

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 забезпечені 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 П/А-П-500 Р-Н, сульфатостійкому пуцолановому цементі СЕМ IV/А(Р) 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 П/А-П-500 Р-Н (вміст пуцолани 8%). Встановлено, що важкі бетони на портландцементі 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. 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 П/А-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-H 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-П-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-П-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 Ш/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.