морозостійкість керамзитобетонів з піносклом у крупних фракціях піску (серії №4 і №5) є фактично рівною морозостійкості керамзитобетонів з кварцовим піском (серія №1). Лише для одного з восьми досліджених складів з піносклом, а саме з вмістом піноскла 100% від об'єму крупних фракцій піску (серія №5) при вмісті добавки Coral ExpertSuid-5 у кількості 0,6% рівень F легкого бетону був на 50 циклів меншим, ніж рівень F керамзитобетону на кварцовому піску з аналогічною кількістю добавки. Але такі розбіжності ненабагато перевищують точність визначення самого показника морозостійкості при проведенні випробувань зразків керамзитобетону.

Завдяки впливу на В/Ц суміші і відповідно капілярно-порову структуру на морозостійкість досліджених керамзитобетонів суттєво впливає кількість добавки суперпластифікатору Coral ExpertSuid-5. При підвищенні дозування добавки з 0,4% до 0,6% від маси цементу рівень F для всіх досліджених серій бетонів зростає на 50-100 циклів. Подальше підвищення дозування Coral ExpertSuid-5, до 0,8% від маси цементу, викликає підвищення морозостійкості на 50 циклів для бетонів серій №2, №3 і №5. Ще більше підвищення дозування суперпластифікатору, тобто до 1%, вже не викликає зростання рівня F, що пояснюється характером впливу кількості модифікатора на В/Ц суміші. Для бетонів з керамзитовим піском зростання дозування Coral ExpertSuid-5 до 1% навіть на 50 циклів знижує морозостійкість відносно найбільшої, тобто досягнутої при кількості суперпластифікатору на рівні 0,8% від маси цементу.

Також в рамках даної частини *другого етапу* роботи була досліджена корозійна стійкість гранульованого піноскла як заповнювача, який фактично не використовувався раніше в бетонах морських гідротехнічних споруд. Три партії піноскла 6 місяців паралельно витримувалися у різних середовищах: у прісній

воді, у штучній морській воді та у агресивному сульфатному середовищі з концентрацією SO_4^{2-} 10000 мг/л (рис.4.6).

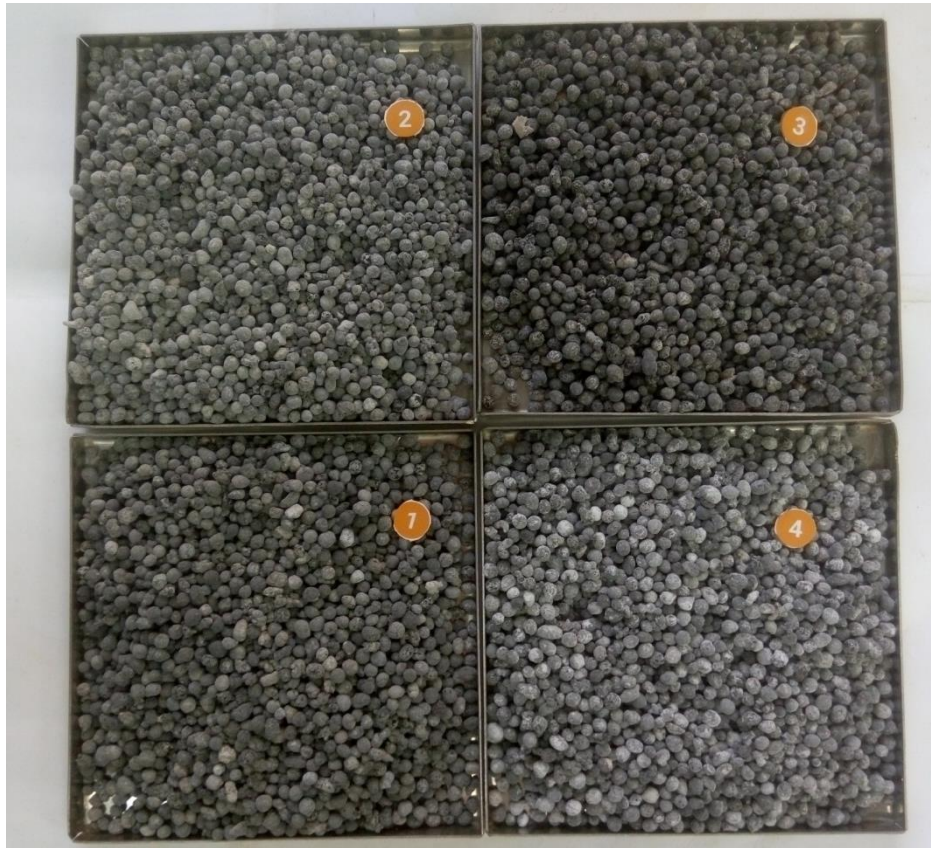


Рис.4.6. Зовнішній вигляд гранульованого піноскла: 1 – початковий; 2 – після 6 місяців витримування у прісній воді; 3 – після 6 місяців витримування у штучній морській воді; 4 – після 6 місяців витримування у агресивному сульфатному середовищі з концентрацією SO_4^{2-} 10000 мг/л (розчин Na_2SO_4)

У всіх трьох середовищах (прісній воді, штучній морській воді, у агресивному сульфатному середовищі) зміна маси гранульованого піноскла (після висушування у порівнянні з початковою масою) не перевищувала 3%. При цьому у прісній воді гранули втратили 1,5% маси, у штучній морській воді набрали 2% маси, у сульфатному середовищі – 3% маси. Такі результати знаходяться на межі точності експерименту і свідчать про стійкість гранульованого піноскла до корозійних впливів, властивих морській воді як середовищу експлуатації.

Таким чином, результати *другого етапу* роботи підтвердили висловлену робочу гіпотезу роботи і показали можливість застосування легких пористих пісків у керамзитобетонах для тонкостінних морських гідротехнічних споруд. Всі досліджені керамзитобетони, включаючи бетони на пористих пісках, мали достатньо високу морозостійкість, F400 і вище. При застосуванні раціональної кількості добавки суперпластифікатору Coral ExpertSuid-5, тобто при кількості даного модифікатора 0,8% від маси цементу, завдяки впливу модифікатору на В/Ц суміші та відповідно на капілярно-порову структуру композиту, морозостійкість керамзитобетонів на всіх типах пісків є не нижче F500. Як показано вище, при зазначеній кількості суперпластифікатору досягається мінімальне В/Ц і відповідно водонепроникність керамзитобетонів з кварцовим піском (серія №1), а також з піском з піносклом у крупних фракціях (серії №4 і №5) знаходиться на рівні W12. Такі високі значення водонепроникності (W12) і морозостійкості (F500) забезпечують підвищену довговічність керамзитобетонів при їх експлуатації в умовах, що є типовими для тонкостінних конструкцій морських гідротехнічних споруд, зокрема плавучих залізобетонних.

4.3 Вплив виду цементу на властивості керамзитобетонів з пористими пісками

В рамках дисертаційної роботи на її *третьому етапі* також були проведені дослідження властивостей декількох аналогічних за складами описаним вище у даному розділі керамзитобетонів на різних типах пісків при використанні альтернативних сульфатостійкому бездобавочному портландцементу типів цементів для бетонів морських гідротехнічних споруд: портландцементу з пуцоланом ПЦ II/A-П-500 Р-Н і сульфатостійкого пуцоланового цементу СЕМ IV/A(P) 42,5 R-SR (аналог ПЦЦ IV/A-500 Р). Задача пошуку альтернативи достатньо дефіцитному на ринку України бездобавочному сульфатостійкому

цементу є актуальною, що зазначалося вище. Як показано у 3-му розділі роботи, при забезпеченні високої водонепроникності бетону цемент з пуцоланом можуть розглядатися як альтернатива сульфатостійкому цементу в конструкціях морських гідротехнічних споруд.

На даному етапі досліджень використовувалися такі цементи виробництва ПрАТ «Івано-Франківськцемент»:

- сульфатостійкий портландцемент ССПЦ 400-Д0;
- портландцемент ПЦ П/А-П-500 Р-Н, який містить 8% пуцолани;
- сульфатостійкий пуцолановий цемент СЕМ IV/А(Р) 42,5 R-SR (аналог ПЦЦ IV/А-500 Р), який містить 23% пуцолани.

Кількість цементу у всіх досліджених легких бетонах складала 500 кг/м^3 , кількість керамзитового гравію – 675 л/м^3 . Для забезпечення рівності об'ємів всіх бетонів (відповідно рівності витрати в'язучого і керамзитового гравію на 1 м^3 матеріалу) кількість піску корегувалася в залежності від кількості води у складі. У всі керамзитобетони вводилася добавка суперпластифікатор полікарбоксилатного типу Coral ExpertSuid-5 в кількості 0,8% від маси цементу, що складало 4 кг/м^3 . Така кількість модифікатору була прийнята з врахуванням результатів другого етапу роботи. Всі суміші мали рівну рухомість П5, ОК складала від 20 до 24 см. Тобто умови експериментів були аналогічні проведеним на другому етапі роботи і описаним у п.4.1, при цьому властивості бетонів на сульфатостійкому портландцементі ССПЦ 400-Д0, використовувалися для порівняння (наведені у таблиці 4.1).

У таблиці 4.2 наведено основні фізико-механічні властивості досліджених керамзитобетонів на різних типах пісків та на основі сульфатостійкого портландцементу ССПЦ 400-Д0, цементу з пуцоланом ПЦ П/А-П-500 Р-Н і сульфатостійкого пуцоланового цементу СЕМ IV/А(Р) 42,5 R-SR.

За умови рівної рухомості сумішей їх В/Ц залежало від складу. Вплив типу цементу, виду і кількості пористих зерен у піску на В/Ц керамзитобетонних сумішей відображено на рис.4.7.

Таблиця 4.2

В/Ц суміші і фізико-механічні властивості керамзитобетонів на основі сульфатостійкого цементу та цементів з пуцоланом на різних типах пісків

Тип піску	Вид цементу	В/Ц	Міцність на стиск (МПа)	Міцність на розтяг при згині (МПа)	Водонепроникність	Морозостійкість	Середня густина (кг/м ³)	
							у сухому стані	у в/нас. стані
Кварцовий пісок	ССПЦ 400-Д0	0,323	27,6	5,49	W12	F500	1665	1752
	ПЦ II/A-II-500 P-H	0,326	28,0	5,51	W14	F500	1660	1751
	СЕМ IV/A(P) 42,5 R-SR	0,371	26,5	5,32	W10	F400	1635	1742
50% керамз. піску в крупних фракціях	ССПЦ 400-Д0	0,335	26,8	5,29	W10	F550	1618	1716
	ПЦ II/A-II-500 P-H	0,341	27,2	5,30	W10	F550	1609	1716
	СЕМ IV/A(P) 42,5 R-SR	0,396	25,9	5,23	W8	F500	1593	1705
100% керамз. піску в крупних фракціях	ССПЦ 400-Д0	0,344	25,8	5,09	W8	F550	1571	1681
	ПЦ II/A-II-500 P-H	0,350	26,0	5,12	W8	F500	1567	1686
	СЕМ IV/A(P) 42,5 R-SR	0,405	24,9	5,05	W6	F450	1553	1677
50% піноскла в крупних фракціях	ССПЦ 400-Д0	0,331	21,5	5,19	W12	F500	1548	1637
	ПЦ II/A-II-500 P-H	0,335	21,9	5,20	W14	F500	1544	1641
	СЕМ IV/A(P) 42,5 R-SR	0,387	20,4	5,22	W10	F450	1526	1632
100% піноскла в крупних фракціях	ССПЦ 400-Д0	0,333	19,2	4,51	W12	F500	1439	1530
	ПЦ II/A-II-500 P-H	0,341	19,4	4,63	W12	F500	1440	1543
	СЕМ IV/A(P) 42,5 R-SR	0,397	19,0	4,59	W8	F400	1422	1534

Аналіз графіків на рис.4.7 і наведених у таблиці 4.2 даних показує, що керамзитобетони на основі сульфатостійкого пуцоланового цементу СЕМ IV/A(P) 42,5 R-SR мали найбільший рівень В/Ц, що обумовлено підвищеною водопотребою в'язучого внаслідок найбільшої кількості пуцолани у його складі – 23%, а також значної тонкості помелу (питомої поверхні). В/Ц сумішей на основі портландцементу з пуцоланом ПЦ II/A-П-500 Р-Н не суттєво відрізнялося від В/Ц бетонних сумішей на основі сульфатостійкого портландцементу ССПЦ 400-Д0.

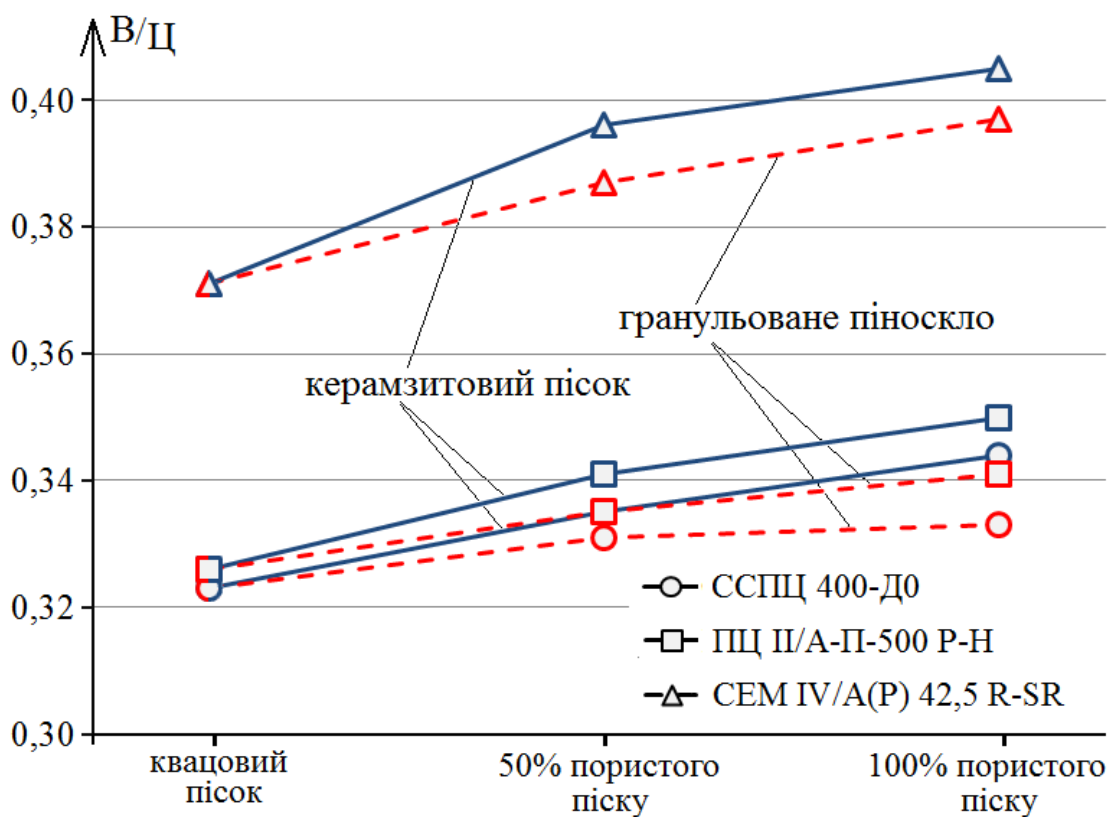


Рис. 4.7. Вплив типу цементу, виду і кількості пористих зерен у піску на В/Ц керамзитобетонних сумішей

Рівень В/Ц сумішей впливав на структуру і відповідно міцність досліджених керамзитобетонів. Керамзитобетони на основі сульфатостійкого пуцоланового цементу СЕМ IV/A(P) 42,5 R-SR характеризувалися меншою міцністю в порівнянні з бетонами на основі цементів ССПЦ 400-Д0 і ПЦ II/A-П-500 Р-Н при аналогічній кількості пористого піску (рис.4.8). При цьому у

міру збільшення частки пористих зерен у піску вплив виду цементу на міцність керамзитобетонів знижується. При заміні 100% крупних фракцій кварцового піску зернами керамзиту аналогічної фракції міцність керамзитобетонів на стиск знижується на 1,6-2 МПа (6..8%). При використанні піноскла заміна 100% крупних фракцій піску викликає зниження міцності на стиск на 7,5-8,6 МПа, тобто на 28..31%.

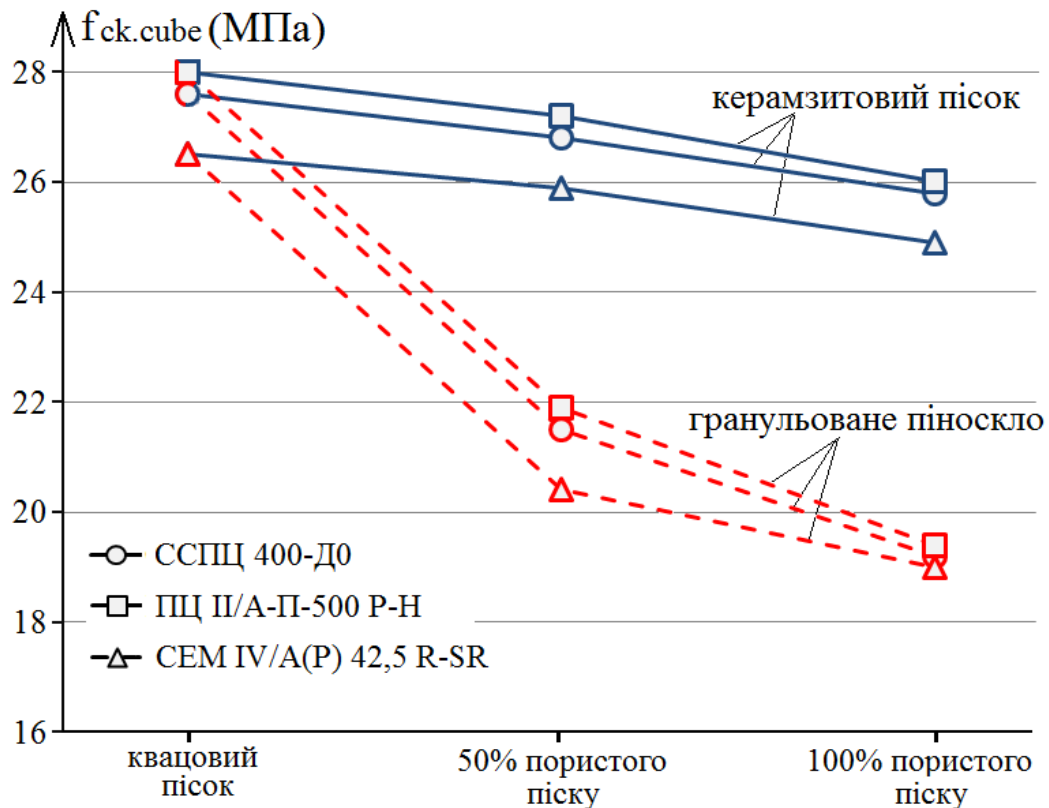


Рис. 4.8. Вплив типу цементу, виду і кількості пористих зерен у піску на міцність на стиск керамзитобетонів

На величину міцності на розтяг при згині досліджених керамзитобетонів заміна кварцового піску пористим впливала менше, ніж на величину міцності на стиск (таблиця 4.2). Так, при використанні керамзитових зерен у крупних фракціях піску значення міцності на розтяг при згині змінювалося у межах 7%, при використанні піноскла – у межах 17%.

Як зазначалося вище, основною метою використання пористих пісків є зниження середньої густини керамзитобетонів для тонкостінних конструкцій

гідротехнічних споруд. Як показано на рис.4.9.а, за рахунок використання піноскла (100% від об'єму крупних фракцій піску) як більш легкого і майже непроникного для вологи заповнювача середня густина досліджених керамзитобетонів у сухому стані знижується більш, ніж на 200 кг/м^3 (13..14%). При використанні аналогічної кількості керамзитового піску середня густина керамзитобетонів знижується на $80..90 \text{ кг/м}^3$ (5..6%). Ці результати цілком збігаються з даними, наведеними у п.4.1. Вид цементу менш впливає на середню густину керамзитобетонів, проте бетони на основі сульфатостійкого пуцоланового цементу СЕМ IV/A(P) 42,5 R-SR відрізнялися дещо меншою середню густину завдяки більшому В/Ц суміші, що впливає на пористість матеріалу.

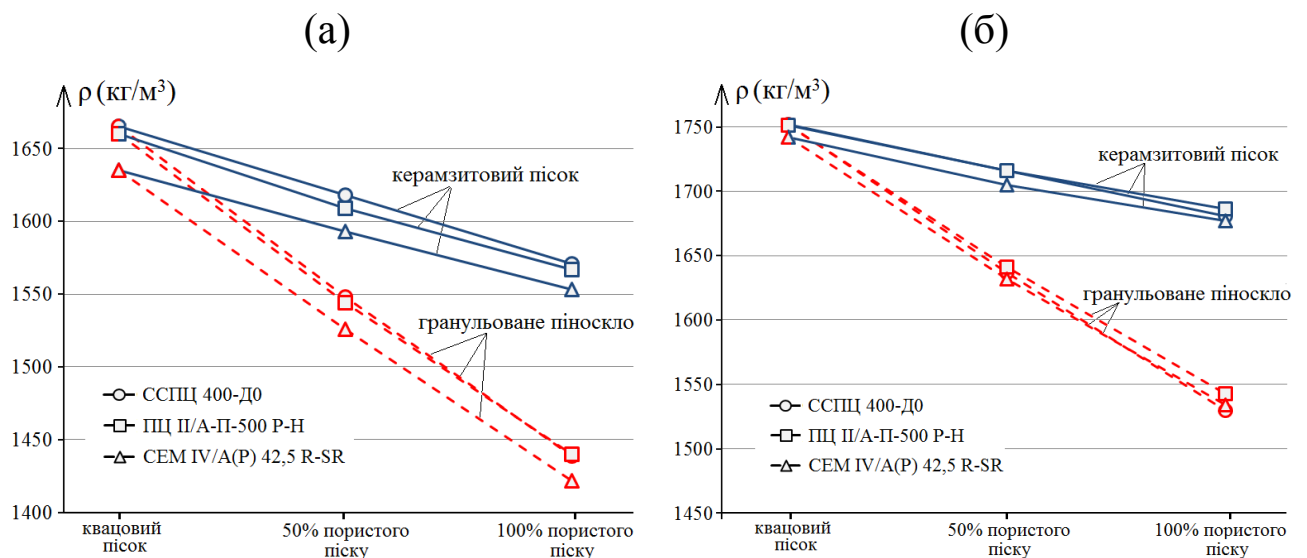


Рис. 4.9. Вплив типу цементу, виду і кількості пористих зерен у піску на середню густину керамзитобетонів в сухому стані (а) і у водонасиченому стані (б)

Проте у водонасиченому стані середня густина досліджених керамзитобетонів менше залежить від типу цементу і обумовлюється переважно типом пористого піску та його кількістю (рис.4.9.б). Даний ефект пояснюється тим, що різна пористість цементно-піщаної матриці (через різне В/Ц сумішей) у водонасиченому стані менше впливає на середню густину

бетону в порівнянні з впливом пор в сухому стані через заповнення більшості об'єму цих пор водою.

Також проведені на даному етапі дослідження показують (рис.4.10), що керамзитобетони на основі сульфатостійкого пуцоланового цементу СЕМ IV/A(P) 42,5 R-SR мають водонепроникність в середньому на одну марку нижче, ніж бетони на портландцементі ССПЦ 400-Д0 і на одну-дві марки нижче, ніж керамзитобетони на портландцементі ПЦ II/A-II-500 Р-Н. Це пояснюється високою водопотребою пуцоланового цементу та відповідно високим В/Ц суміші, що впливає на капілярно-порову структуру композиту.

Підвищена витрата води замішування бетонної суміші сприяє зниженню щільності структури та відповідно довговічності керамзитобетонів на основі сульфатостійкого пуцоланового цементу в конструкціях тонкостінних гідротехнічних споруд в порівнянні з керамзитобетонами на портландцементях ССПЦ 400-Д0 або ПЦ II/A-II-500 Р-Н.

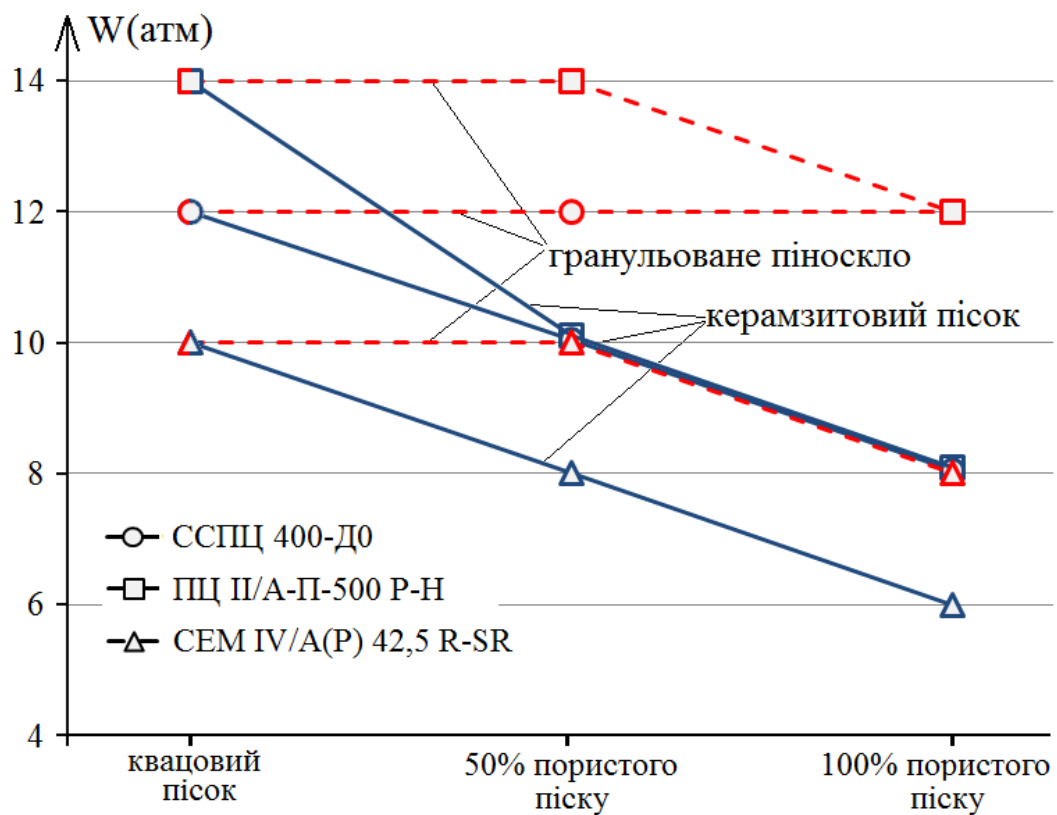


Рис. 4.10. Вплив типу цементу, виду і кількості пористих зерен у піску на водонепроникність керамзитобетонів

Необхідність підвищення витрати води замішування при використанні сульфатостійкого пуцоланового цементу СЕМ IV/A(P) 42,5 R-SR, тобто підвищення В/Ц суміші, також вплинула на морозостійкість керамзитобетонів, що показано на наведених на рис.4.11 графіках.

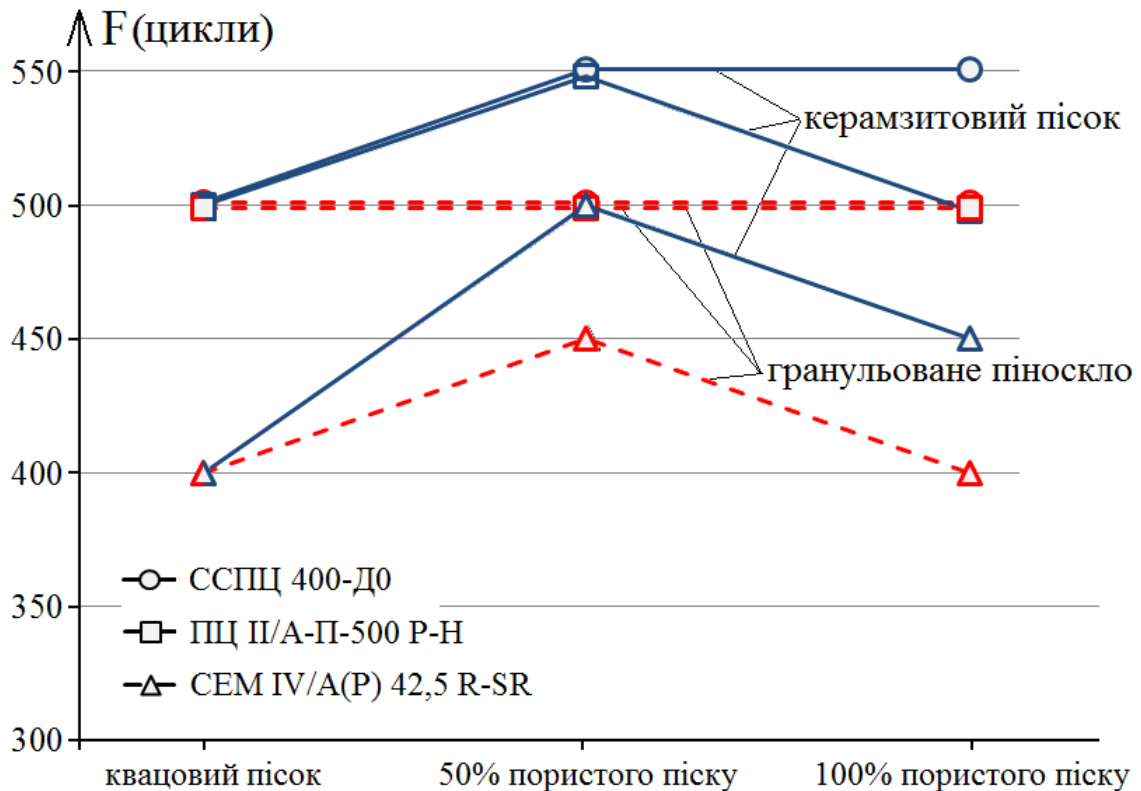


Рис. 4.11. Вплив типу цементу, виду і кількості пористих зерен у піску на морозостійкість керамзитобетонів

Проведені на даному *третьому етапі* роботи дослідження встановили, що морозостійкість модифікованих суперпластифікатором Coral ExpertSuid-5 керамзитобетонів на основі сульфатостійкого пуцоланового цементу СЕМ IV/A(P) 42,5 R-SR в залежності від кількості та виду пористих зерен у піску складає від 400 до 500 циклів, що на 50..100 циклів менше, ніж рівень морозостійкості аналогічних за складом модифікованих суперпластифікатором керамзитобетонів на основі сульфатостійкого портландцементу ССПЦ 400-Д0 та портландцементу з пуцоланом ПЦ II/A-П-500 Р-Н (рис.4.11).

Таким чином, проведені на *третьому етапі* роботи дослідження показали, що керамзитобетони на основі сульфатостійкого портландцементу ССПЦ 400-Д0, модифіковані суперпластифікатором полікарбоксилатного типу Coral ExpertSuid-5, мають високий рівень як водонепроникності, так і морозостійкості, за рахунок чого забезпечують підвищену довговічність матеріалу при використанні в більшості тонкостінних конструкцій морських гідротехнічних споруд, зокрема плавучих залізобетонних, в типових для них умовах експлуатації.

Також на даному *третьому етапі* роботи встановлено, що в якості найбільш прийняттого альтернативного в'язучого дефіцитному портландцементу ССПЦ 400-Д0 для бетонів тонкостінних морських гідротехнічних споруд при забезпеченні їх високої водонепроникності можливо застосування портландцементу з пуцоланом ПЦ II/A-П-500 Р-Н.

Для бетонів конструкцій, які не піддаються багатоцикловому заморожуванню і відтаюванню, а також до яких висуваються менші вимоги щодо водонепроникності, при існуванні вимог щодо сульфатостійкості, у якості альтернативного портландцементу ССПЦ 400-Д0 можливо використання сульфатостійкого пуцоланового цементу СЕМ IV/A(P) 42,5 R-SR. Але для більшості конструкцій тонкостінних морських гідротехнічних споруд не можна рекомендувати використання керамзитобетонів на основі сульфатостійкого пуцоланового цементу СЕМ IV/A(P) 42,5 R-SR через високу водопотребу цього в'язучого, що негативно впливає на структуру бетону.

Незалежно від виду застосованого портландцементу при необхідності додаткового зниження середньої густини матеріалу в конструкціях з меншими вимогами щодо міцності матеріалу, зокрема в деяких конструкціях плавучих залізобетонних споруд, можливо застосування керамзитобетонів з гранульованим піносклом в якості частини дрібного заповнювача.

4.4 Дослідження структури керамзитобетонів з різними типами пісків

Властивості матеріалу визначає його структура, а для бетонів як для капілярно-пористих композитів властивості в значній мірі визначаються саме пористістю.

На *другому етапі* досліджень, як показано вище, середня густина легких бетонів визначалася у водонасиченому та сухому станах (таблиця 4.1). Відповідно було розраховане водопоглинання керамзитобетонів, яке фактично є значенням відкритої пористості зразків. З врахуванням доволі значного діапазону варіювання середньої густини досліджених легких бетонів методично правильніше визначати їх пористість у відсотках за об'ємом, а не за масою, що точніше відображає вміст доступних для вологи порожнин, тобто пор і капілярів, в структурі даних матеріалів. Відомості про відкриту об'ємну пористість (водопоглинання у відсотках за об'ємом) керамзитобетонів на різних типах пісків (на сульфатостійкому портландцементі ССПЦ 400 Д0) наведені у таблиці 4.3.

Таблиця 4.3

Відкрита об'ємна пористість (водопоглинання у % за об'ємом)
керамзитобетонів на різних типах пісків
(сульфатостійкий портландцемент ССПЦ 400 Д0)

Пластиф. Coral Expert- Suid-5 (%)	Тип піску				
	кварцовий пісок	50% керамзитов. піску в крупних фракціях	100% керамзитов. піску в крупних фракціях	50% піноскла в крупних фракціях	100% піноскла в крупних фракціях
0,4	11,7	12,8	14,0	11,7	11,5
0,6	9,3	10,7	12,0	9,4	9,7
0,8	8,7	9,8	11,0	8,9	9,1
1,0	8,5	9,7	10,9	8,7	8,9

Графіки, що побудовані за даними таблиці 4.3 та які відображають вплив кількості суперпластифікатору і типу піску на відкриту об'ємну пористість досліджених керамзитобетонів, показані на рис.4.12.

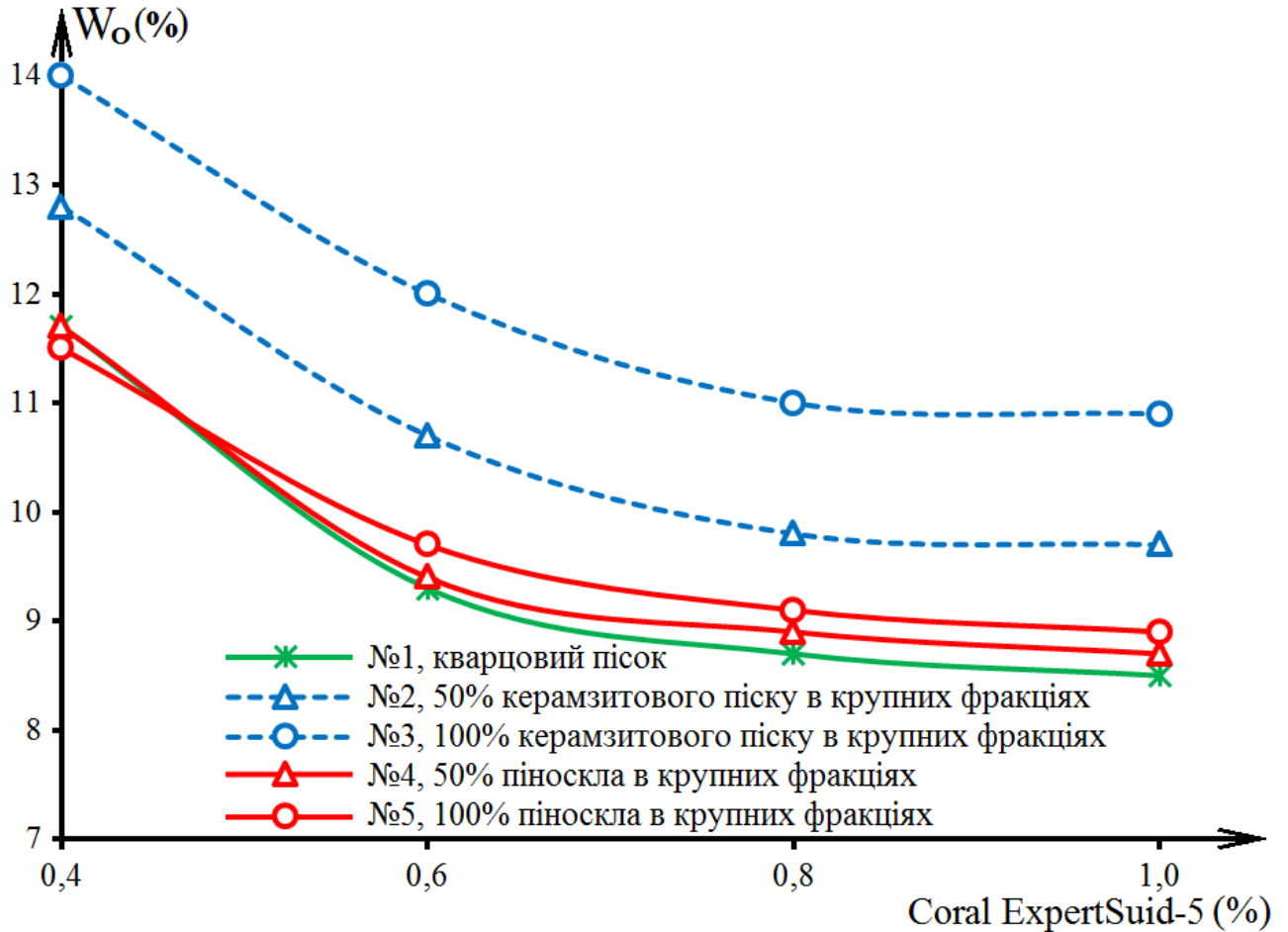


Рис.4.12. Вплив кількості пластифікатору і типу піску на відкриту об'ємну пористість керамзитобетонів (водопоглинання у % за об'ємом)

Аналіз графіків і даних таблиці 4.3 показує, що при зростанні дозування суперпластифікатору Coral ExpertSuid-5 завдяки зниженню В/Ц суміші відкрита пористість досліджених керамзитобетонів знижується на 2,6-3,2% за об'ємом. Це зниження складає від 22 до 27% відносно пористості бетонів з мінімальною кількістю суперпластифікатору, тобто завдяки використанню раціональної кількості модифікатору пористість легких бетонів відчутно знижується.

За умови рівної кількості суперпластифікатору найбільшу відкриту об'ємну пористість мають керамзитобетони з керамзитовим піском. При цьому

при використанні 100% даного типу пористого заповнювача в крупних фракціях піску відкрита пористість бетону очікувано була вище, ніж при використанні 50% керамзитового піску.

Відкрита пористість керамзитобетонів з гранульованим піносклом в крупних фракціях піску практично не відрізнялась від величини відкритої пористості керамзитобетонів на кварцовому піску. Це пояснюється низьким власним водопоглинанням гранул піноскла завдяки їх закритому типу власної пористості. Низьке водопоглинання гранул піноскла також сприяло зниженню деформацій набухання і усадки цього заповнювача при твердінні бетону, та відповідно покращеному контакту заповнювача з цементною матрицею. Також низьке водопоглинання має сприяти зниженню деформацій при зволоженні та висушуванні бетону.

На рис.4.13 наведено результати електронної мікроскопії структури керамзитобетонів з гранульованим піносклом в крупних фракціях піску, зокрема при максимально доступному збільшенні досліджено контактну зону гранул піноскла і цементно-піщаної матриці.

Гранули піноскла мають замкнуту пористість з порами приблизно однакового діаметру (рис.4.13.а). Міжпорові перегородки гранул мають аморфну склоподібну структуру, в якій присутні пори малого розміру (рис.4.13.б). Завдяки аморфній структурі на зроблених при збільшенні $\times 5000$ мікрофото матеріал міжпорових перегородок виглядає як суцільний (рис.4.13. в,г).

Аналіз мікрофотографій дозволяє стверджувати, що кристали цементної (цементно-піщаної) матриці мають щільний контакт з гранулами піноскла, що пояснюється, зокрема, незначними вологісними деформаціями гранул піноскла при зволоженні та висушуванні. Це підтверджує можливість застосування пористих пісків на основі гранульованого піноскла в легких бетонах морських гідротехнічних споруд, зокрема залізобетонних плавучих, для яких важливим показником довговічності є водонепроникність.

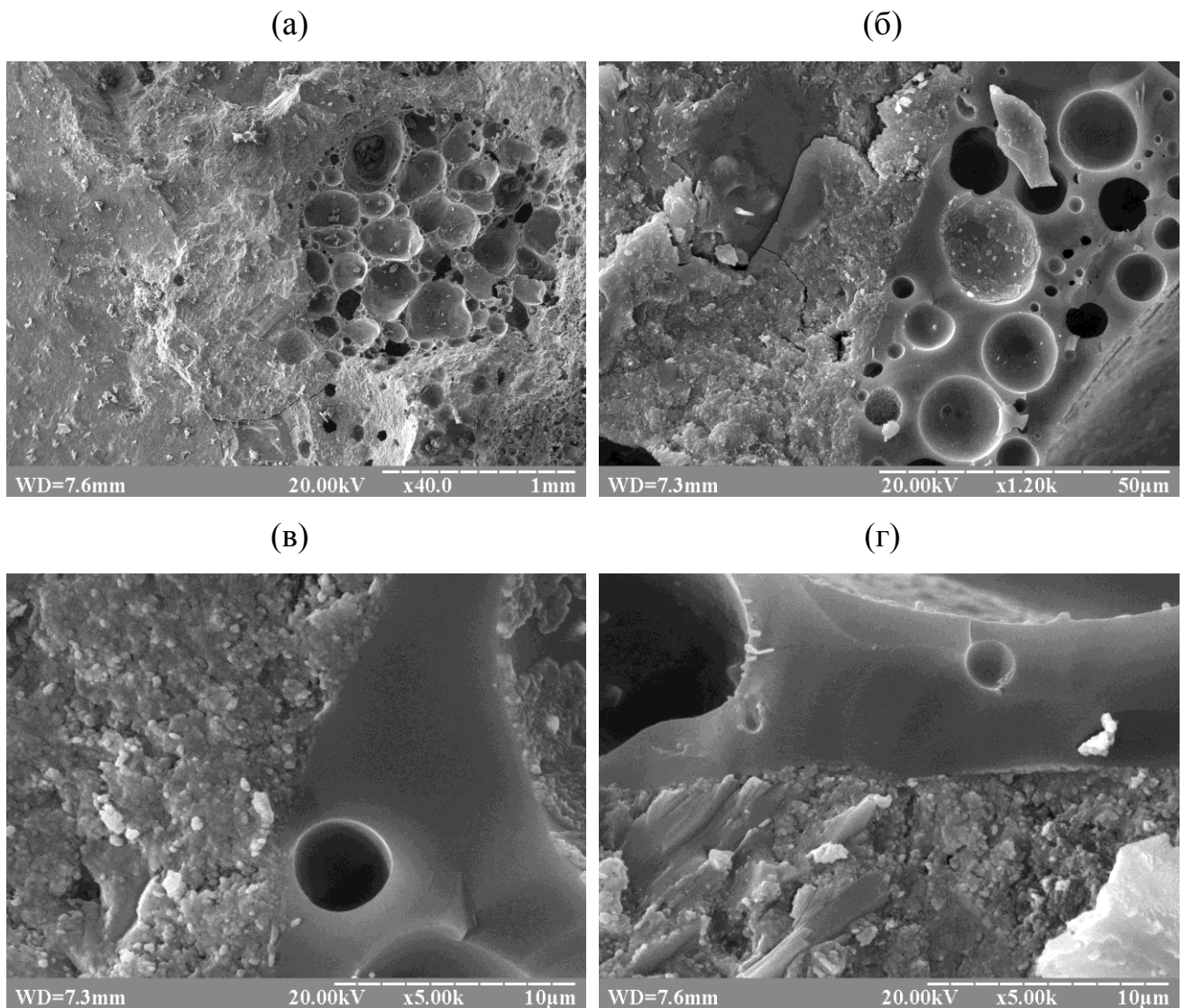


Рис.4.13. Результати електронної мікроскопії структури керамзитобетонів з гранульованим піносклом в крупних фракціях піску:

- а) гранула піноскла в бетоні (збільшення $\times 40$);
- б) контактна зона гранули піноскла і цементно-піщаної матриці (збільшення $\times 1200$);
- в, г) контактна зона гранули піноскла і цементно-піщаної матриці (збільшення $\times 5000$).

Підтвердженням різного характеру впливу керамзитового піску і гранул піноскла на процеси структуроутворення при твердінні та експлуатації керамзитобетонів можна вважати різний вплив цих заповнювачів на технологічну пошкодженість досліджених керамзитобетонів. Дані, отримані на

другому етапі роботи, щодо зміни коефіцієнту технологічної пошкодженості керамзитобетонів на різних типах пісків (на портландцементі ССПЦ 400 Д0), наведені у таблиці 4.4.

Таблиця 4.4

Коефіцієнт технологічної пошкодженості K_{Π} (см/см²)
 керамзитобетонів на різних типах пісків
 (сульфатостійкий портландцемент ССПЦ 400 Д0)

Пластиф. Coral Expert- Suid-5 (%)	Тип піску				
	кварцовий пісок	50% керамзитов. піску в крупних фракціях	100% керамзитов. піску в крупних фракціях	50% піноскла в крупних фракціях	100% піноскла в крупних фракціях
0,4	2,34	2,46	2,54	2,36	2,37
0,6	2,15	2,25	2,29	2,17	2,19
0,8	2,11	2,2	2,25	2,13	2,14
1,0	2,13	2,19	2,24	2,13	2,15

Значення K_{Π} для керамзитобетонів визначалося у віці зразків 1 рік, що було необхідно для кращого проявлення технологічних тріщин і внутрішніх поверхонь розділу на поверхні зразків завдяки процесу карбонізації. Значення коефіцієнту технологічної пошкодженості відображає результат процесів утворення внутрішніх поверхонь розділу і технологічних тріщин в композиті [162- 164, 195, 196].

За даними, наведеними у таблиці 4.4, були побудовані графіки, що показані на рис. 4.14 і які відображають вплив кількості суперпластифікатору Coral ExpertSuid-5 і типу піску на коефіцієнт технологічної пошкодженості досліджених керамзитобетонів.

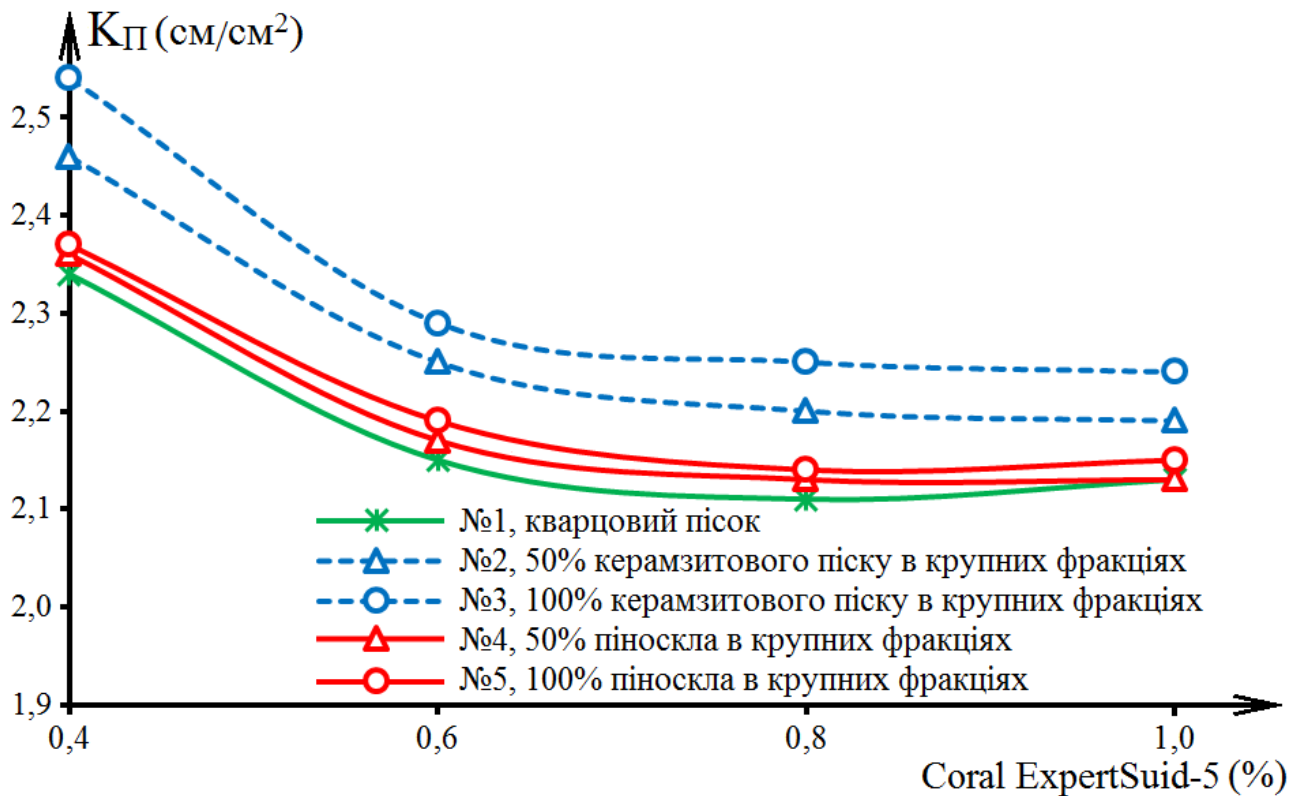


Рис.4.14. Вплив кількості суперпластифікатора і типу піску на коефіцієнт технологічної пошкодженості $K_{П}$ керамзитобетонів ($\text{см}/\text{см}^2$)

Аналіз графіків на рис.4.14 і даних таблиці 4.4 показує, що в міру зростання кількості суперпластифікатора Coral ExpertSuid-5 у складі керамзитобетонів коефіцієнт їх технологічної пошкодженості знижується, що можна пояснити зниженням В/Ц суміші і, відповідно, меншими внутрішніми деформаціями композиційного матеріалу в процесі формування структури.

При однаковій кількості добавки суперпластифікатора Coral ExpertSuid-5 бетони на кварцовому піску мають найменший рівень $K_{П}$, бетони з піноском в крупних фракціях дрібного заповнювача мають дещо вищий рівень $K_{П}$, і найбільший рівень коефіцієнту технологічної пошкодженості мають керамзитобетони з керамзитовим піском у крупних фракціях піску. Це можна пояснити впливом виду заповнювача на В/Ц суміші. В цілому можна констатувати, що переважний вплив на коефіцієнт технологічної пошкодженості досліджених керамзитобетонів має В/Ц суміші, що можна

пояснити наявність пористих зерен у всіх досліджених матеріалах, відповідно обмеженим впливом варіювання їх кількості на величину $K_{\text{П}}$.

Висновки за 4-м розділом

1. Досліджено вплив різних типів пісків (кварцового, керамзитового, гранульованого піноскла) і гіперпластифікатора полікарбосилатного типу на структуру, міцність, середню густину і довговічність керамзитобетонів. Підтверджена можливість застосування даних бетонів для тонкостінних конструкцій морських гідротехнічних споруд, для яких важливо зниження ваги. Використання гранульованого піноскла в якості частини дрібного заповнювача знижує середню густину керамзитобетонів в сухому стані до 1400..1440 кг/м³, у водонасиченому – до 1520..1530 кг/м³. При використанні керамзитового піску середня густина керамзитобетонів знижується відповідно до 1510..1570 кг/м³ і 1650..1680 кг/м³.

2. Кількість суперпластифікатора Coral ExpertSuid-5 відчутно впливає на В/Ц бетонних сумішей, за рахунок чого впливає на структуру, міцність на стиск, водонепроникність і морозостійкість керамзитобетонів як капілярно-пористих композитів. Найбільш міцними є керамзитобетони з кількістю пластифікатора Coral ExpertSuid-5 0,8% від маси цементу. Міцність на стиск керамзитобетонів, в яких кварцовий пісок фракцій 1,25..2,5 мм і 2,5..5 мм замінено керамзитовим піском, досягає 26,0 МПа, міцність аналогічних бетонів з гранульованим піносклом в крупних фракціях дрібного заповнювача досягає 19,4 МПа. Міцність на розтяг при згині всіх досліджених керамзитобетонів знаходиться в діапазоні від 4,4 до 5,5 МПа.

3. Заміна кварцового піску гранульованим піносклом практично не впливає на водонепроникність керамзитобетону. Керамзитобетони на портландцементі ССПЦ 400-Д0 з кварцовим піском і з піносклом в крупних фракціях дрібного заповнювача мають водонепроникність W10..W12. При застосуванні 50%

керамзитового піску в крупних фракціях дрібного заповнювача водонепроникність керамзитобетонів знижується на одну марку, при підвищенні кількості керамзитового піску в крупних фракціях до 100% – на дві марки.

4. Встановлено, що всі досліджені керамзитобетони на портландцементі ССПЦ 400-Д0 мають високу морозостійкість – F400 і вище. При застосуванні раціональної кількості суперпластифікатору Coral ExpertSuid-5, яка складає 0,8% від маси цементу, морозостійкість керамзитобетонів підвищується до рівня F500..F550.

5. Доведена можливість використання портландцементу з пуцоланом ПЦ II/A-П-500 Р-Н в якості альтернативни сульфатостійкому портландцементу ССПЦ 400-Д0 для керамзитобетонів тонкостінних конструкцій морських гідротехнічних споруд при забезпеченні високої водонепроникності матеріалу. Модифіковані суперпластифікатором Coral ExpertSuid-5 керамзитобетони на портландцементі ПЦ II/A-П-500 Р-Н мають міцність, морозостійкість і водонепроникність не нижче, ніж аналогічні за складом керамзитобетони на сульфатостійкому портландцементі ССПЦ 400-Д0.

6. В жорстких умовах експлуатації тонкостінних конструкцій морських гідротехнічних споруд не можна рекомендувати використання сульфатостійкого пуцоланового цементу СЕМ IV/A(P) 42,5 R-SR через високу водопотребу цього в'язучого. Встановлено, що керамзитобетони на цементі СЕМ IV/A(P) 42,5 R-SR мають в середньому на одну марку нижчу водонепроникність і на 50-100 циклів нижчу морозостійкість, ніж бетони на портландцементі ССПЦ 400-Д0, що пояснюється високим В/Ц суміші на даному цементі.

7. Результати досліджень, що викладені у даному розділі, опубліковані у роботах [191, 193, 194, 197-201].

РОЗДІЛ 5
ДОСЛІДЖЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ
ДЕКОРАТИВНИХ КЕРАМЗИТОБЕТОНІВ ДЛЯ ТОНКОСТІННИХ
МОРСЬКИХ ГІДРОТЕХНІЧНИХ СПОРУД.
ВПРОВАДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

**5.1 Вплив складу декоративних керамзитобетонів
для тонкостінних морських гідротехнічних споруд
на їх механічні властивості та довговічність**

Однією з особливостей більшості гідротехнічних споруд є складність влаштування оздоблення їх конструкцій. Для частини тонкостінних морських гідротехнічних споруд, в першу чергу таких як плавучі готелі та дома, важливим є їх естетичний вигляд. Відповідно, застосування декоративних бетонів є найбільш практичним, а іноді навіть єдиним методом підвищення архітектурної виразності частини конструкцій подібних споруд. В першу чергу слід казати про практичність застосування декоративних бетонів в конструкціях, які безпосередньо контактують з водою і через це є складними для оздоблення «класичними» методами. Насамперед це конструкції залізобетонних понтонів плавучих доків, готелів і домів. Також задача використання декоративних бетонів є актуальною для окремих конструкцій мостів, причалів тощо.

Надати декоративні властивості легким бетонам можна різними методами, але одним з найпростіших і найефективніших є метод застосування кольорових пігментів для придання відповідного кольору матеріалу [202, 203]. Використання безпосередньо готових кольорових цементів для бетонів морських гідротехнічних споруд є практично неможливим через незабезпечену стійкість цих в'язучих до сульфатної корозії та деяких інших видів агресивних впливів, які є типовими при експлуатації споруд на морі.

На *четвертому етапі* роботи досліджувався вплив залізоокисних пігментів, суперпластифікаторів, технології приготування бетонної суміші та виду цементу на структуру, міцність, водонепроникність, морозостійкість, корозійну стійкість та кольорову гаму керамзитобетонів. Задачею цього етапу була розробка складів модифікованих декоративних (кольорових) керамзитобетонів підвищеної стійкості для тонкостінних морських гідротехнічних споруд, які можуть зокрема бути використаними в якості суднобудівних.

Для зміни кольорової гама легкого бетону застосовувалися неорганічні залізоокисні синтетичні пігменти торгової марки *Baufferox*: червоний пігмент IOX R03, основна речовина цього пігменту – Fe_2O_3 , а також жовтий пігмент IOX Y02, основна речовина даного пігменту – $\text{FeO}(\text{OH})$. Залізоокисні пігменти добре зарекомендували себе у складі важких суднобудівних бетонів [204, 205], відповідно науковий інтерес викликає дослідження ефективності їх застосування у складі керамзитобетонів для тонкостінних гідротехнічних споруд.

Досліджувалися властивості декоративних керамзитобетонів, виготовлених на основі цементів ССПЦ 400-Д0 і ПЦ П/А-П-500 Р-Н, а також з двома типами суперпластифікаторів: С-3 і *Coral ExpertSuid-5*. Такій вибір цементів обумовлено результатами попереднього, третього етапу роботи. Вибір суперпластифікаторів обумовлений тим, що добавка суперпластифікатор С-3 гарно зарекомендувала себе у складі суднобудівних бетонів [169], в тому числі важких декоративних [150,151]. При цьому добавка полікарбоксилатного типу *Coral ExpertSuid-5* є більш ефективною, відповідно для порівняння досліджувалися властивості декоративних керамзитобетонів з добавками С-3 і *Coral ExpertSuid-5*.

При використанні в якості в'язучого сульфатостійкого портландцементу ССПЦ 400-Д0 і в якості добавки суперпластифікатору С-3 дослідження властивостей декоративних керамзитобетонів для тонкостінних конструкцій

морських гідротехнічних споруд проводилися на двох паралельних серіях зразків.

Перша серія зразків виготовлялася за традиційною для керамзитобетонів технологією. Тобто у змішувач послідовно подавалася вода з розчищеною в ній добавкою пластифікатором С-3 і керамзитовий гравій. Далі, після 30...45 секунд перемішування (насичення гравію водою), подавався портландцемент і пісок. Залізоокисні пігменти розмішувалися з цементом в сухому стані завчасно, що було необхідно для забезпечення рівномірності їх розподілу в бетонній суміші. Таким чином, пористий керамзитовий гравій насичувався переважно водою, а загальна тривалість перемішування складала в середньому п'ять хвилин.

Друга серія зразків виготовлялася з застосуванням технологічного прийому обробки пористого гравію цементною суспензією [178, 192]. Для цього у змішувач послідовно подавалося 90% від необхідної на заміс кількості води з розчиненими в ній 50% добавки суперпластифікатору С-3 та 30% від необхідної кількості цементу і ця суспензія перемішувалася приблизно одну хвилину. Далі у змішувач, де знаходилась суспензія, подавався керамзитовий гравій і перемішування продовжувалося ще одну хвилину. Після цього подавалася решта цементу, пісок і решта води з розчищеною добавкою (теж 50%). В даному випадку залізоокисні пігменти розмішувалися завчасно з 70% цементу в сухому стані, тобто у суспензію, яка використовувалася для насичення гравію, пігмент не вводився. Розділення введення добавки суперпластифікатору на дві порції було обумовлено тим, що цементна суспензія виготовлялася не зі всієї кількості необхідного цементу для розподілу пігменту в його решті. Таким чином, пористий керамзитовий гравій насичувався цементною суспензією, а загальна тривалість перемішування суміші складала в середньому шість хвилин, тобто на хвилину довше, ніж для «контрольної» першої серії.

У кожній серії виготовлялося по п'ять партій зразків з різними видами та кількістю залізоокисного пігменту у складі. Всі досліджені керамзитобетони

мали у складі однакову кількість портландцементу – 500 кг/м^3 , а також рівну кількість керамзитового гравію – 670 л/м^3 (насіпна густина гравію – 540 кг/м^3).

В якості компонентів бетонів використовувалися: сульфатостійкий портландцемент ССПЦ 400-Д0 виробництва ПрАТ «Івано-Франківськцемент», керамзит фракції 5..10 мм, кварцовий пісок, неорганічні залізоокисні синтетичні пігменти, які описані вище. У всіх досліджених на даному етапі складах керамзитобетонів застосовувалася добавка суперпластифікатор С-3 в кількості 0,8% від маси цементу.

Для забезпечення рівного розрахункового об'єму суміші кількість піску корегувалася в залежності від застосування у складі легкого бетону пігменту та, відповідно, В/Ц суміші. Тобто склади досліджених керамзитобетонів були максимально близькими і корегувалися лише з врахуванням кількості та типу пігменту.

Один склад керамзитобетону (одна партія зразків під №1) у кожній серії був контрольним, тобто без пігменту. Склади №2 і №3 у кожній партії включали червоний пігмент, 10 і 20 кг/м^3 відповідно, а склади №4 і №5 – жовтий пігмент, також відповідно 10 і 20 кг/м^3 . Склади всіх досліджених на даному *четвертому етапі* роботи модифікованих добавкою С-3 декоративних і контрольних керамзитобетонів наведені в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1

Склади досліджених декоративних і контрольних керамзитобетонів

(в'язуче – ССПЦ 400-Д0, добавка С-3)

№ партії в кожній з серій	№1, контроль	№2, червоний	№3, червоний	№4, жовтий	№5, жовтий
Сульфатостійкий портландцемент ССПЦ 400-Д0	500 кг/м^3				
Керамзит	670 л/м^3				
Пісок	665 кг/м^3	655 кг/м^3	645 кг/м^3	653 кг/м^3	641 кг/м^3
С-3	4 кг/м^3				
Пігмент	-	Fe_2O_3 10 кг/м^3	Fe_2O_3 20 кг/м^3	FeO(OH) 10 кг/м^3	FeO(OH) 20 кг/м^3

Всі керамзитобетонні суміші мали рівну рухомість П2 (ОК від 5 до 6 см), що досягалося підбором кількості води. Значення В/Ц для п'яти досліджених в кожній із серій складів, а також значення фізико-механічних властивостей цих декоративних і контрольних керамзитобетонів (модифікованих добавкою С-3) наведені у таблиці 5.2.

Таблиця 5.2

Фізико-механічні властивості декоративних і контрольних керамзитобетонів
(в'язуче – ССПЦ 400-Д0, добавка С-3)

Показник	склад №1	склад №2	склад №3	склад №4	склад №5
В/Ц	0,347 / 0,354	0,368 / 0,358	0,367 / 0,360	0,354 / 0,358	0,366 / 0,366
Міцність на стиск, МПа	31,3 / 32,0	31,6 / 32,4	27,9 / 28,5	32,1 / 33,6	29,4 / 31,3
Міцність на розтяг при згині, МПа	6,14 / 6,11	5,94 / 6,14	6,07 / 6,13	6,31 / 6,36	6,13 / 6,17
Середня густина, при рівноважній вологості, кг/м ³	1790 / 1810	1770 / 1785	1770 / 1780	1770 / 1780	1770 / 1780
Морозостійкість (циклів)	F500				F450
Водонепроникність	W8/W10	W10/W10	W8/W10	W10/W10	W8/W10

* – у чисельнику значення показника при приготуванні суміші за традиційною технологією, у знаменнику – при застосуванні обробки пористого гравію цементною суспензією

Як видно з наведених у таблиці 5.2 даних, зміна технології приготування суміші з традиційної на технологію з обробкою гравію цементною суспензією не вплинула на водопотребу і відповідно В/Ц керамзитобетонних сумішей. По окремих складах легких бетонів (декоративних і контрольних) різниця у значеннях В/Ц між серіями не перевищує 2%. Проте, введення пігменту природно викликає необхідність підвищення В/Ц суміші на 2..6% через

додаткову водопотребу цього дрібнодисперсного компонента, що є відомим у бетонознавстві ефектом [202, 206].

При застосуванні залізоокисних пігментів в кількості 10 кг/м^3 , як червоного, так і жовтого, міцність на стиск досліджених керамзитобетонів практично не змінюється і може навіть несуттєво зростати (на 2..5%) попри підвищення В/Ц суміші. При введенні більшої кількості пігменту, тобто 20 кг/м^3 , міцність на стиск декоративних керамзитобетонів є в середньому на 8% нижчою за міцність контрольних легких бетонів без пігменту.

За рахунок застосування технологічного прийому обробки пористого гравію цементною суспензією міцність досліджених декоративних і контрольних керамзитобетонів для тонкостінних конструкцій морських гідротехнічних споруд зростала на 1-1,5 МПа [178, 192]. Величина цього зростання була в межах від 4 до 7%, що не можна вважати суттєвим ефектом, але він є системним для всіх складів. Це можна пояснити переважно тим, що завдяки технологічній необхідності попереднього перемішування пігменту з цементом для обробки гравію використовувалася суспензія з відносно невеликою кількістю в'язучого, що дещо обмежило ефективність відповідного технологічного прийому. Також для досліджених керамзитобетонів використовувався гравій фракції 5-10 мм, тобто доволі дрібний. Відомо, що у міру зменшення розміру зерен відносно маломіцного пористого заповнювача знижується вплив міцності заповнювача на міцність легкого бетону [1]. Відповідно процедура попередньої обробки керамзитового гравію цементною суспензією, яка підвищує міцність і однорідність заповнювача, має обмежений позитивний вплив на міцність композиту в цілому, хоч позитивна тенденція і спостерігається для всіх досліджених керамзитобетонів. Також важливо, що обробку гравію суспензією легко реалізувати при перемішуванні суміші, відповідно вона мінімально ускладнює технологічний процес і не вимагає додаткового обладнання.

Міцність на розтяг при згині досліджених на даному етапі декоративних керамзитобетонів практично не відрізнялася від міцності контрольних складів, а

для бетонів з вмістом 10 кг/м^3 жовтого пігменту $\text{FeO}(\text{OH})$ була навіть на 4..5% вищою. Такий ефект пояснюється тим, що В/Ц бетонної суміші на величину міцності на розтяг впливає не настільки суттєво, як на міцність на стиск, а також відомою властивістю пігментів частково виконувати роль мікронаповнювачів в бетонах [205].

Аналіз впливу пігментів і попередньої обробки керамзиту на середню густину досліджених на даному етапі легких бетонів показав, що середня густина декоративних керамзитобетонів на $20\text{-}30 \text{ кг/м}^3$ нижче за густину аналогічних контрольних складів легких бетонів, що пояснюється різним В/Ц сумішей. Бетони на обробленому суспензією керамзитовому гравії мають на $10\text{-}15 \text{ кг/м}^3$ більшу середню густину завдяки кращому насиченню контактної зони та порожнин керамзиту в'язучим.

Таким чином, міцність декоративних керамзитобетонів є достатньою для використання даних матеріалів в конструкціях тонкостінних морських гідротехнічних споруд. Зокрема за рівнем міцності вони задовольняють вимогам, що висуваються до суднобудівних матеріалів, тобто можуть застосовуватися для плавучих залізобетонних споруд.

Проте як зазначалося вище, фактично на ринку України не завжди є присутнім бездобавочний сульфатостійкій портландцемент. Як показано у 3-му і 4-му розділах, ця проблема може бути вирішена за рахунок використання альтернативних цементів, що виробляються більш масово. Також як зазначалося вище, обов'язковою умовою при використанні даних цементів в конструкціях морських споруд є забезпечення необхідної довговічності бетонів, що визначається їх морозостійкістю, водонепроникністю і сульфатостійкістю.

Відповідно на даному *четвертому етапі* роботи були порівняні властивості та довговічність декоративних керамзитобетонів на основі сульфатостійкого портландцементу ССПЦ 400-Д0 та портландцементу з пуцоланом ПЦ II/A-II-500 Р-Н. Від використання пуцоланового портландцементу СЕМ IV/A(P) 42,5 R-SR (ПЦЦ IV/A-500 Р) було вирішено відмовитися через високу водопотребу даного в'язучого і відповідно

недостатній рівень фізико-механічних властивостей керамзитобетонів на його основі, зокрема морозостійкості, що показано у п.4.3.

З врахуванням того, що, як встановлено на проведених раніше етапах роботи, обов'язковою умовою забезпечення достатньої сульфатостійкості бетонів тонкостінних конструкцій морських гідротехнічних споруд є їх висока водонепроникність, науковий інтерес викликає дослідження можливості забезпечення цих вимог за рахунок використання сучасних модифікаторів, насамперед суперпластифікаторів полікарбоксилатного типу.

Таким чином на описаній нижче стадії *четвертого етапу* роботи були дослідженні властивості та довговічність декоративних керамзитобетонів на двох видах цементів, модифікованих суперпластифікатором полікарбоксилатного типу Coral ExpertSuid 5. Цей модифікатор добре зарекомендував себе у складі керамзитобетонів для тонкостінних конструкцій гідротехнічних споруд, що показано у п.4.1-4.2.

Склади досліджених декоративних і контрольних керамзитобетонів (на основі портландцементів ССПЦ 400-Д0 і ПЦ П/А-П-500 Р-Н), модифікованих суперпластифікатором Coral ExpertSuid 5, наведені у таблиці 5.3.

В цілому склади цих бетонів аналогічні складам декоративних бетонів №1-№5 (таблиця 5.1), але завдяки застосуванню більш ефективної добавки з позиції зниження водопотреби суміші вони мають з розрахунку на 1 м³ дещо менший вміст води та відповідно більший вміст піску. Всі суміші даних декоративних бетонів також мали рівну рухомість П2. Приготування всіх сумішей проводилося з використанням прийому попередньої обробки гравію цементною суспензією.

Значення В/Ц сумішей і показники фізико-механічних властивостей досліджених декоративних і контрольних керамзитобетонів, модифікованих суперпластифікатором Coral ExpertSuid-5, наведені у таблиці 5.4.

Таблиця 5.3

Склади досліджених декоративних і контрольних керамзитобетонів
(в'язучі – ССПЦ 400-Д0, ПЦ II/A-П-500 Р-Н, добавка Coral ExpertSuid-5)

Склад бетону	№1coral- ССПЦ, контроль	№2coral- ССПЦ, червоний	№3coral- ССПЦ, червоний	№4coral- ССПЦ, жовтий	№5coral- ССПЦ, жовтий
В'язуче	сульфатостійкій портландцемент ССПЦ 400-Д0 – 500 кг/м ³				
Керамзит	670 л/м ³				
Пісок	673 кг/м ³	663 кг/м ³	658 кг/м ³	661 кг/м ³	649 кг/м ³
Добавка	Coral ExpertSuid 5 – 4 кг/м ³				
Пігмент	-	Fe ₂ O ₃ 10 кг/м ³	Fe ₂ O ₃ 20 кг/м ³	FeO(OH) 10 кг/м ³	FeO(OH) 20 кг/м ³
Вода	170 л/м ³	172 л/м ³	175 л/м ³	174 л/м ³	177 л/м ³
Склад бетону	№1coral- ПЦ II/A-П, контроль	№2coral- ПЦ II/A-П, червоний	№3coral- ПЦ II/A-П, червоний	№4coral- ПЦ II/A-П, жовтий	№5coral- ПЦ II/A-П, жовтий
В'язуче	портландцемент з пуцоланом ПЦ II/A-П-500 Р-Н – 500 кг/м ³				
Керамзит	670 л/м ³				
Пісок	675 кг/м ³	663 кг/м ³	659 кг/м ³	663 кг/м ³	649 кг/м ³
Добавка	Coral ExpertSuid 5 – 4 кг/м ³				
Пігмент	-	Fe ₂ O ₃ 10 кг/м ³	Fe ₂ O ₃ 20 кг/м ³	FeO(OH) 10 кг/м ³	FeO(OH) 20 кг/м ³
Вода	169 л/м ³	172 л/м ³	174 л/м ³	173 л/м ³	177 л/м ³

Аналіз наведених у таблиці 5.4 даних дозволяє зробити висновок, що завдяки застосуванню добавки суперпластифікатора полікарбоксилатного типу Coral ExpertSuid-5 досягається менший рівень В/Ц суміші декоративних і контрольних керамзитобетонів на основі сульфатостійкого портландцементу ССПЦ-400 Д0 порівняно з В/Ц сумішею аналогічних бетонів на даному цементі при використанні добавки С-3.

Міцність на стиск модифікованих полікарбоксилатною добавкою декоративних і контрольного керамзитобетонів на основі портландцементу ССПЦ-400 Д0 знаходиться у діапазоні від 31,7 до 33,8 МПа. Це в середньому на 1 МПа вище, ніж міцність на стиск аналогічних за складом легких бетонів на

основі ССПЦ-400 Д0, модифікованих добавкою С-3, що пояснюється меншим В/Ц суміші при застосуванні полікарбоксилатної добавки.

Таблиця 5.4

Фізико-механічні властивості декоративних і контрольних керамзитобетонів (в'язучі – ССПЦ 400-Д0, ПЦ П/А-П-500 Р-Н, добавка Coral ExpertSuid-5)

Показник	№1 coral- ССПЦ, контроль	№2 coral- ССПЦ, червоний	№3 coral- ССПЦ, червоний	№4 coral- ССПЦ, жовтий	№5 coral- ССПЦ, жовтий
В/Ц	0,340	0,344	0,350	0,348	0,354
Міцність на стиск, МПа	33,8	33,7	31,7	33,6	31,8
Міцність на розтяг при згині, МПа	6,24	6,26	6,11	6,32	6,18
Середня густина, при рівноважній вологості, кг/м ³	1820	1805	1790	1795	1790
Морозостійкість	F500				
Водонепроникність	W12	W10	W10	W10	W10
Показник	№1 coral- ПЦ П/А-П, контроль	№2 coral- ПЦ П/А-П, червоний	№3 coral- ПЦ П/А-П, червоний	№4 coral- ПЦ П/А-П, жовтий	№5 coral- ПЦ П/А-П, жовтий
В/Ц	0,338	0,344	0,348	0,346	0,354
Міцність на стиск, МПа	34,3	34,2	32,5	33,7	32,3
Міцність на розтяг при згині, МПа	6,25	6,33	6,18	6,30	6,24
Середня густина, при рівноважній вологості, кг/м ³	1825	1815	1800	1800	1795
Морозостійкість	F500				
Водонепроникність	W12	W12	W10	W12	W10

Тобто, завдяки застосуванню більш ефективної добавки та відповідно її більшого впливу на В/Ц суміші і структуру бетону, міцність досліджених керамзитобетонів для тонкостінних конструкцій морських гідротехнічних споруд зростає, але не істотно. Це можна пояснити тим, що для конструкційних

керамзитобетонів міцність в значній мірі обумовлюється міцністю пористого заповнювача (при його роботі в цементно-піщаній матриці), що обмежує даний показник якості на рівні відповідної межі.

Описаний вплив пористого заповнювача опосередковано підтверджується аналізом міцності досліджених декоративних і контрольного керамзитобетонів на розтяг при згині. Для бетонів, модифікованих полікарбоксилатною добавкою, міцність на розтяг при згині була в діапазоні від 6,11 до 6,32 МПа, що фактично не відрізняється від рівня міцності на розтяг при згині аналогічних легких бетонів на основі ССПЦ-400 Д0, модифікованих добавкою суперпластифікатором С-3 (таблиця 5.2).

Завдяки більш ефективному зниженню В/Ц суміші середня густина модифікованих полікарбоксилатною добавкою декоративних і контрольного керамзитобетонів була в середньому на 10 кг/м^3 вищою за середню густину аналогічних легких бетонів, модифікованих добавкою С-3, та знаходилася у діапазоні від 1790 до 1820 кг/м^3 .

Аналіз фізико-механічних властивостей досліджених модифікованих суперпластифікатором Coral ExpertSuid-5 декоративних і контрольних керамзитобетонів на основі портландцементу з пуцоланом ПЦ П/А-П-500 Р-Н показав, що В/Ц сумішей даних легких бетонів є практично рівним з В/Ц модифікованих бетонів на сульфатостійкому портландцементі ССПЦ-400 Д0.

Завдяки використанню цементу більш високої марки (активності) міцність на стиск керамзитобетонів на основі ПЦ П/А-П-500 Р-Н в середньому на 0,5 МПа вище, ніж міцність аналогічних за складом легких бетонів на цементі ССПЦ-400 Д0 і складає від 32,3 до 34,3 МПа. Тобто використання в'язучого більш високої марки несуттєво вплинуло на міцність композиту. Цей ефект є аналогічним наголошеному вище і обумовлений тим, що міцність даних керамзитобетонів також обмежується переважно міцністю пористого заповнювача при роботі в цементно-піщаній матриці, тобто міцністю керамзитового гравію в бетоні.

Доволі важливим з позиції забезпечення довговічності бетонів для тонкостінних конструкцій морських гідротехнічних споруд є те, що при використанні в їх складі полікарбосилатної добавки Coral ExpertSuid-5 морозостійкість всіх досліджених контрольних і декоративних керамзитобетонів була на рівні F500 незалежно від кількості пігменту.

Також в рамках даної частини *четвертого етапу* роботи була визначена корозійна стійкість декоративних керамзитобетонів в штучній морській воді при зволоженні і висушуванні. Досліджувалася корозійна стійкість керамзитобетонів, модифікованих суперпластифікатором Coral ExpertSuid-5, наступних серій:

- №1coral-ССПЦ і №1coral-ПЦП/А-П. Контрольні склади на основі сульфатостійкого портландцементу ССПЦ 400-Д0 і цементу з пуцоланом ПЦ П/А-П-500 Р-Н відповідно;

- №3coral-ССПЦ і №3coral-ПЦП/А-П. Керамзитобетони з червоним пігментом (20 кг/м³) на основі ССПЦ 400-Д0 і ПЦ П/А-П-500 Р-Н;

- №5coral-ССПЦ і №5coral-ПЦП/А-П. Керамзитобетони з жовтим пігментом (20 кг/м³) на основі ССПЦ 400-Д0 і ПЦ П/А-П-500 Р-Н.

Було встановлено, що після 200 циклів зволоження і висушування міцність контрольних керамзитобетонів №1coral-ССПЦ і №1coral-ПЦП/А-П (без пігменту) складала відповідно 34,4 МПа і 34,8 МПа, міцність керамзитобетонів №3coral-ССПЦ і №3coral-ПЦП/А-П (з червоним пігментом) – 33,0 МПа і 33,2 МПа, міцність керамзитобетонів №5coral-ССПЦ і №5coral-ПЦП/А-П (з жовтим пігментом) – 32,8 МПа і 32,9 МПа. Ці значення міцності знаходяться на рівні міцності контрольних і декоративних керамзитобетонів у віці 28 діб при наявній тенденції до зростання міцності в середньому на 1,9..4,1%. Тобто всі досліджені керамзитобетони, включаючи декоративні, мають достатню корозійну стійкість у морській воді – коефіцієнт стійкості після 200 циклів зволоження і висушування від 1,02 до 1,04.

Необхідно відмітити, що в аналогічних умовах, тобто після 200 циклів зволоження у штучній морській воді та висушування, коефіцієнт стійкості

важких бетонів на основі портландцементів ССПЦ 400-Д0 і ПЦ П/А-П-500 Р-Н складав від 1,26 до 1,59 (таблиця 3.7). Тобто в морській воді міцність досліджених важких бетонів на основі портландцементів ССПЦ 400-Д0 і ПЦ П/А-П-500 Р-Н зростала значно відчутніше, ніж міцність досліджених керамзитобетонів. Це можна пояснити тим, що міцність керамзитобетонів в значній мірі обумовлена міцністю пористого заповнювача, який обмежує зростання міцності композиту в цілому при зростанні міцності цементно-піщаної матриці.

Таким чином, декоративні керамзитобетони як на основі сульфатостійкого портландцементу ССПЦ-400 Д0, так і на основі цементу з пуцоланом ПЦ П/А-П-500 Р-Н, модифіковані суперпластифікатором полікарбоксилатного типу Coral ExpertSuid-5 показали високу водонепроникність (W10-W12) і морозостійкість (F500), а також достатню корозійну стійкість в штучній морській воді (1,02-1,04 після 200 циклів зволоження і висушування). Такі фізико-механічні показники забезпечують високу довговічність розроблених декоративних керамзитобетонів в тонкостінних конструкціях гідротехнічних споруд, зокрема плавучих залізобетонних. При експлуатації даних конструкцій в умовах впливу сульфатного середовища високої концентрації перевагу слід надавати використанню сульфатостійкого портландцементу ССПЦ-400 Д0, бетони на основі якого, як показано у 3-му розділі, відрізняються більш високою стійкістю до сульфатної корозії.

5.2 Декоративні властивості керамзитобетонів та їх зміна в часі

Для декоративних бетонів важливою характеристикою, яка в значній мірі визначає функціональну придатність та якість даних матеріалів, є їх кольорова гама. Досліджені на даному *четвертому етапі* роботи декоративні керамзитобетони фактично є кольоровими бетонами, тому основною їх декоративною характеристикою є кольорова гама, точніше насиченість бажаним кольором.

Зовнішній вигляд досліджених в рамках даного етапу роботи зразків-кубів декоративних і контрольних керамзитобетонів для тонкостінних конструкцій морських гідротехнічних споруд показано на рис.5.1.



Рис.5.1. Зовнішній вигляд зразків досліджених декоративних і контрольних керамзитобетонів

Для досліджених декоративних керамзитобетонів їх кольорова гама аналізувалась за такою методикою. Зразки-куби бетонів фотографувалися при однаковому освітленні. Далі на цифровій фотографії відокремлювалася область верхньої в момент фотографування грані зразку. В межах цієї області завдяки застосуванню фільтру «average» програми Photoshop проводилося усереднення кольору для грані – тобто фактично в межах грані зображення «розмивалося» до одного «середнього» кольору. Для усередненого кольору, тобто однакового для всієї грані, визначалося його значення за двома основними схемами опису кольорів – RGB і CMYK [207, 208] (рис.5.2).

Для кожного складу контрольного і декоративного керамзитобетону (склади №1-№5, таблиця 5.1) таким чином аналізувалась кольорова гама шести зразків-кубів, після чого вираховувалися середні значення показників їх кольору. Використана методика дозволила уникнути суб'єктивності при проведенні оцінки декоративних властивостей керамзитобетонів, тобто насиченості бажаним кольором.

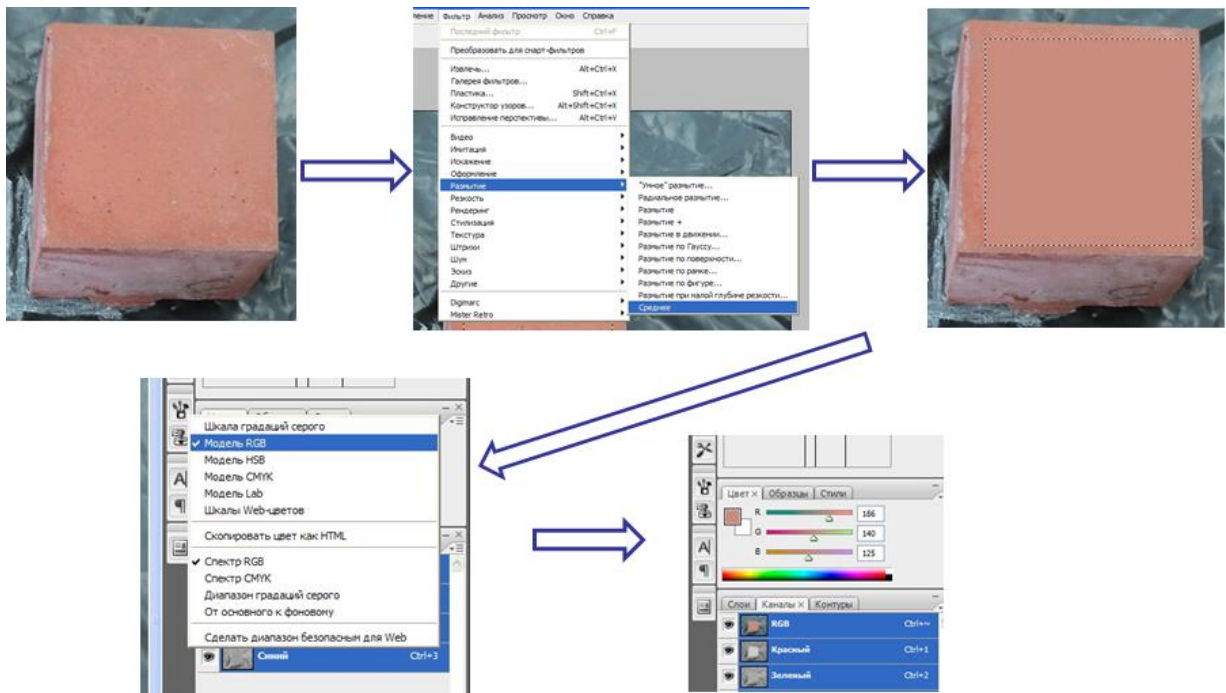


Рис.5.2. Методика визначення показника кольору (усередненого значення) за схемою RGB досліджених декоративних і контрольних керамзитобетонів

Кольорові схеми RGB і CMYK пов'язані загальним принципом опису кольору методом визначення інтенсивності складових, але їх не можна визнати ідеальними для аналізу кольорової гами бетону, тому що вони передбачають наявність відповідно чорного (для RGB) або білого (для CMYK) фону. При використанні у якості в'язучого білого цементу схему CMYK можна вважати більш зручною. Проте при використанні «сірого» цементу умовний «фон», тобто цементна матриця, має приблизно рівномірне забарвлення всіма основними кольорами схеми. Через це, на нашу думку, методично точнішим є порівняння інтенсивності необхідного («бажаного») кольору схеми з іншими кольорами тієї ж схеми.

Для аналізу була прийнята схема RGB, відповідно «бажаний» колір слід порівнювати з сумою всіх основних кольорів, тобто $R+G+B$. Показники кольорів (за схемою RGB), що визначені для досліджених на даному етапі роботи керамзитобетонів у віці 28 діб, наведені у таблиці 5.5.

Аналіз наведених в таблиці 5.5 даних показує, що по мірі зростання у складі бетону кількості червоного залізоокисного пігменту (Fe_2O_3) відсоток

червоної складової (Red) у сумі трьох складових кольорів схеми R+G+B очікувано зростає. Якщо у контрольних керамзитобетонах відсоток червоної складової був на рівні 33,1%, то для складу №2 це вже 37,0 і 38,1% відповідно для традиційної технології та технології з обробкою гравію цементною суспензією, а для складу №3 відповідно – 40,0 і 40,6%.

Жовтий колір у схемі RGB не є основним і є сумою червоної і зеленої складової за умови, що $R \approx G$. При введенні 10 кг/м^3 жовтого пігменту, тобто для складу №4, відсоток Red+Green у сумі R+G+B дорівнює 69,5 і 69,8%, а при введенні 20 кг/м^3 жовтого пігменту (склад №5) – 70,8 і 71,9% відповідно для традиційної технології приготування суміші та технології з обробкою гравію цементною суспензією. Тобто при підвищенні у складі кількості залізоокисного пігменту насиченість декоративного бетону відповідним кольором прогнозуємо зростає.

Таблиця 5.5

Показники кольорів (за схемою RGB) досліджених декоративних і контрольних керамзитобетонів у віці 28 діб (в'язуче – ССПЦ 400-Д0, добавка С-3)

Показник	№1, контроль	№2, Fe_2O_3 10 кг/м^3	№3, Fe_2O_3 20 кг/м^3	№4, $\text{FeO}(\text{OH})$ 10 кг/м^3	№5, $\text{FeO}(\text{OH})$ 20 кг/м^3
Red	200 / 199	207 / 209	199 / 207	205 / 206	211 / 211
Green	207 / 209	181 / 176	156 / 155	196 / 200	198 / 200
Blue	198 / 194	171 / 164	143 / 148	176 / 176	168 / 161

* - у чисельнику значення показника при приготуванні суміші за традиційною технологією, у знаменнику – при застосуванні обробки керамзитового гравію цементною суспензією

Важливим технологічним ефектом можна вважати те, що при використанні технології з обробкою керамзитового гравію цементною суспензією показники кольору декоративного керамзитобетону є дещо вищими, ніж показники кольору аналогічних за складом легких бетонів, приготованих за

класичною технологією. Тобто обробка гравію цементною суспензією, яка впливає на якість сумісної роботи заповнювача і матриці, також має позитивний вплив на кольорову гаму бетонів з пігментами. Це можна пояснити декілька більшим вмістом пігменту саме у цементно-піщаній матриці (розчинній частині) керамзитобетону, тому що насичення гравію проводилося суспензією без пігменту.

При застосуванні традиційної технології приготування суміші частина пігменту залишається в порожнинах заповнювача, точніше його контактної зоні. Крім того, певний додатковий вплив на колір надає те, що при традиційній технології пористий заповнювач насичується переважно водою, відповідно в контактній зоні концентрація цементу є меншою, а у розчині – більшою в порівнянні з технологією з обробкою пористого гравію цементною суспензією. Також слід відмітити, що означені переваги технології з застосуванням обробки керамзитового гравію цементною суспензією будуть зберігатися переважно для конструкційних керамзитобетонів, в яких витрата цементу є досить високою.

Для декоративних (кольорових) бетонів вельми важливим показником довговічності та якості в цілому є стійкість їх кольору в часі, тобто здатність зберігати декоративні властивості в процесі експлуатації.

На даному *четвертому етапі* досліджень аналіз стійкості декоративних властивостей керамзитобетонів проводився методом порівняння кольору зразків, що експонувалися 1 і 2 роки під впливом прямого сонячного випромінювання, та кольору аналогічних зразків, що експонувалися без доступу світла. Порівняння з «початковою» кольоровою гамою за цифровими фото не є коректним через фактичну неможливість забезпечення однакового освітлення зразків в різний період. Зразки фотографувалися у мокрому стані, що відповідає умовам експлуатації гідротехнічних споруд. Слід зазначити, що кольорова гама зразків у сухому стані є природно світлішою за гаму мокрих зразків, але загальна тенденція зміни кольору у бетонах в мокрому та сухому стані є аналогічною.

Аналіз показав, що після 1-го року експонування на повністю відкритому сонцю просторі, тобто під впливом прямого сонячного випромінювання, зміна кольорової гама декоративного керамзитобетону у порівнянні зі зразками, що зберігалися у темноті, не перевищувала 4-5%. Даний аналіз також проводився за цифровими фото з усередненням кольору.

Але після 2-х років експонування на відкритому сонцю просторі кольорова гама декоративних бетонів стала відчутно світлішою. Сума складових R+G+B, яка характеризує загальну ступінь відбивної здатності поверхні, для бетонів з червоним пігментом підвищилася на 12-16% (у порівнянні зі зразками, які зберігалися у темноті), а для бетонів з жовтим пігментом – на 22-25%. Але для «жовтих» складів №4 і №5 загальний рівень жовтого кольору (Red+Green) у зразках, що зберігалися у темноті та під відкритим природним сонячним світлом є близьким – 83-84% для бетонів з кількістю FeO(OH) 10 кг/м³ та 86-87% для бетонів з кількістю FeO(OH) 20 кг/м³. Для складів «червоних» бетонів №2 і №3 насиченість червоним кольором зразків, що зберігалися під відкритим природним сонячним світлом, є на 3-4% меншою в порівнянні з насиченістю зразків бетонів, що зберігалися у темноті.

На рис.5.3 показано приклад аналізу зміни кольорової гама декоративного бетону (склад №3, Fe₂O₃ 20 кг/м³, ССПЦ 400-Д0, добавка С-3) після 2-х років експонування під впливом прямого сонячного випромінювання, тобто на відкритому сонцю просторі. На фото ліворуч – зразки після експонування на відкритому сонцю просторі (с), праворуч – зразки, що зберігалися у темноті (т).

Проведений аналіз кольорової гама і стійкості декоративних властивостей окремих зразків керамзитобетонів з залізоокисними пігментами, виготовлених на основі портландцементу з пуцоланом ПЦ П/А-П-500 Р-Н, а також модифікованих добавкою Coral ExpertSuid 5, показав, що тип цементу (сірого) і тип добавки-пластифікатору несуттєво впливає на декоративні властивості керамзитобетонів. Тобто значення показників кольору, а також характер збереження даних показників у часі для серій №2coral-ССПЦ – №5coral-ССПЦ

та №2coral- ПЦП/А-П – №5coral- ПЦП/А-П були близькими до серій №2 – №5 (таблиця 5.5).

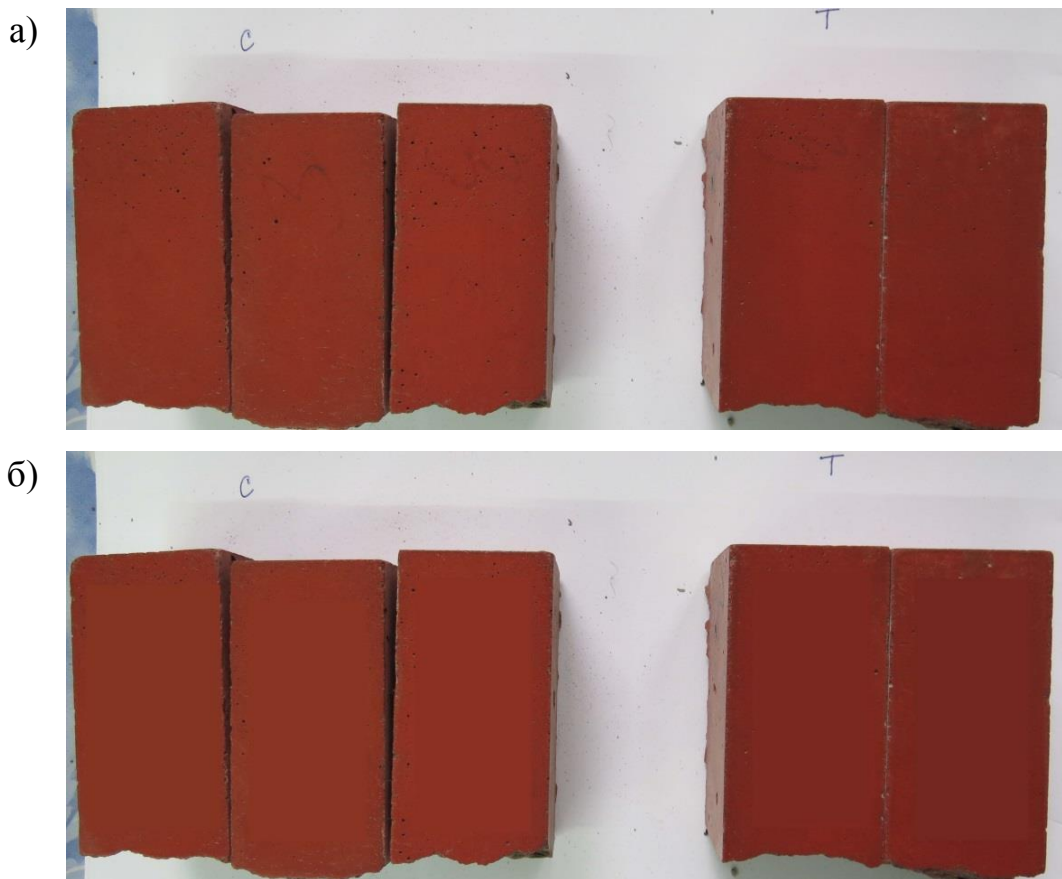


Рис.5.3. Приклад аналізу зміни кольорової гамаи декоративного керамзитобетону (склад №3, Fe_2O_3 20 кг/м³, ССПЦ 400-Д0, добавка С-3) після 2-х років експонування на відкритому сонцю просторі. На фото ліворуч – зразки після експонування на відкритому сонцю просторі (с), праворуч – зразки, що зберігалися у темноті (т):

а) фото зразків до усереднення кольору;

б) фото зразків після усереднення кольору завдяки застосуванню фільтру «average» програми Photoshop

Таким чином, декоративні властивості керамзитобетонів з залізоокисними пігментами при їх експлуатації під сонячним світлом знижуються, що в першу чергу проявляється у «вицвітанні» їх поверхні та пояснюється зміною структури бетону як в цілому, так і на його поверхні. Але для початкова більш світлих бетонів з жовтим пігментом рівень жовтого кольору зберігається краще,

ніж рівень червоного кольору у більш темних за тоном бетонах з червоним пігментом.

Зниження насиченості кольору є досить очікуваним для декоративних бетонів, проте в реальних умовах експлуатації гідротехнічних споруд даний процес буде відбуватися повільніше через те, що фактично конструкції гідротехнічних споруд не знаходяться на під дією сонячного світла на протязі всього дня. Крім того, в жорстких умовах експлуатації гідротехнічних споруд одночасно з «вицвітанням» бетону проходять процеси стирання верхнього шару конструкцій під дією води та льоду, також не виключено лущення верхнього шару під дією заморожування і відтавання. Ці процеси є деструктивними для бетону, проте за рахунок руйнування верхнього шару вони сприяють відкриванню частинок цементно-піщаної матриці з краще збереженим кольором.

В цілому проведені на *четвертому етапі* роботи дослідження виявили, що при використанні залізоокисних пігментів у кількості до 20 кг/м³ міцність, водонепроникність, морозостійкість і корозійна стійкість керамзитобетонів змінюється несуттєво. Це дозволяє використовувати модифіковані суперпластифікатором полікарбосилатного типу декоративні керамзитобетони на основі сульфатостійкого портландцементу ССПЦ 400-Д0 та цементу з пуцоланом ПЦ П/А-П-500 Р-Н у конструкціях тонкостінних морських гідротехнічних споруд, зокрема плавучих залізобетонних.

5.3 Впровадження результатів досліджень

5.3.1 Вибір раціональних складів керамзитобетонів на пористих пісках

В рамках *п'ятого етапу* роботи був проведений вибір раціональних складів керамзитобетонів на пористих пісках (керамзитовому і гранульованому піносклі) для тонкостінних конструкцій морських гідротехнічних споруд. Ці матеріали були досліджені в рамках третього етапу роботи, що описано у п.4.1-

4.2. Вибір був здійснений із застосуванням методів планування експерименту і експериментально-статистичного моделювання [165 - 167].

У якості експериментальної матриці планованого експерименту використані дані таблиці 4.1. У якості першого фактору (X_1) прийнята кількість добавки суперпластифікатора Coral ExpertSuid-5, від 0,4 до 1% від маси цементу (з кроком 0,2%, тобто фактор в експерименті варіювався на 4-х рівнях). У якості другого фактору (X_2) був прийнятий відсоток пористих зерен у крупних фракціях дрібного заповнювача, від 0 до 100%. Відповідно це відсоток або керамзитового піску, або гранульованого піноскла, в залежності від досліджених серій керамзитобетонів. Матриця плану експерименту наведена у таблиці 5.6.

Таблиця 5.6

Матриця плану експерименту

№	x_1	x_2	X_1 Coral	X_2 пористих зерен	№	x_1	x_2	X_1 Coral	X_2 пористих зерен
1	-1	-1	0,4%	0%	7	0,333	-1	0,8%	0%
2	-1	0	0,4%	50%	8	0,333	0	0,8%	50%
3	-1	1	0,4%	100%	9	0,333	1	0,8%	100%
4	-0,333	-1	0,6%	0%	10	1	-1	1%	0%
5	-0,333	0	0,6%	50%	11	1	0	1%	50%
6	-0,333	1	0,6%	100%	12	1	1	1%	100%

Таким чином, експериментально-статистичні (ЕС) моделі будувалися за 12-ти точковим планом (таблиця 5.6). Чотири точки, що відповідають керамзитобетонам на кварцовому піску, а саме №1, №4, №7 і №10, були спільними для двох матриць експерименту.

Комплекс ЕС-моделей, що описує вплив кількості добавки Coral ExpertSuid-5 (X_1) і частки керамзитового піску в крупних фракціях дрібного заповнювача (X_2) на міцність на стиск ($f_{ck,cube}$), міцність на розтяг при згині (f_{ctk}),

водонепроникність (W), морозостійкість (F) і середню густину у водонасиченому стані (ρ_w) досліджених керамзитобетонів, має вигляд:

$$f_{\text{ck.cube}}(\text{МПа}) = 25,9 + 2,73x_1 - 2,04x_1^2 \pm 0x_1x_2 - 1,05x_2 \pm 0x_2^2 \quad (5.1)$$

$$f_{\text{ctk}}(\text{МПа}) = 5,30 + 0,05x_1 - 0,10x_1^2 \pm 0x_1x_2 - 0,22x_2 - 0,02x_2^2 \quad (5.2)$$

$$W (\text{атм}) = 10,1 + 0,9x_1 - 2,0x_1^2 \pm 0x_1x_2 - 2,0x_2 \pm 0x_2^2 \quad (5.3)$$

$$F (\text{цикли}) = 536 + 43x_1 - 65x_1^2 \pm 0x_1x_2 + 6x_2 - 19x_2^2 \quad (5.4)$$

$$\rho_w (\text{кг/м}^3) = 1709,3 + 19,2x_1 - 12,7x_1^2 - 2,8x_1x_2 - 33,9x_2 + 2,9x_2^2 \quad (5.5)$$

Комплекс ЕС-моделей, що описує вплив кількості добавки Coral ExpertSuid-5 (X_1) і частки піноскла в крупних фракціях дрібного заповнювача (X_2) на властивості керамзитобетонів, має вигляд:

$$f_{\text{ck.cube}}(\text{МПа}) = 21,2 + 1,49x_1 - 1,44x_1^2 - 0,94x_1x_2 - 3,69x_2 + 1,84x_2^2 \quad (5.6)$$

$$f_{\text{ctk}}(\text{МПа}) = 5,20 + 0,06x_1 - 0,08x_1^2 \pm 0x_1x_2 - 0,49x_2 - 0,21x_2^2 \quad (5.7)$$

$$W (\text{атм}) = 12,2 + 0,7x_1 - 1,5x_1^2 - 0,5x_1x_2 - 0,3x_2 \pm 0x_2^2 \quad (5.8)$$

$$F (\text{цикли}) = 497 + 48x_1 - 47x_1^2 \pm 0x_1x_2 - 7x_2 \pm 0x_2^2 \quad (5.9)$$

$$\rho_w (\text{кг/м}^3) = 1633,4 + 12,8x_1 - 7,9x_1^2 - 7,4x_1x_2 - 107,0x_2 + 3,0x_2^2 \quad (5.10)$$

За ЕС-моделями (5.1)-(5.10) були побудовані діаграми у вигляді квадратів. З використанням даних діаграм графічним методом було здійснено вибір раціональних складів керамзитобетонів для тонкостінних конструкцій морських гідротехнічних споруд.

При виборі раціонального складу керамзитобетону з керамзитовим піском в крупних фракціях дрібного заповнювача (1,25..2,5 і 2,5..5 мм) у якості критеріїв обмеження використовувалися такі значення фізико-механічних характеристик матеріалу:

- міцність на стиск ($f_{ck.cube}$) ≥ 25 МПа;
- міцність на розтяг при згині (f_{ctk}) $\geq 5,2$ МПа;
- водонепроникність (W) $\geq W10$;
- морозостійкість (F) $\geq F500$.

У якості критерію оптимізації була прийнята середня густина керамзитобетону у водонасиченому стані (ρ_w), яка має бути мінімальною, що дозволить забезпечити кращі показники конструктивної ефективності матеріалу, а для плавучих залізобетонних споруд дозволить підвищити їх вантажопідйомність.

На рис.5.3 наведено рішення щодо вибору раціонального складу керамзитобетону з керамзитовим піском в крупних фракціях дрібного заповнювача. На рисунку зіркою відмічено координати точки, у якій досягається оптимум, тобто координати раціонального складу. Ці координати відповідають керамзитобетону, до складу якого введено приблизно 0,8% добавки суперпластифікатора Coral ExpertSuid-5 і в якому 60% крупних фракцій дрібного заповнювача (1,25..2,5 і 2,5..5 мм) замінено керамзитовим піском. Кількість портландцементу в бетоні – 500 кг/м³, керамзитового гравію – 675 л/м³. Керамзитобетон наведеного складу має середню густину у водонасиченому стані приблизно 1710 кг/м³.

При виборі раціонального складу керамзитобетону з піносклом в крупних фракціях дрібного заповнювача (1,25..2,5 і 2,5..5 мм) у якості критеріїв

обмеження використовувалися такі значення фізико-механічних характеристик матеріалу:

- міцність на стиск ($f_{ck.cube}$) ≥ 20 МПа;
- міцність на розтяг при згині (f_{ctk}) ≥ 5 МПа;
- водонепроникність (W) $\geq W12$;
- морозостійкість (F) $\geq F500$.

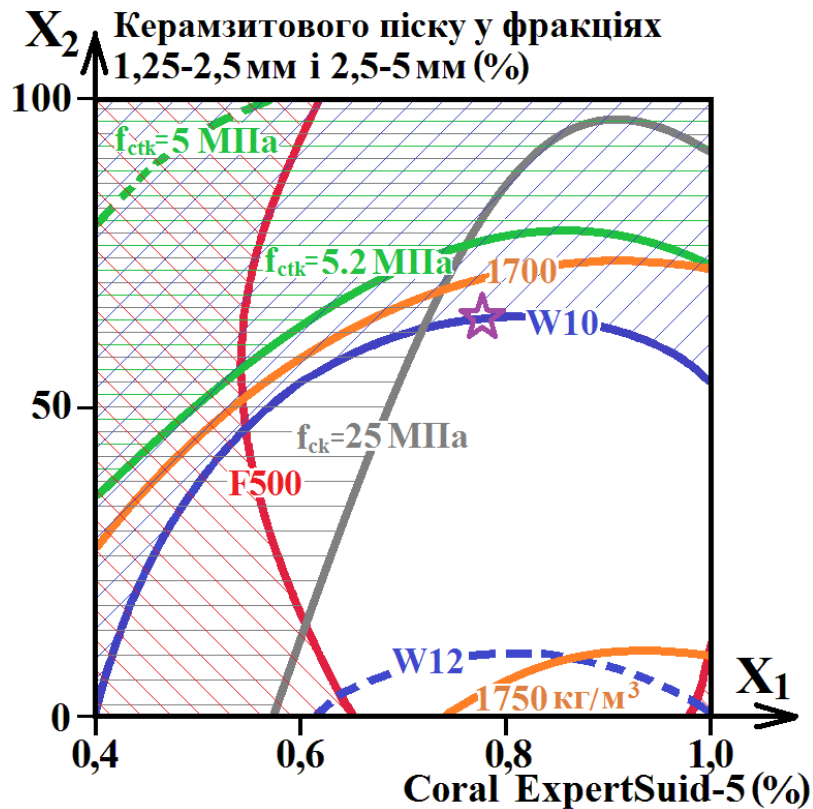


Рис.5.3. Вибір раціонального складу керамзитобетону з керамзитовим піском в крупних фракціях дрібного заповнювача

У якості критерію оптимізації також була прийнята середня густина керамзитобетону у водонасиченому стані (ρ_w).

Таким чином для керамзитобетону з піносклом враховуючи особливості даного матеріалу при пошуку раціонального складу було задане дещо нижче значення для обмеження за міцністю на стиск (20 МПа, а не 25 МПа, як для керамзитобетону з керамзитовим піском) і на 0,2 МПа менше значення для обмеження за міцністю на розтяг при згині. При цьому критерій обмеження за

водонепроникністю матеріалу було підвищено до W12, а критерій обмеження за морозостійкістю залишено на тому ж рівні, як і для керамзитобетонів з керамзитовим піском – F500. Тобто при виборі раціонального складу керамзитобетону з гранульованим піносклом проводиться пошук складу матеріалу з дещо меншою міцністю, проте з більшою водонепроникністю.

Рішення щодо вибору раціонального складу керамзитобетону з гранульованим піносклом в крупних фракціях дрібного заповнювача наведено на рис.5.4. На рисунку зіркою відмічено координати точки оптимуму, тобто раціонального складу.

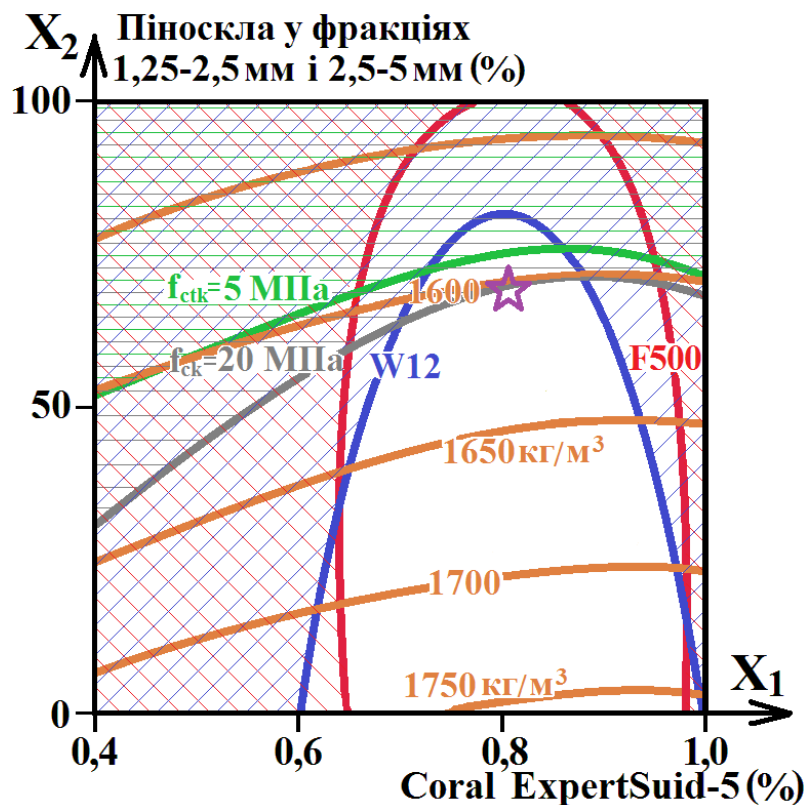


Рис.5.4. Вибір раціонального складу керамзитобетону з піносклом в крупних фракціях дрібного заповнювача

Як видно на показаній на рис.5.4 діаграмі, координати раціонального рішення відповідають керамзитобетону, до складу якого введено приблизно 0,8% добавки суперпластифікатора Coral ExpertSuid-5 і в якому 70% крупних фракцій дрібного заповнювача (1,25..2,5 і 2,5..5 мм) замінено гранульованим піносклом. Кількість портландцементу в керамзитобетоні раціонального складу

дорівнює 500 кг/м^3 , керамзитового гравію – 675 л/м^3 . Середня густина керамзитобетону наведеного складу у водонасиченому стані складає приблизно 1600 кг/м^3 . Тобто модифіковані керамзитобетони з дрібним заповнювачем з гранульованого піноскла мають високу довговічність при зниженій середній густині. При цьому необхідно відмітити, що зниження густини досягається для матеріалів саме у водонасиченому стані, що важливо для тонкостінних конструкцій морських гідротехнічних споруд, зокрема плавучих залізобетонних. Такий ефект досягається в значній мірі за рахунок непроникуваності гранул піноскла.

Обрані раціональні склади керамзитобетонів на пористих пісках можуть бути рекомендовані в якості суднобудівних бетонів в конструкціях, до яких не висуваються високі вимоги щодо міцності на стиск, але для яких важливими показниками якості є морозостійкість і водонепроникуваність при зниженій середній густині, наприклад у конструкціях внутрішніх непроникуваних перегородок плавучих залізобетонних понтонів. При цьому застосування гранульованого піноскла у якості дрібного заповнювача керамзитобетону дозволяє досягнути більшого ефекту з позиції зниження середньої густини матеріалу при забезпеченні його високої водонепроникуваності.

Також слід відмітити, що при виконанні промислового застосування подібних матеріалів необхідно проводити додаткову оптимізацію їх складу з врахуванням фактичної гранулометрії заповнювачів та якості вихідних компонентів.

5.3.2 Практичне впровадження результатів досліджень

В рамках *n'ятого етапу* роботи здійснювалося практичне впровадження результатів проведених досліджень. Ці результати були впроваджені на Херсонському державному заводі «Паллада», у Приватному акціонерному товаристві «Івано-Франківськцемент», а також у навчальний процес в Одеській державній академії будівництва та архітектури.

Основною продукцією Херсонського державного заводу «Паллада» є плавучі залізобетонні доки, плавучі готелі на залізобетонному понтоні, дома і причали.

У промислових умовах на заводі «Паллада» була підтверджена можливість підвищення довговічності легких і важких суднобудівних бетонів за рахунок використання суперпластифікаторів, зокрема полікарбоксилатного типу. Була вироблена дослідна партія модифікованого керамзитобетону об'ємом 8 м³. Бетон мав водонепроникність W10 і морозостійкість у морській воді 400 циклів.

Також на Херсонському державному заводі «Паллада» в промислових умовах було проведено експериментальне дослідження щодо можливості використання портландцементу з пуцоланом ПЦ II/A-II-500 Р-Н виробництва Івано-Франківського цементного заводу для суднобудівних бетонів.

Акт впровадження результатів дисертаційних досліджень на Херсонському державному заводі «Паллада» наведений в додатку Б.

У ПрАТ «Івано-Франківськцемент» результати проведених досліджень використовувалися при виробництві сульфатостійкого портландцементу і цементів з пуцоланом – портландцементу ПЦ II/A-II-500 Р-Н і сульфатостійкого пуцоланового цементу СЕМ IV/A(P) 42,5 R-SR, що є аналогом ПЦЦ IV/A-500 Р. Дані види цементів призначені, зокрема, для виробництва бетонів, що експлуатуються в умовах агресивної дії сульфатів, в першу чергу для морських гідротехнічних споруд.

Акт впровадження результатів проведених досліджень у ПрАТ «Івано-Франківськцемент» наведений в додатку Б.

Результати дисертаційної роботи також були впроваджені в навчальний процес в Одеській академії будівництва та архітектури, а саме вони були використані:

- в курсі лекцій навчальної дисципліни «Бетони підвищеної довговічності для конструкцій гідротехнічних і транспортних споруд», яка викладається при

підготовці третього рівня вищої освіти (доктор філософії) зі спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія»;

- при підготовці дипломних робіт магістрів за спеціальностями 194 «Гідротехнічне будівництво, водна інженерія та водні технології» (освітньої програми «Гідротехнічне будівництво, водна інженерія та водні технології») та 192 «Будівництво та цивільна інженерія» (освітньої програми «Автомобільні дороги і аеродроми та транспортні системи»).

Довідка про впровадження результатів досліджень в навчальний процес наведена в додатку Б.

Висновки за 5-м розділом

1. Доведена можливість використання залізоокисних порошкових пігментів у складі декоративних керамзитобетонів для тонкостінних конструкцій гідротехнічних споруд при забезпеченні їх міцності та довговічності. При використанні червоного Fe_2O_3 і жовтого $\text{FeO}(\text{OH})$ залізоокисних пігментів у кількості до 20 кг/м^3 міцність (28,5-34,2 МПа), водонепроникність (W10-W12) і морозостійкість (F450-F500) декоративних керамзитобетонів з пігментами практично не відрізняється від даних показників якості контрольних керамзитобетонів. За рахунок технологічного прийому обробки гравію цементною суспензією покращується насиченість кольору декоративних керамзитобетонів, яка аналізувалася за цифровими фото, на 1..1,5 МПа зростає міцність бетону на стиск, на одну марку зростає водонепроникність.

2. Міцність, водонепроникність, морозостійкість, корозійна стійкість в морській воді та декоративні властивості модифікованих декоративних керамзитобетонів (з залізоокисними пігментами) на основі сульфатостійкого портландцементу ССПЦ 400-Д0 і портландцементу з пуцоланом ПЦ II/A-П-500 Р-Н є близькими. Це дозволяє використовувати цемент з пуцоланом ПЦ II/A-П-500 Р-Н у якості альтернативи сульфатостійкому портландцементу ССПЦ 400-

Д0 в декоративних керамзитобетонах тонкостінних конструкцій морських гідротехнічних споруд.

3. Декоративні властивості керамзитобетонів з залізоокисними пігментами при їх експлуатації під сонячним світлом знижуються, що проявляється у «вицвітанні» поверхні бетону. Для більш світлих бетонів з жовтим пігментом рівень жовтого кольору під впливом сонячного світла зберігається краще, ніж рівень червоного кольору у більш темних за тоном бетонах з червоним пігментом.

4. З використанням методів планування експерименту і експериментально-статистичного моделювання обрано раціональні склади керамзитобетонів з керамзитовим піском, а також гранульованим піносклом в крупних фракціях дрібного заповнювача. Обрані склади забезпечують підвищену довговічність керамзитобетонів при експлуатації в тонкостінних конструкціях морських гідротехнічних споруд при зниженій середній густині у водонасиченому стані – 1710 кг/м^3 при використанні керамзитового піску і 1600 кг/м^3 при використанні гранульованого піноскла.

5. Результати досліджень впроваджені на Херсонському державному заводі «Паллада», у Приватному акціонерному товаристві «Івано-Франківськцемент», а також у навчальний процес в Одеській державній академії будівництва та архітектури. У промислових умовах підтверджена можливість підвищення довговічності суднобудівних бетонів за рахунок використання суперпластифікаторів полікарбосилатного типу. Вироблена дослідна партія модифікованого керамзитобетону, проведено дослідження щодо можливості використання цементу ПЦ II/A-II-500 P-H для суднобудівних бетонів. Результати проведених досліджень використовувалися при виробництві сульфатостійкого портландцементу і цементів з пуцоланом у ПрАТ «Івано-Франківськцемент».

6. Результати досліджень, що викладені у даному розділі, опубліковані у роботах [209-212].

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. З врахуванням комплексної дії середовища експлуатації розроблено модифіковані керамзитобетони з використанням пористих пісків і різних видів цементів, а також декоративні керамзитобетони підвищеної довговічності для тонкостінних конструкцій морських гідротехнічних споруд, зокрема плавучих залізобетонних.

2. Встановлена можливість використання портландцементу з пуцоланом ПЦ II/A-П-500 Р-Н в якості альтернативи бездобавочному сульфатостійкому портландцементу ССПЦ 400-Д0 для розширення асортименту в'язучих для бетонів тонкостінних конструкцій морських гідротехнічних споруд. За умови забезпечення високої водонепроникності бетони на портландцементі з пуцоланом ПЦ II/A-П-500 Р-Н мають морозостійкість і корозійну стійкість в сульфатному середовищі та морській воді не нижче, ніж бетони на сульфатостійкому портландцементі ССПЦ 400-Д0. За умови рівної міцності бетони на портландцементі ПЦ II/A-П-500 Р-Н мають водонепроникність на одну марку вище, ніж бетони на портландцементі ССПЦ 400-Д0.

3. Підтверджена можливість зниження середньої густини керамзитобетонів для тонкостінних конструкцій морських гідротехнічних споруд, зокрема плавучих залізобетонних, без зниження довговічності матеріалу за рахунок використання пористих пісків. Середня густина керамзитобетонів з гранульованим піносклом в якості частини дрібного заповнювача у сухому стані становить до 1440 кг/м^3 , у водонасиченому – до 1530 кг/м^3 . Середня густина керамзитобетонів з керамзитовим піском у сухому стані становить до 1570 кг/м^3 , у водонасиченому – до 1680 кг/м^3 .

4. Визначено вплив пористих пісків та суперпластифікатору на структуру, міцність, водонепроникність і морозостійкість керамзитобетонів. Міцність на стиск модифікованих суперпластифікатором Coral ExpertSuid-5 керамзитобетонів, в яких кварцовий пісок фракцій 1,25-2,5 мм і 2,5-5 мм замінено керамзитовим піском, досягає 26,0 МПа, міцність аналогічних

керамзитобетонів з гранульованим піносклом досягає 19,4 МПа. Міцність на розтяг при згині всіх керамзитобетонів знаходиться в діапазоні від 4,4 до 5,5 МПа. Модифіковані суперпластифікатором Coral ExpertSuid-5 керамзитобетони з піносклом в якості частини дрібного заповнювача мають водонепроникність W10-W12, що аналогічно водонепроникності модифікованих керамзитобетонів на кварцовому піску. Використання керамзитового піску в якості частини дрібного заповнювача знижує водонепроникність легких бетонів на одну-дві марки. При застосуванні раціональної кількості суперпластифікатору Coral ExpertSuid-5 (0,8% від маси цементу) морозостійкість керамзитобетонів на всіх типах пісків є не нижчою F500.

5. Визначено вплив виду цементу на структуру і властивості керамзитобетонів з пористими пісками. Підтверджена можливість використання портландцементу з пуцоланом ПЦ II/A-П-500 Р-Н в якості альтернативи сульфатостійкому портландцементу ССПЦ 400-Д0 для модифікованих суперпластифікатором полікарбоксилатного типу керамзитобетонів тонкостінних конструкцій морських гідротехнічних споруд. Керамзитобетони на портландцементі ПЦ II/A-П-500 Р-Н мають міцність, морозостійкість і водонепроникність не нижче, ніж аналогічні за складом керамзитобетони на портландцементі ССПЦ 400-Д0. Керамзитобетони на сульфатостійкому пуцолановому цементі СЕМ IV/A(P) 42,5 R-SR мають в середньому на одну марку нижчу водонепроникність і на 50-100 циклів нижчу морозостійкість, ніж бетони на портландцементі ССПЦ 400-Д0, що пояснюється високою водопотребою сульфатостійкого пуцоланового цементу та відповідно високим В/Ц суміші.

6. Досліджено вплив залізоокисних пігментів на властивості та довговічність керамзитобетонів, доведена можливість використання модифікованих суперпластифікатором декоративних керамзитобетонів у тонкостінних конструкціях морських гідротехнічних споруд, зокрема плавучих залізобетонних, при забезпеченні їх міцності та довговічності. Міцність (до

34 МПа), водонепроникність (W10-W12) і морозостійкість (F450-F500) декоративних керамзитобетонів з пігментами практично не відрізняється від даних показників якості контрольних керамзитобетонів. За рахунок технологічного прийому обробки гравію цементною суспензією покращується насиченість кольору декоративних керамзитобетонів, яка аналізувалася за цифровими фото, на 1..1,5 МПа зростає міцність керамзитобетону на стиск, на одну марку зростає його водонепроникність.

7. З використанням методів планування експерименту визначені раціональні склади керамзитобетонів з керамзитовим піском, а також піносклом в крупних фракціях дрібного заповнювача. Визначені склади забезпечують зниження середньої густини керамзитобетонів при підвищеній довговічності в типових умовах експлуатації тонкостінних конструкцій морських гідротехнічних споруд. Результати досліджень впроваджені на Херсонському державному заводі «Паллада», у ПрАТ «Івано-Франківськцемент» та в навчальному процесі в Одеській державній академії будівництва та архітектури.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Ицкович С.М., Чумаков Л.Д., Баженов Ю.М. Технология заполнителей бетона. М.: Высшая школа, 1991. 272 с.
2. Баженов Ю. М. Технология бетона. М.: АСВ, 2002. 500 с.
3. DIN EN 13055. Leichte Gesteinskörnungen (Lightweight Aggregates) Beuth-Verlag; Berlin, Germany: 2016. 58 p.
4. Невилль А. М. Свойства бетона. Пер с англ. Парфенова Д.В., Якуб Т.Ю., Стройиздат, М.: 1972. 344 с.
5. Будівельне матеріалознавство. Кривенко П.В. та ін.; К.: Ліра-К, 2012. 624 с.
6. Sulong Nor Hafizah Ramli, Mustapa Siti Aisyah Syaerah, Rashid Muhammad Khairi Abdul. Application of expanded polystyrene (EPS) in buildings and constructions: A review. *Journal of Applied Polymer science*. 2018. Vol. 136, No. 20. 47529. doi: 10.1002/app.47529.
7. Expanded Clay and Slate Institute. Lightweight Concrete History Applications Economics. Salt Lake City, UT, USA: 1971.
8. Пашенко Т.М., Світла З.І. Будівельне матеріалознавство. К.: Аграрна освіта, 2009. 330 с.
9. Дворкин Л.Й., Дворкин О.Л. Строительное материаловедение. М.: Инфра-Инженерия, 2013. 828 с.
10. Горин В.М., Токарева С.А. Расширение области применения керамзитового гравия. *Строительные материалы*. 2003. №11. С. 19-21.
11. Онацкий С.П. Производство керамзита. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Стройиздат, 1987. 333 с.
12. Неметалічні корисні копалини України / Михайлов В.А. та ін.; К.: ВЦ «Київський університет», 2007. 503 с.
13. Горин В.М., Токарева С.А., Кабанова М.К. Высокопрочный керамзит и керамдор для несущих конструкций и дорожного строительства. *Строительные материалы*. 2010. № 1. С. 9-11.

14. Солоха І.В., Пона М.Г., Луцюз І.В., Семеген Р.І. Підвищення міцності керамзитового гравію регулюванням його напруженого стану. *Вісник Національного університету "Львівська політехніка"*, Хімія, технологія речовин та їх застосування. 2005. № 536. С.231-233.

15. Шабанова Г.Н., Корогодская А.Н., Федоренко Е.Ю., Христич Е.В. Исследование возможности применения различных волокон в технологии керамзита [Електрон. ресурс]. Режим доступа: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/bitstream/123456789/5919/1/%D0%A1%D1%82%D0%B0%D1%82%D1%8C%D1%8F.pdf>
Дата звернення 30.06.2018

16. Yildirim S. Taner, Kiraz Ersin. Investigation of binders composition and curing condition of masonry samples with fly ash and expanded perlite. *Stowarzyszenie Producentow cement*, Krakow. 2013. Vol. 18, No. 3. P. 169.

17. Topcu Ilker Bekir, Isikdag B, Isikdag Burak. Effect of expanded perlite aggregate on the properties of lightweight concrete. *Journal of materials processing technology*. 2008. Vol. 204, No. 1-3. DOI: 10.1016/j.jmatprotec. 2007.10.052.

18. Lanzon Marcos, Garcia-Ruiz P. A. Lightweight cement mortars: Advantages and inconveniences of expanded perlite and its influence on fresh and hardened state and durability. *Construction and building materials*. 2008. Vol. 22. No 8. P. 1798-1806. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2007.05.006.

19. Bernardo Enrico, Scarinci Giovanni, Bertuzzi Paolo, Ercole Piero, Ramon Ludovico. Recycling of waste glasses into partially crystallized glass foams. *Journal of porous materials*. 2010. Vol. 17. No. 3. P. 359-365. DOI: 10.1007/s10934-009-9286-3.

20. Жуков А.Д. Технология теплоизоляционных материалов. Ч. 1. Теплоизоляционные материалы. Производство теплоизоляционных материалов. М.: МГСУ, 2011. 431 с.

21. Ерофеев В.Т., Родин А.И., Кравчук А.С., Ермаков А.А., Физико-механические и теплофизические свойства пеностеклокерамики на основе кремнеземосодержащей породы. *Вестник Белгородского государственного технологического университета им. Шухова*. 2019. Том 4. №5. С.8-15.

22. Демидович Б.К. Пеностекло. Минск: Наука и техника, 1975. 248 с.
23. Велев Д.С., Велева М.Х., Георгиев Л.Д. Новые способы производства пеностекла в Болгарии. Пеностекло - Стекло мира. 2013. № 7-8. С.167-170.
24. Hajimohammadi Ailar, Ngo Tuan, Kashani Alireza. Glass waste versus sand as aggregates: The characteristics of the evolving geopolymer binders. *Journal of cleaner production*. 2018. No. 193. P. 593-603. DOI: 10.1016/j.jclepro.2018.05.086.
25. Семейных Н.С., Сопегин Г.В., Федосеев А.В. Оценка физико-механических свойств пористых заполнителей для легких бетонов. *Вестник МГСУ*. 2018. Том 13. Выпуск 2 (113) С. 203- 213. DOI: 10.22227/1997-0935.2018.2.203-212.
26. Arulrajah Arul, Disfani Mahdi M., Maghoolpilehrood Farshid, Horpibulsuk Suksun, Udonchai Artit, Imteaz Monzur, Du Yan-Jun. Engineering and environmental properties of foamed recycled glass as a lightweight engineering material. *Journal of cleaner production*. 2015. No. 94. P. 369-375. DOI: 10.1016/j.jclepro.2015.01.080.
27. Kari-Christian Thienel, Timo Haller, Nancy Deunter. Lightweight Concrete - From Basics to Innovations. *Materials (Basel)*. 2020. Mar.13(5): 1120. doi: 10.3390/ma13051120.
28. Петров В.П., Макридин Н.И., Ярмаковский В.Н. Пористые заполнители и легкие бетоны: Материаловедение. Технология производства. Самара: 2009. 436 с.
29. Попов Н. А., Элинзон М.П., Штейн Я.Ш. Подбор состава легких бетонов на искусственных пористых заполнителях. М.: Стройиздат, 1962. 83с.
30. Попов Н.А. Новые виды легких бетонов. М.: Стройиздат, 1963. 193 с.
31. Кучеренко А.А. О механизме гидрофобизации бетона. *Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури*. 2009. Вип. 35. Одеса: Зовнішрекламсервіс, С. 207-213.

32. Выровой В.Н. Улучшение качества и повышение стойкости керамзитобетона путем обработки керамзитового гравия: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.05. Днепропетровск, 1978. 21 с.

33. А.с. № 863556. СССР, Кл. С 04 В 31 / 40. Способ обработки легкого заполнителя. Кучеренко А.А., Выровой В.Н., Шкрабик И.В. №2737967/29-33; заявл. 19.03.79; опубл. 15.09.81, Бюл. № 34.

34. Хигерович В.Г., Бирюк М.Г. Активные органические добавки, улучшающие керамзитобетон. *Строительные материалы*. 1967. №3, С.28-30.

35. Вайнштейн М.З. Керамзитобетоны на предварительно пропитанном раствором СДО керамзитовом гравии. *Бетон и железобетон*. 1992. № 2. С. 4-7.

36. Соловьева Л.М. Початковий період історії розвитку гідротехнічного будівництва. *Історія науки і біографістика. Електронне наукове фахове видання міжвідомчий тематичний збірник*. 2012. №3.

37. Дворкин Л.И., Дворкин О.Л. Основы бетоноведения. Спб.: Строй-Бетон, 2006. 692 с.

38. Солопова Г.С. Этапы становления пористых заполнителей и бетонов на их основе. *Международный научный журнал «Символ науки»*, 2015. №12. С. 81-82.

39. Стаценко А.С. Технология бетонных работ. 3-е изд. Минск: Выш. шк., 2009. 239 с.

40. Гидротехнический бетон на литоидной пемзе. Сборник статей. Академия наук Армянской ССР. Ин-т строит.материалов и сооружений. Ред. М.З.Симонов и В. М.Худавердян. Ереван: Изд-во Акад. наук Арм. ССР, 1958. 294 с.

41. Карпенко Н.И., Ярмаковский В.Н. Конструкционные легкие бетоны для нефтедобывающих платформ в северных приливных морях и морях Дальнего Востока. *Вестник инженерной школы Дальневосточного федерального университета*, Владивосток: Изд-во ДВФУ. 2015, № 2 (23). С. 85-99.

42. Fernandes J.F., Bittencourt T., Helene P. A review of the application of concrete to offshore structures. *Proceedings of the ACI SP 253-Fifth ACI/CANMET/IBRACON International Conference on High-Performance Concrete Structures and Materials*, Manaus, Brazil. 2008. 18–20 June. P. 377-392.
43. Кондращенко В.И., Ярмаковский В.Н., Гузенко С.В. О применении конструкционных легких бетонов в мостостроении. *Транспортное строительство*. 2007. №9. С. 10-13.
44. Деллос К.П. Легкие бетоны в мостах. М.: Транспорт, 1986. 184 с.
45. Дорф В.А. Довжик В.Г. Высокопрочный керамзитобетон (Обзор опыта производства, особенностей технологии и свойств). Научный редактор В.Я. Валлах. М.: 1968. 56 с.
46. Raithby K.D., Lydon F.D. Lightweight concrete in highway bridges. *Int. J. Cem. Compos. Lightweight Concr.* 1981. No. 3 P. 133–146. doi: 10.1016/0262-5075(81)90007-5.
47. Cousins T., Roberts-Wollmann C., Brown M.C. High-Performance. High-Strength lightweight concrete for bridge girders and decks. National cooperative highway research program. Report 733. Washington, D.C.: Transportation research board, 2013. 82 p.
48. Roberts J.E. Lightweight Concrete Bridges for California Highway System. *Proceedings of the ACI SP 136-Structural Lightweight Aggregate Concrete Performance*; Detroit, MI, USA. 14 November 1991. P. 255-272.
49. Helland S. Lightweight aggregate concrete in Norwegian bridges. *HPC Bridge Views*, No. 11, Sept/Oct. 2000. P.2-3.
50. Мамонов Н.В., Орентлихер Л.П. Опыт применения керамзитобетона в виброгидропрессованных напорных трубах. *Промышленное строительство*. 1978. №7. С. 12-14.
51. Holm T.A. Performance of Structural Lightweight Concrete in a Marine Environment. *Proceedings of the Performance of Concrete in Marine Environments*; St. New Brunswick, NB, Canada. 1 August. 1980. P. 589–608.

52. Офіційний сайт Херсонського державного заводу «Паллада» : [Електрон. ресурс]. Режим доступу: <http://www.pallada-doc.com>. Дата звернення 26.02.2019
53. Мишутин В.А. Долговечность существующих бетонов и корпусов плавучих судоремонтных доков, эксплуатируемых в морях с различными климатическими условиями. Л.: ЦНИИ «Румб», 1986. 123 с.
54. Слущкий Н.Г., Маломан В.Ф., Рашковский А.С. Строительство железобетонных плавучих сооружений в Украине. *Рыбное хозяйство Украины*. Спец. выпуск «Морские технологии: проблемы и решения - 2004». Керчь. 2004. № 7. С. 23-26.
55. Kang AK, Fjeld S. A floating concrete platform hull made of lightweight aggregate concrete. *Engineering structures*. 1996. Vol. 18, No. 11. P. 831-836.
56. Aitcin P.-C. High performance concrete (Modern concrete technology). E & FN Spon: 2011. 624 p.
57. Mitchell, David W., Marzouk, H. Bond characteristics of high-strength lightweight concrete. *ACI Structural journal*. 2007. Vol. 104, No. 1. P. 22-29.
58. Bergan P.G., Bakken K., Thienel K. C. Analysis and Design of Sandwich Structures Made of Steel and Lightweight Concrete. *III European Conference on Computational Mechanics*. Springer; Dordrecht Berlin/Heidelberg, Germany: 2006. P. 9. DOI https://doi.org/10.1007/1-4020-5370-3_9.
59. Yan Jia-Bao, Liew J. Y. Richard, Zhang, Min-Hong, Li Zhong-Xian. Punching shear resistance of steel-concrete-steel sandwich composite shell structure. *Engineering structures*. 2016. No. 117. P. 470-485. DOI: 10.1016/j.engstruct.2016.03.029.
60. Mitcha JL, DeOliveira JG. Concrete colossus. *Civil engineering*. 1997. Vol. 67, No 3. P. 36-39.
61. Liu G., Li H. Offshore platform integration and float over technology. *Science press*, Beijing, China, 2017. 280 p.

62. Landbo T., Holm E.B., Ludescher H. MPU Heavy Lifter – a lightweight concrete vessel for heavy offshore lifting operations. *Taylor Made Concrete Structures: New Solutions for our Society*. Walraven & Stoelhorst (eds). London: Taylor & Francis Group, 2008. P. 925-929.
63. Пичугин Д.А. О развитии технологии серобетонного судостроения. *Вестник Астраханского государственного технического университета*. 2007. №2 (37). С.114-117.
64. Технология и свойства новых видов легких бетонов на пористых заполнителях. / Под ред. Г.А. Бужевича. М.: Стройиздат, 1971. 202 с.
65. Применение высокопрочного судостроительного керамзитобетона в железобетонном судостроении. Инструкция. Л.: Центральный научно-исследовательский институт технологии судостроения, 1969. 40 с.
66. Цветков Н.П. Легкие судостроительные бетоны на пористых заполнителях. Горький: ГИИВТ, 1958. 64 с.
67. Бирюкович К.Л., Бирюкович Ю.Л., Бирюкович Д.Л. Мелкие суда из стеклоцемента и армоцемента. Л.: Судостроение, 1965. 164 с.
68. Суда из армированного бетона: [Электрон. ресурс]. Режим доступа: <http://armotsement.ru/>. Дата звернення 24.01.2018
69. Light weight aggregate concrete. Recommended extension to Model Code 90, Guide. Identification of research needs, technical report. Case Studies, State-of-art report.fib Bulletin No. 8, 2000. 118 p.
70. Черкасов Г.Й. Введение в технологию бетона. Восточно-Сибирское книжное издательство. 1974. 312 с.
71. Кретов Д.А., Пищулев А.А. Влияние агрессивных сред на железобетонные конструкции. Виды агрессивных сред. *Science, Technology and Life*. Czech Republic. Karlovy Vary, 2014. P. 189-198.
72. Чарномский В.И. Исследование состояния опытных и рабочих массивов в сооружении Либавского порта. С-Петербург: Труды отдела торговых портов. 1909, вып XXVI. 46 с.

73. Чарномский В.И., Байков А.А. О действии морской воды на сооружения из гидравлических растворов в портах Западной Европы и в Южнорусских портах. С-Петербург: Труды отдела торговых портов. 1907 г.

74. Miller D.G. Manson P.W. Long-Time Tests of Concretes and Mortars Exposed to Sulfate Waters. *Techn. Bull., Univers. of Minnesota: Agricultural Experim. Station*, 1951. No. 184.

75. Москвин В.М., Иванов Ф. М., Алексеев С. Н., Гузеев Е. А. Коррозия бетона и железобетона и методы их защиты. М.: Стройиздат, 1980. 533 с.

76. Кинд В. В. Коррозия цементов и бетона в гидротехнических сооружениях. М.: Госэнергоиздат. 1955. 320 с.

77. Алексеев С.Н., Иванов Ф.М., Модры С., Шиссль П. Долговечность железобетона в агрессивных средах. М.: Стройиздат, 1990. 317с.

78. Sangiorgio Valentino, Uva Giuseppina, Fatiguso Fabio, Adam Jose M. A new index to evaluate exposure and potential damage to RC building structures in coastal areas. *Engineering failure analysis*. No. 100. P. 439-455. DOI: 10.1016/j.engfailanal.2019.02.052.

79. Степанова В.Ф. Долговечность бетона. М.: 2014. 126 с.

80. Cheng Yongchun, Zhang Yuwe, Jiao Yubo, Yang, Jinsheng. Quantitative analysis of concrete property under effects of crack, freeze-thaw and carbonation. *Construction and building materials*. 2016. Vol. 129. P 106-115. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2016.10.113.

81. Troconis de Rincon O., Montenegro J. C. Vera R., Carvajal, A. M. and other. Reinforced Concrete Durability in Marine Environments DURACON Project: Long-Term Exposure. *Corrosion*. 2016. Vol. 72, No. 6. P. 824-833. DOI: 10.5006/1893.

82. Волженский А.В., Буров Ю.С., Колокольников В.С. Минеральные вяжущие вещества: (технология и свойства). М.: Стройиздат, 1979. 476 с.

83. Рояк С. М., Рояк Г. С. Специальные цементы. М: Стройиздат, 1983. 279 с.

84. Akiyama Mitsuyoshi, Akiyama Mitsuyoshi, Takenaka Koshin. Reliability-based durability design and service life assessment of reinforced concrete deck slab of jetty structures. *Structure and infrastructure engineering*. 2016. Vol. 13, No. 4. P. 468-477. DOI: 10.1080 /15732479.2016.1164725.
85. Федосов С. В., Базанов С. М. Сульфатная коррозия бетона. М.: АСВ, 2003. 192 с.
86. Гончаренко Д.Ф., Костюк Т.О., Вороненко В.О. Корозія – основний чинник, що веде до руйнації мереж водовідведення. *Науковий вісник будівництва*. 2018. т. 92, №2, С. 156-162.
87. Samimi Kianoosh, Kamali-Bernard Siham, Maghsoudi Ali Akbar. Durability of self-compacting concrete containing pumice and zeolite against acid attack, carbonation and marine environment. *Construction and Building Materials*. 2018. Vol. 165. P. 247-263. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2017.12.235.
88. Валовой О.И., Єрьоменко О. Ю., Валовой М. О. Корозійна стійкість бетонів на заповнювачах з відходів металургійної промисловості. *Гірничий вісник*. 2015. вип. 100. С. 145-149.
89. Siad Hocine, Lachemi Mohamed, Sahmaran Mustafa, Hossain Khandaker M Anwar. Effect of glass powder on sulfuric acid resistance of cementitious materials. *Construction and Building Materials*. 2016. Vol. 113. P. 163-173. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2016.03.049.
90. Ванеева И.В. Стойкость гидротехнических бетонов на карбонатных заполнителях в сульфат-бикарбонатных средах: дис. ... канд. тех. наук: 05.23.05. Киев, 1983. 212 с.
91. Структурообразование и органогенная коррозия цементных и полимерных бетонов. *Сб. научных работ Пензенского ИСИ*. Саратов-Пенза: Приволж.кн. изд-во, 1967. 377 с.
92. Рашковський О. С., Щедролосев О. В., Кириченко К. В. Оптимізація складу суднобудівного бетону із заданими експлуатаційними і

технологічними властивостями. Механіко-технологічні системи та комплекси. *Вісник НТУ «ХПІ»*. 2017. №44. С. 20-27.

93. Житкевич Р.К., Кац К.М. Высокопрочный легкий бетон. *Всероссийский семинар Эффективные конструкции из легких бетонов*. Тезисы докладов. Госстрой СССР. М.: 1980. С. 73-75.

94. Теория цемента. Пащенко А.А., Мясникова Е.А., Гумен В.С. та ін. Київ: Будівельник, 1991. 168 с.

95. Roman Seawater Concrete Holds the Secret to Cutting Carbon Emissions A U.S. Department of Energy National Laboratory Managed by the University of California News Release Paul. 2013. Preuss 510-486-6249 June 4, <https://newscenter.lbl.gov/2013/06/04/roman-concrete/>.

96. Пшинько А.Н., Краснюк А.В., Бычков С.А. Анализ технологий производства и способов модифицикации легких бетонов на неорганических вяжущих заполнителях. *Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту*. 2010. Вип. №35. С. 150-155.

97. Won Jong Pil, Park Chan Gi. Enhanced Durability Performance of Polymer Modified Cement Composites for Concrete Repair Under Combined Aging Conditions. *Journal of the korean society of agricultural engineers*. Nov. 2005. P. 27-34. <https://doi.org/10.5389/KSAE.2005.47.6.027>.

98. Fodil D., Mohamed M. Compressive strength and corrosion evaluation of concretes containing pozzolana and perlite immersed in aggressive environments. *Construction and Building Materials*. 2018. Vol. 179. P. 25-34.

99. Kwon S.-J., Lee, H.-S., Karthick S., Saraswathy, V., Yang, H.-M. Long-term corrosion performance of blended cement concrete in the marine environment – A real-time study. *Construction and Building Materials*. 2017. Vol. 154. P. 349-360.

100. Castroa O.T., De Rinconb, E.J. Pazini. Interpretation of chloride profiles from concrete exposed to tropical marine environments. *Cement and Concrete Research*. 2001. No. 31. P. 529- 537.

101. Троян В.В. Добавки для бетонів і будівельних розчинів. Ніжин: Аспект-Поліграф, 2010. 228 с.

102. Sadaqat Ullah Khan, Muhammad Fadhil Nuruddin, Tehmina Ayub, Nasir Shafiq. Effects of Different Mineral Admixtures on the Properties of Fresh Concrete. *Scientific World Journal*. 2014. 986567. doi: 10.1155/2014/986567.

103. Приймаченко А.С., Шейніч Л.О., Моделювання процесу корозії високоміцних бетонів у сульфатному середовищі. *Восточно-Европейский журнал передовых технологий. Технологии органических и неорганических веществ*. 2016. Вип. 52/6 (80). С. 53- 59.

104. Ефективні технології бетонів та розчинів із застосуванням техногенної сировини. Л.Й. Дворкін, В.В. Житковський, В.В. Марчук та ін. Рівне:НУВГП, 2017.424 с.

105. Leonovich S. N. Modeling of Capillary Shrinkage and Cracking in Early-Age Concrete. *Science & technique*. 2018. Vol. 17, No. 4. P. 265-277. DOI: 10.21122/2227-1031-2018-17-4-265-277.

106. ДСТУ Б В.2.7-171:2008 Будівельні матеріали. Добавки для бетонів і будівельних розчинів. Загальні технічні умови (EN 934-2: 2001, NEQ) К.: Мінрегіонбуд України, 2010. 62 с.

107. Ратинов В.Б., Розенберг Т.И. Добавки в бетон. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Стройиздат, 1989. 188 с.

108. Linek Malgorzata, Nita Piotr, Wolka Pawel, Zebrowski Wojciech. Application of Natural Mineral Additives in Construction. *3rd World Multidisciplinary Earth Sciences Symposium*. 2017. Vol 95. UNSP 022006. DOI: 10.1088/1755-1315/95/2/022006.

109. Butakova M. D., Saribekyan S. S., Mikhaylov A. V. Influence of Silicon-Containing Additives on Concrete Waterproofness Property. *IOP Conference Series-Materials Science and Engineering*. 2017. Vol. 262. 012006. DOI: 10.1088/1757-899X/262/1/012006.

110. Саницький М.А., Позняк О.Р., Мазурак О.Т., Чемерис М.М. Бетони з комплексними модифікаторами нової генерації. *Вісник Національного університету "Львівська політехніка"*. Теорія і практика будівництва. 2004. № 495: С. 169-172.

111. Paz Saez-Perez Ma, Verdu-Vazquez Amparo, Paton-Aguilera Mercedes. Design of self compacted concrete with 4th generation synthetic additives. *Materials technology*. 2019. Vol. 94, No 4. P.455-459. DOI: 10.6036/9013.

112. Саницький М.А., Позняк О.Р., Кіракевич І.І., Русин Б.Г. Високофункціональні бетони на основі модифікаторів нової генерації. *Вісник Національного університету "Львівська політехніка"*. Теорія і практика будівництва. 2008. № 627. С. 191-197.

113. Damtoft J. S., Herfort D., Yde E. Concrete binders, mineral additions and chemical admixtures: state of the art and challengers for the 21s century. *Creating with Conrete: the Intern. Conf.: Proc.* – Dundee (Scotland). 1999. P. 1-16.

114. Belov Vladimir, Kuliaev Pavel. Limestone filler as one of the cheapest and best additive to concrete. *XXI International scientific conference on advanced in civil engineering construction – the formation of living environment*. 2018. Vol. 365. UNSP 032054. DOI: 10.1088/1757-899X/365/3/032054.

115. Пушкарьова К.К., Каверин К.О., Калантаєвський Д.О. Дослідження високоміцних цементних композицій, модифікованих комплексними органо-кремнеземистими добавками. *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. 2015. №5/5 (77). С.42- 51.

116. Мішутін А.В., Кровяков С.О., Піщев О.В., Заволока М.В. Механічні властивості модифікованих суднобудівних керамзитобетонів. *Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури*. Одеса: 2016. Вип. № 63. С. 161-166.

117. Приймаченко А.С. Високоміцні сульфатостійкі бетони, модифіковані алюмосилікатними добавками: дис. ...к-та техн. наук: 05.23.05 / Національний університет водного господарства та природокористування. Київ, 2017. 147 с.

118. Королева Е.Л., Матвеева Е.Г., Науменко О.В., Нырикова Т.Н. Исследование коррозионной стойкости модифицированного бетона в среде сточных вод. *Вестник МГСУ*. 2013. Выпуск №2. С. 101-107.

119. Каверин К. О. Високоміцні легкі керамзитобетони, модифіковані полікарбосилікатними суперпластифікаторами. *Будівельні матеріали, виробництво та санітарна техніка*. Науково-технічний збірник, 2015. Випуск 56. С. 47-53.

120. Сопов В.П., Долгий В.П., Ткачук А.Л. Проблема совместимости химических добавок с различными видами цементов. *Науковий вісник будівництва*. 2015. Вип. №1. С. 262 – 266.

121. Шейніч Л. О., Приймаченко А.С., Пушкарьова К.К. Вплив алюмосилікатного компонента на усадку та тепловиділення бетону. *Будівельні матеріали, виробництво та санітарна техніка*. Науково-технічний збірник. 2015. Випуск № 56. С. 131-134.

122. Abdullaev A. M., Abdullaev M. A-V, Paytayev Kh. A. High-Quality and High Mobility Concrete with Complex Nanostructured Additives. *International Symposium on Engineering and Earth Sciences - Applied and Fundamental Research*. 2018. Vol. 177. P. 228-231.

123. Зайченко М. М., Сердюк О. І. Бетони із високим вмістом золи для масивних залізобетонних конструкцій. *Вісник Донбаської національної академії будівництва і архітектури*. Сучасні будівельні матеріали. 2013. Вип.1(99) С. 137-144.

124. ДБН В.2.4-3-2010 Гідротехнічні споруди. Основні положення. Київ: ДП Укрархбудінформ. 2010. 37 с.

125. Сопов В.П., Сінякін Д.А., Кабусь О.В. Бетони для зведення гідротехнічних споруд. *Науковий вісник будівництва*. 2018. Т. 91, №1, С. 140-145.

126. Мишутин А.В. Модифицированные фибробетоны для конструкций плавучих сооружений. *Вісник ОДАБА*. 2010. Вип. № 38. С. 442-456.

127. Юхневський П.І., Широкий Г.Т. Будівельні матеріали та виробництво. Мінськ : УП «Технопринт», 2002. 293 с.

128. Вербецкий Г.П. Прочность и долговечность бетона в водной среде. Стройиздат, 1976. 128 с.

129. Мішутін А. В. Розвиток наукових основ підвищення довговічності суднобудівних бетонів: дис... д-ра наук: 05.23.05 / Одеська державна академія будівництва та архітектури. Одеса, 2009. 345 с.

130. Кривяков С.О. Експериментально-теоретичні основи підвищення довговічності легких бетонів для тонкостінних гідротехнічних споруд: дис... д-ра наук: 05.23.05 / Одеська державна академія будівництва та архітектури. Одеса, 2019. 386 с.

131. Lothenbach, B.; Scrivener, K.; Hooton, R.D. Supplementary cementitious materials. *Cem. Concr. Res.* 2011. Vol. 41, 1244-1256.

132. Małolepszy J., Grabowska E. Sulphate attack resistance of cement with zeolite additive. *Procedia Engineering*, 2015, 108, P. 170-176. DOI: 10.1016/j.proeng.2015.06.133

133. Дворкин Л.Й. Мироненко А.В. Будівельні матеріали та вироби із застосуванням промислових відходів. Рівне :НУВГП, 2019. 298с.

134. Сокольников В. Ю. Композиційні цементы з силікатними добавками різної структури: дис. ... к-та техн. наук: 05.17.11 / Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського». Київ, 2019. 168 с.

135. Ghrici M, Kenai S, Meziane E. Mechanical and durability properties of cement mortar with Algerian natural pozzolana. *Journal of materials science*. 2004. Vol. 41, No. 21. P. 6965-6972. DOI: 10.1007/s10853-006-0227-0.

136. Ailian Zhang, Linchun Zhang. Influence of Cement Type and Water-to-Cement Ratio on the Formation of Thaumasite. *Advances in Materials Science and Engineering*. 2017(1):1-6. July 2017, Article ID 7643960, 6 pages. <https://doi.org/10.1155/2017/7643960>.

137. Ines Garsia-Loderio, Ana Fernandez-jimenez, Angel Palomo. Hybrid Alkaline Cements: Bentonite-Opc Binders. *Minerals*. 2018. № 8(4). 12 p. <https://doi.org/10.3390/min8040137>.

138. Sopov Viktor, Pershina Lidiya, Butskaya Larisa, Latores Ekaterina, Makarenko Olga. The role of chemical admixtures in the formation of the structure of

cement stone. *MATEC Web of Conferences*, Verlag EDP Sciences. 2017. Band 116, Seiten 01018.

139. K. Celik, M.D. Jackson, M. Mancio, C. Meral, A.- H. Emwas, P.K. Mehta, P.J.M. Monteiro. High-volume natural volcanic pozzolan and limestone powder as partial replacements for portland cement in self-compacting and sustainable concrete. *Cement and Concrete Composites*. 2014. Vol. 45. P. 136-147.

140. E.R. Grist, K.A. Paine, A. Heath, J. Norman, H. Pinder. Structural and durability properties of hydraulic lime–pozzolan concretes. *Cement and Concrete Composites*. 2015. Vol. 62. P. 212-223.

141. Офіційний сайт ТЗОВ «Хемтех Баєрн Україна» дочірнє підприємство компанії CHEMTECH BAYERN GmbH [Електрон. ресурс]. – Режим доступу: <http://chemtech-bayern.com.ua/uk/statti/186>. Дата звернення 04.02.2019.

142. Huber J. *Decorative Concrete*. 2nd edition / J. Huber. Menlo Park, Calif.: 2007. Sunset Pub. Co. 192 p.

143. Jang Hong-Seok, Kim Ju-Hee, Xing Shuli, So Seung-Young. Modeling of Carbon Mortar Color Expression Using Artificial Neural Network. *Journal of nanoscience and nanotechnology*. 2018. Vol. 18, No. 9. P. 6619-6623. DOI: 10.1166/jnn.2018.15706.

144. Peter Weber, Harold Scholz. Fading concrete block surfaces. GmbH Ickerottweg. 30 D-45665 Recklinghausen. *Interlocking Concrete Pavement Institute*. 2015. p1-5.

145. Honglei Chang, Penggang Wang, Zuquan Jin, Gang Li, Pan Feng, Shoujie Ye, Jian Liu. Durability and Aesthetics of Architectural Concrete under Chloride Attack or Carbonation. *Materials (Basel)*. Published online. 2020 Feb; 13(4). P. 839. doi: 10.3390/ma13040839.

146. Махотин М.А. Высолообразование на поверхности декоративных растворов и разработка рекомендаций по повышению их цветоустойчивости: дис. ... канд. техн. наук 05.23.05. Ленинград. 1983. 187 с.

147. Кузьмина В.П. Потребительские характеристики цветных цементов. *Строительный журнал Весь Бетон*. 2011. Бесплатный on-line журнал нового поколения. Дата звернення 01.20.2020. Режим доступу <https://betonmagazine.ru/potrebiteltskie-kharakteristiki-cvetnyx-cementov/>

148. Кочевих М.О., Блажис Г.Р., Гончар О.А., Вялін Д.О. Особливості отримання фактурних бетонних виробів для огорожувальних конструкцій. *Вісник ХНТУ №2(57)*, 2016 р. С.54-59.

149. Дворкін Л.Й., Дворкін О.Л. Опоряджувальні будівельні матеріали. Рівне: вид-во НУВГП, 2011. 291 с.

150. Мишутин А.В., Петричко С.Н. Использование декоративного бетона для строительства плавучих сооружений. *Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури*. Вип. 38. 2010. С. 436-441.

151. Петричко С.Н. Декоративные бетоны повышенной долговечности для городского и транспортного строительства. *Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури*, 2014, Вип. №2(12). С. 430-441.

152. Мишутин А.В., Петричко С.Н. Влияние цветных пигментов на нормальную плотность и сроки схватывания цемента. *Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури*, Випуск №45, 2012. С. 143-146.

153. Герасимова Л.Г., Бубнов А.В. Минеральный пигмент, содержащий диоксид титана. *Научно-технический и производственный журнал. Материалы и конструкции*. Июль. 2006. С. 32-33.

154. Петричко С.Н. Состав и свойства декоративного судостроительного бетона. дис. ... к-та техн. наук: 05.23.05 / Одесская государственная академия строительства и архитектуры. Одесса, 2012. 158 с.

155. Lyashenko T.V., Dovgan A.D., Dovgan P.M. Decorative concrete with hybrid glass fibre: design and first results of the experiment. 2018. - Вип. 70. - С. 99-105. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vodaba_2018_70_17

156. Кривенко П.В., Ковальчук О.Ю. Управління декоративними властивостями лужних цементів. *Науковий вісник будівництва*, 2019, Т.2, No 2(96). С. 280- 285.

157. Krivenko, P. V., Petropavlovskyy O. N., Pushkar V. I., Ostrovska L. N. Decorative alkaline cements. 4th International Conference on Non-Traditional Cement and Concrete. Brno, CZECH REPUBLIC. 2011. P. 257-265.

158. Коровкин М.О., Ерошкина Н.А., Саденко С.М., Кабанова Л.А., Лавров И.Ю. Особенности тренований к заполнителям декоративного бетона. Электронный научно-практический журнал «Молодежный научный весник» №1, 2019. С. 148-152.

159. Офіційний сайт ТОВ «НПП Технологія» [Електрон. ресурс]. – Режим доступу: <http://www.pinosklo.com> Дата звернення 12.10.2018.

160. Офіційний сайт компанії Coral [Електрон. ресурс]. – Режим доступу: <http://coral.ua>. Дата звернення 06.09.2019.

161. Офіційний сайт виробника пігментів Bayferrox (підрозділ LanXESS GmbH) [Електрон. ресурс]. – Режим доступу: <http://bayferrox.com>. Дата звернення 23.05.2019.

162. Дорофеев В.С., Выровой В.Н. Технологическая поврежденность строительных материалов и конструкций. Одесса: Місто майстрів, 1998. 168 с.

163. Выровой В.Н., Дорофеев В.С., Суханов В.Г. Композиционные строительные материалы и конструкции. Структура, самоорганизация, свойства. Одесса: ТЕС, 2010. 176 с.

164. Суханов В.Г., Выровой В.Н., Коробко О.А. Структура материала в структуре конструкции. Одесса: Полиграф, 2016. 244 с.

165. Вознесенский В.А., Ляшенко Т.В., Огарков Б.Л. Численные методы решения строительно-технологических задач на ЭВМ. К.: Вища школа, 1989. 327 с.

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

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

168. Штарк И., Вихт Б. Долговечность бетона. Пер. с нем. А. Тулаганова. Под ред. П. Кривенко. К.: Оранта, 2004. 301 с.
169. Мишутин А.В., Мишутин Н.В. Повышение долговечности бетонов морских железобетонных плавучих и стационарных сооружений. Одесса: Эвен, 2011. 292 с.
170. Саницький М.А., Кропивницька Т.П., Гев'юк І.М., Котів М.В. Бетони поліфункціонального призначення на основі композиційних цеолітвмісних портландцементів. *Вісник Національного університету "Львівська політехніка"*. Теорія і практика будівництва. 2016. № 844. С.188-193.
171. Massazza F. Pozzolanic cements. *Cement and Concrete Composites*. 1993. Vol. 15, No 4, P. 185-214.
172. Крорувнытська Т., Санытський М., Гевіук І. Properties of Portland-composite cements with zeolite tuff. *Journal of civil engineering, environment and architecture, JCEEA*. 2018. Т. XXXV. No 65 (3/18). P. 25-34.
173. Виноградов Б.Н. Влияние заполнителей на свойства бетона. М.: Стройиздат, 1979. 224 с.
174. Иванов И.А. Легкие бетоны на искусственных пористых заполнителях. М.: Стройиздат, 1993. 182 с.
175. Симонов М.З. Основы технологии легких бетонов. М.: Стройиздат, 1973. 584 с.
176. Бабич Е.М. Конструкции из легких бетонов на пористых заполнителях. К.: Вища школа, 1988. 208 с.
177. Проектирование, технология и организация строительства композитных плавучих доков. А.С. Рашковский, Н.Г. Слуцкий, В.Н. Конов и др. Под. ред. А.С. Рашковского. Николаев: НУК, РАЛ-полиграция, 2008. 614 с.
178. Kroviakov S.O., Mishutin A.V., Pishev O.V., Kryzhanovskiy V.O. Effect of composition on the strength of modified expanded clay lightweight concrete. *Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури*. 2018. №71, С.107-112.

179. Порівняння міцності і довговічності бетонів на сульфатостійкому портландцементі ССПЦ 400-Д0 та портландцементі з добавкою пуцолани ПЦ П/А-П-500 Р-Н. С.О. Кровяков, А.В. Мішутін, Л.В. Дудник, М.В. Заволока, Г.Г. Ткаченко. *Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури*, 2019, №75, С. 91-98. doi: 10.31650/2415-377X-2019-75-91-98

180. Kroviakov S., Zavaloka M., Dudnik L., Kryzhanovskyi V. Comparison of strength and durability of concretes made with sulfate-resistant portland cement and portland cement with pozzolana additive. *Electronic Journal of the faculty of civil engineering Osijek - e-GFOS*. 2019, No. 19. P. 81-86. doi.10.13167/2019.19.8

181. Дудник Л.В., Кровяков С.О. Портландцемент з добавкою пуцолани як альтернатива сульфатостійкому цементу. *Збірка тез доповідей III міжнародної конференції «Експлуатація та реконструкція будівель і споруд»*, Одеса:ОДАБА, 2019. С.63.

182. Дудник Л.В., Кровяков С.О., Мішутін А.В. Фізико-механічні властивості бетонів на різних типах портландцементу. *Збірка тез доповідей міжнародної наукової конференції «Структурутворення, міцність та руйнування композитних будівельних матеріалів та конструкцій»*, Одеса:ОДАБА, 2019. С.39-41.

183. Бондурянский З.П., Дьячков М.А., Меламед Э.Е. Морские железобетонные суда. Л.: Судостроение, 1966. 200 с.

184. Chandra S., Verntsson L. Lightweight aggregate concrete. London:Elsevier Science, 2008. 450 p.

185. Ахметова А.А., Ганиев Т.М., Албогачиев А.М. Применение керамзитового песка и гравия в современных бетонах и растворах. *Инновационные процессы в науке и образовании*. 2019. С. 81-86.

186. Гасанов А.Б., Вандоловский А.Г. Повышение прочности при растяжении конструкционного керамзитобетона. *Науковий вісник будівництва*. 2015. № 2. С. 162-166.

187. Казанцева Л.К., Верещагин В.И., Овчаренко Г.И. Вспененные стеклокерамические теплоизоляционные материалы из природного сырья. *Строительные материалы*, 2001, №4. С. 33-34.

188. Демидович Б.К., Садченко Н.П. Пеностекло – технология и применение. М.: ВНИИЭСМ, 1990. 44 с.

189. Давидюк А.Н. Конструкционно-теплоизоляционные легкие бетоны на стекловидных пористых заполнителях. Дис. на соискание уч. степени д.т.н. по спец. 05.23.05. Ростов-на-Дону, 2009. 381 с.

190. Иванова С.М. Композиционный цементный пеностеклобетон: дис. ...канд. техн. наук. / 05.23.05. Челябинск, 2005. 273 с.

191. Підвищення довговічності керамзитобетонів для тонкостінних гідротехнічних і транспортних споруд за рахунок застосування модифікаторів. А.В. Мішутін, С.О. Кровяков, О.В. Піщев, Л.В. Дудник, К.О. Стрельцов, Г.Г. Ткаченко. *Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури*. 2017, №69, С. 100-105

192. Кровяков С.О., Мішутін А.В. Рецептурно-технологічні методи підвищення довговічності бетонів на легких заповнювачах для тонкостінних гідротехнічних і транспортних споруд. *Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди*. Випуск 36. Рівне: Волинські береги, 2018. С.55-63.

193. Кровяков С.О., Мішутін А.В., Дудник Л.В. Дослідження легких бетонів з різними типами дрібного заповнювача. *Тези доповідей 74-ї науково-технічної конференції професорсько-викладацького складу Одеської державної академії будівництва та архітектури*. Одеса:ОДАБА, 2018. С.269.

194. Міцність модифікованих керамзитобетонів і фіброкерамзитобетонів для тонкостінних конструкцій гідротехнічних і транспортних споруд. С.О.Кровяков, А.В.Мішутін, О.В. Піщев, Л.В.Дудник, М.В.Заволока. *Збірник тез доповідей міжнародної конференції «Структуроутворення, міцність та руйнування композиційних будівельних матеріалів і конструкцій»*, Одеса:ОДАБА, 2018. С.80-83.

195. Цементные бетоны с минеральными наполнителями. Л.И. Дворкин, В.И. Соломатов, В.Н. Выровой, С.М. Чудновский. Под. ред. Л.И. Дворкина. К.: Будивэльнык, 1991. 136 с.
196. Композиционные материалы и конструкции пониженной материалоемкости. В.С. Соломатов, В.Н. Выровой, В.С. Дорофеев, А.В. Сиренко. К.: Будивэльнык, 1991. 144 с.
197. Дудник Л.В., Кровяков С.О., Мішутін А.В. Модифіковані керамзитобетони забезпеченої довговічності для тонкостінних конструкцій морських гідротехнічних споруд. *Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури*. 2020, №78, С. 89-96. doi: 10.31650/2415-377X-2020-78-89-96.
198. Кровяков С.О., Дудник Л.В. Порівняння властивостей модифікованих керамзитобетонів з різними типами пісків. *Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди*. Випуск 35. Рівне: НУВГП, 2018. С.18-25.
199. Kroviakov S.O., Dudnik L.V., Zavoloka M.V. Properties of structural expanded clay lightweight concrete with different types of porous sands. *Journal of Engineering Science*. 2020. Vol. XXVII, no. 1 (2020), P. 36 - 42. doi:10.5281/zenodo.3713362.
200. Кровяков С.О., Дудник Л.В. Властивості керамзитобетонів з різними видами пористих пісків. *Збірка тез доповідей міжнародної конференції «Моделювання та оптимізація будівельних композитів»*, Одеса: ОДАБА, 2019. С. 87-90.
201. Кровяков С.О., Дудник Л.В. Використання гранульованого піноскла в якості дрібного заповнювача керамзитобетону. *Збірка тез доповідей 75-ї науково-технічної конференції професорсько-викладацького складу Одеської державної академії будівництва та архітектури*. Одеса: 2019. С. 253.
202. Huber J. *Decorative Concrete*. 2nd edition, 2007. 192 p.

203. Dunnous J. Concrete block coloring with iron oxide pigment suspension. *Proc. 5th International conference on concrete block paving*, Israel, 1996. P. 83-92.

204. Петричко С.Н., Мишутин А.В. Состав и свойства декоративных судостроительных бетонов. *Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури*. Вип. 48. Частина 2. Одеса: Зовнішрекламсервіс, 2012. С. 37-42.

205. Петричко С.Н. Прочностные характеристики декоративных судостроительных бетонов. *Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури*, Вип. 44. Одеса: Зовнішрекламсервіс, 2011. С. 258-263.

206. Кузьмина В.П. Неорганические пигменты для сухих строительных смесей и декоративных бетонов. Свойства. Эффективность применения. *Популярное бетоноведение*. 2005, №2 (4). С.2-8.

207. Reichel A., Hochberg A., Köpke C. *Plaster, Render, Paint and Coatings: Details, Products, Case Studies*. Munich: 2004. 112 p.

208. Jang, Hong-Seok, Kim, Ju-Hee, Xing Shuli, So Seung-Young. Modeling of Carbon Mortar Color Expression Using Artificial Neural Network. *Journal of nanoscience and nanotechnology*. Vol. 18, No 9. P. 6619-6623. DOI: 10.1166/jnn.2018.15706.

209. Кровяков С.О., Дудник Л.В., Петричко С.М. Довговічність декоративних керамзитобетонів для тонкостінних конструкцій гідротехнічних споруд. *Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди*. Випуск 38. Рівне: НУВГП, 2020. С.203-213.

210. Кровяков С.О., Петричко С.М., Дудник Л.В., Ткаченко Г.Г. Декоративний конструкційний керамзитобетон на обробленому цементною суспензією гравії. *Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури*, 2017, №66, С.66-71.

211. Кровяков С.О., Дудник Л.В., Петричко С.М. Стійкість кольорової гама декоративних керамзитобетонів. *Збірка тез доповідей другої науково-*

практичної конференції «Проблеми та перспективи розвитку будівельного комплексу м. Одеси», Одеса: ОДАБА, 2018. С.101.

212. Кровяков С.О., Дудник Л.В., Полторапавлов А.О. Застосування місцевого заповнювача в транспортному і гідротехнічному будівництві в одеському регіоні. *Збірка тез доповідей науково-практичної конференції «Проблеми та перспективи розвитку будівельного комплексу м. Одеси», Одеса:ОДАБА, 2016. С.117.*

**Список публікацій здобувача за темою дисертації
та відомості про апробацію результатів дисертації**

Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:

1. Дудник Л.В., Кровяков С.О., Мішутін А.В. Модифіковані керамзитобетони забезпеченої довговічності для тонкостінних конструкцій морських гідротехнічних споруд. Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури, 2020, №78, С. 89-96. *doi: 10.31650/2415-377X-2020-78-89-96 (індексується Index Copernicus).*

2. Кровяков С.О., Дудник Л.В., Петричко С.М. Довговічність декоративних керамзитобетонів для тонкостінних конструкцій гідротехнічних споруд. Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. Випуск 38. Рівне: НУВГП, 2020. С.203-213.

3. Порівняння міцності і довговічності бетонів на сульфатостійкому портландцементі ССПЦ 400-Д0 та портландцементі з добавкою пуцолани ПЦ П/А-П-500 Р-Н. С.О. Кровяков, А.В. Мішутін, Л.В. Дудник, М.В. Заволока, Г.Г. Ткаченко. Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури, 2019, №75, С. 91-98. *doi: 10.31650/2415-377X-2019-75-91-98 (індексується Index Copernicus).*

4. Кровяков С.О., Дудник Л.В. Порівняння властивостей модифікованих керамзитобетонів з різними типами пісків. Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. Випуск 35. Рівне: НУВГП, 2018. С.18-25.

5. Підвищення довговічності керамзитобетонів для тонкостінних гідротехнічних і транспортних споруд за рахунок застосування модифікаторів. А.В. Мішутін, С.О. Кровяков, О.В. Піщев, Л.В. Дудник, К.О. Стрельцов, Г.Г. Ткаченко. Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури, 2017, №69, С. 100-105 (*індексується Index Copernicus*).

6. Кровяков С.О., Петричко С.М., Дудник Л.В., Ткаченко Г.Г. Декоративний конструкційний керамзитобетон на обробленому цементною суспензією гравії. Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури, 2017, №66, С.66-71 (*індексується Index Copernicus*).

Статті у наукових періодичних виданнях інших держав

7. Kroviakov S., Zavoloka M., Dudnik L., Kryzhanovskyi V. Comparison of strength and durability of concretes made with sulfate-resistant portland cement and portland cement with pozzolana additive. Electronic Journal of the faculty of civil engineering Osijek - e-GFOS. 2019, no.19. pp. 81-86. *doi.10.13167/2019.19.8* (*індексується Web of Science*).

8. Kroviakov S.O., Dudnik L.V., Zavoloka M.V. Properties of structural expanded clay lightweight concrete with different types of porous sands. Journal of Engineering Science Vol. XXVII, no. 1 (2020), pp. 36 - 42. *doi:10.5281/zenodo.3713362*

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації

9. Кровяков С.О., Дудник Л.В. Властивості керамзитобетонів з різними видами пористих пісків. Збірка тез доповідей міжнародної конференції «Моделювання та оптимізація будівельних композитів», Одеса:ОДАБА, 2019. С. 87-90.

10. Дудник Л.В., Кровяков С.О. Портландцемент з добавкою пуцолани як альтернатива сульфатостійкому цементу. Збірка тез доповідей III міжнародної конференції «Експлуатація та реконструкція будівель і споруд», Одеса:ОДАБА, 2019. С.63.

11. Кровяков С.О., Дудник Л.В. Використання гранульованого піноскла в якості дрібного заповнювача керамзитобетону. Збірка тез доповідей 75-ї науково-технічної конференції професорсько-викладацького складу Одеської державної академії будівництва та архітектури. Одеса: 2019. С. 253.

12. Дудник Л.В., Кровяков С.О., Мішутін А.В. Фізико-механічні властивості бетонів на різних типах портландцементу. Збірка тез доповідей міжнародної наукової конференції «Структурутворення, міцність та руйнування композитних будівельних матеріалів та конструкцій», Одеса:ОДАБА, 2019. С.39-41.

13. Кровяков С.О., Дудник Л.В., Петричко С.М. Стійкість кольорової гама декоративних керамзитобетонів. Збірка тез доповідей другої науково-практичної конференції «Проблеми та перспективи розвитку будівельного комплексу м. Одеси», Одеса: ОДАБА, 2018. С.101

14. Кровяков С.О., Мішутін А.В., Дудник Л.В. Дослідження легких бетонів з різними типами дрібного заповнювача. Тези доповідей 74-ї науково-технічної конференції професорсько-викладацького складу Одеської державної академії будівництва та архітектури. Одеса: ОДАБА, 2018. С.269.

15. Міцність модифікованих керамзитобетонів і фіброкерамзитобетонів для тонкостінних конструкцій гідротехнічних і транспортних споруд. С.О.Кровяков, А.В.Мішутін, О.В. Піщев, Л.В.Дудник, М.В.Заволока. Збірник тез доповідей міжнародної конференції «Структурутворення, міцність та руйнування композиційних будівельних матеріалів і конструкцій», Одеса: ОДАБА, 2018. С.80-83.

16. Кровяков С.О., Дудник Л.В., Полторапавлов А.О. Застосування місцевого заповнювача в транспортному і гідротехнічному будівництві в одеському регіоні. Збірка тез доповідей науково-практичної конференції «Проблеми та перспективи розвитку будівельного комплексу м. Одеси», Одеса: ОДАБА, 2016. С.117

Продовження додатку А**Відомості про апробацію результатів дисертації:**

- науково-практичний семінар «Структура, властивості та склад бетону» (Україна, м. Рівне, 15-16 січня 2020 р. – очна участь);
- міжнародна науково-технічна конференції «Моделювання та оптимізація будівельних композитів» (Україна, м. Одеса, 21-22 листопада 2019 р. – очна участь);
- 75-та науково-технічна конференція професорсько-викладацького складу Одеської державної академії будівництва та архітектури (Україна, м. Одеса, 16-17 травня 2019 р. – очна участь);
- міжнародна конференція «Структуроутворення, міцність та руйнування композиційних будівельних матеріалів і конструкцій» (Україна, м. Одеса, 23-24 квітня 2019 р. – очна участь);
- міжнародна науково-технічна конференція «Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди» (Україна, м. Рівне, 16-18 жовтня 2018 р. – заочна участь).
- II науково-практична конференція «Проблеми та перспективи розвитку будівельного комплексу м. Одеси» (Україна, м. Одеса, 27-29 вересня 2018 р. – очна участь);
- міжнародна науково-технічна конференція «Гідротехнічне і транспортне будівництво» (Україна, м. Одеса, 31 травня 2018 р. – очна участь);
- 74-та науково-технічна конференція професорсько-викладацького складу Одеської державної академії будівництва та архітектури (Україна, м. Одеса, 17-18 травня 2018 р. – очна участь);
- міжнародна конференція «Структуроутворення, міцність та руйнування композиційних будівельних матеріалів і конструкцій» (Україна, м. Одеса, 11-13 квітня 2018 р. – очна участь);

- міжнародна науково-технічна конференція «Гідротехнічне і транспортне будівництво» (Україна, м. Одеса, 1 червня 2017 р. – очна участь);
- 73-тя науково-технічна конференція професорсько-викладацького складу Одеської державної академії будівництва та архітектури (Україна, м. Одеса, 18-19 травня 2017 р. – очна участь);
- науково-практична конференція «Проблеми та перспективи розвитку будівельного комплексу м. Одеси» (Україна, м. Одеса, 22-24 вересня 2016 р. – очна участь);
- міжнародна науково-технічна конференція «Гідротехнічне і транспортне будівництво» (Україна, м. Одеса, 3 червня 2016 р. – очна участь);

Додаток Б.

Акти впровадження результатів досліджень

АКТ

про впровадження результатів наукових досліджень
на Херсонському державному заводі «Паллада»

У подовжені багаторічного науково-технічного співробітництва складений цей акт.

Акт підтверджує, що результати науково-технічних досліджень аспірантів Одеської державної академії будівництва та архітектури О.В. Піщева (науковий керівник д.т.н., проф. А.В. Мішутін) і Л.В. Дуднік (науковий керівник д.т.н., доц. С.О. Кровяков) були використані на Херсонському державному заводі «Паллада» при виробництві суднобудівних бетонів для тонкостінних залізобетонних плавучих споруд.

Проведені науково-технічні дослідження показали можливість підвищення довговічності легких і важких суднобудівних бетонів за рахунок використання суперпластифікаторів, зокрема полікарбоксилатного типу, та мікрокремнезему. Була вироблена опитна партія модифікованого бетону рекомендованого складу об'ємом 8 м³. Бетон мав водонепроникність W10 і морозостійкість у морській воді 400 циклів.

Також, на Херсонському державному заводі «Паллада» в промислових умовах було проведено порівняні експериментальні дослідження цементу ПЦП/А-П-500 Р-Н і ССПЦ 400-Д0 виробництва Івано-Франківського цементного заводу для суднобудівних бетонів.


Херсонський державний завод «Паллада» та Одеська державна академія будівництва та архітектури зацікавлені у продовженні наукових результатів науковців Одеської державної академії будівництва та архітектури в виробничій практиці та розробці проекту ДСТУ «Бетон суднобудівний».

Проректор з НР ОДАБА

 д.т.н., С.О.Кровяков

Директор ЦНТТМ по АБ, зав.каф. ОДАБА
проф. А.В.Мішутін

Директор ХДЗ «Паллада»

 В.Ф.Маломан

Зав. лабораторією ХДЗ «Паллада»
Т.І.Сухіна

ПрАТ «Івано-Франківськцемент»
Івано-Франківська обл., Тисменицький р-н,
с. Ямниця, 77422
www.ifcem.if.ua office@ifcem.if.ua
тел. +380342 583712, факс +380342 583764



Акт
про впровадження наукових досліджень
у Приватному акціонерному товаристві «Івано-Франківськцемент»

Цей акт підтверджує, що результати наукових досліджень аспірантки Одеської державної академії будівництва та архітектури Дудник Лідія Вікторівна, виконані під керівництвом д.т.н. доц. Кровякова Сергія Олексійовича в рамках дисертаційної роботи за темою «Бетони підвищеної довговічності на різних типах заповнювачів для конструкцій транспортних споруд» та гос. договірною дослідження за темою «Дослідження міцності, водопоглинання, морозостійкості, водонепроникності та корозійної стійкості бетонів на основі сульфатостійкого портландцементу ССПЦ400-Д0 і портландцементу ПЦ-П/А-П-500 Р-Н виробництва ПрАТ «ІВАНО-ФРАНКІВСЬКЦЕМЕНТ»» (договір №4444 від 19.06.18 р.) впровадженні у ПрАТ «Івано-Франківськцемент» та використовуються при виробництві сульфатостійкого портландцементу і цементів з пуцоланом. Дані види цементів призначені, зокрема, для виробництва бетонів, що експлуатуються в умовах агресивної дії сульфатів.

Акт не має фінансової складової і засвідчує використання результатів наукових досліджень.

Директор з виробництва
ПрАТ «Івано-Франківськцемент»

Маковійчук М.В.



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ОДЕСЬКА ДЕРЖАВНА АКАДЕМІЯ
БУДІВНИЦТВА ТА АРХІТЕКТУРИ

вул. Дідріхсона, 4, м. Одеса, 65029, тел./факс: (048) 723-69-04, тел. (048) 723-43-53,
E-mail: list@ogasa.org.ua, веб-сайт: www.ogasa.org.ua, код ЄДРПОУ 02071033

08.05.2020 № 45-455

Г

Г

На № _____ від _____

Довідка

про впровадження результатів наукових досліджень

Результати досліджень, викладені в дисертаційній роботі Дудник Лідія Вікторівна на здобуття наукового ступеня доктора філософії за темою «Керамзитобетони для тонкостінних конструкцій морських гідротехнічних споруд» (науковий керівник – д.т.н., доц. Кровяков С.О.), впроваджені в навчальний процес в Одеській академії будівництва та архітектури. Вони використовуються:

- в курсі лекцій навчальної дисципліни «Бетони підвищеної довговічності для конструкцій гідротехнічних і транспортних споруд», яка викладається при підготовці третього рівня вищої освіти (доктор філософії) зі спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія».

- при підготовці дипломних робіт магістрів за спеціальностям 194 «Гідротехнічне будівництво, водна інженерія та водні технології» та 192 «Будівництво та цивільна інженерія».

Проректор з НІР, д.т.н., проф.



Ю.Крутий