УДК 691.327.32 DOI: 10.31650/2415-377X-2020-78-89-96

МОДИФІКОВАНІ КЕРАМЗИТОБЕТОНИ ЗАБЕЗПЕЧЕНОЇ ДОВГОВІЧНОСТІ ДЛЯ ТОНКОСТІННИХ КОНСТРУКЦІЙ МОРСЬКИХ ГІДРОТЕХНІЧНИХ СПОРУД

[1]**Дудник Л.В.**, аспірант,
dydnli@i.ua, ORCID: 0000-0002-9969-8941
[1]**Кровяков С.О.,** д.т.н., доцент,
skrovyakov@ukr.net, ORCID: 0000-0002-0800-0123
[1]**Мішутін А.В.**, д.т.н., професор,
mishutin52@ukr.net, ORCID: 0000-0001-9512-6084
[1]*Одеська державна академія будівництва та архітектури*
вул. Дідріхсона, 4, м. Одеса, 65029, Україна

Анотація. Проаналізовано міцність, середню густину та водонепроникність керамзитобетонів з різними типами пісків (кварцовим, керамзитовим, гранульованим піносклом) та на основі трьох видів цементів: сульфатостійкого портландцементу ССПЦ 400-Д0, портландцементу ПЦ II/А-П-500 Р-Н та сульфатостійкого пуцоланового цементу CEM IV/A(P) 42,5 R-SR. Встановлено, що модифіковані керамзитобетони на основі ССПЦ 400-Д0 мають водонепроникність до W12 та морозостійкість не нижче F400, що забезпечує їх високу довговічність в типових умовах експлуатації морських гідротехнічних споруд. При забезпеченні високої водонепроникності керамзитобетону можливо застосування в його складі портландцементу ПЦ II/А-П-500 Р-Н. Для зниження середньої густини керамзитобетону без погіршення довговічності можливо застосування гранульованого піноскла в якості частини дрібного заповнювача.

Ключові слова: тонкостінна споруда, керамзитобетон, піноскло, довговічність, водонепроникність, сульфатостійкість, пуцолан.

Вступ. 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. 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 середині споруди. Україна є однією з нечисленних країн, в яких розвинуто залізобетонне суднобудування. Крім того, значна частина конструкцій морських гідротехнічних споруд в нашій країні має значну ступінь зносу та потребує заміни або відновлення. Відповідно задача отримання легких бетонів забезпеченої довговічності для тонкостінних конструкцій морських гідротехнічних споруд є актуальною. Ця задача має вирішуватися з врахуванням наявної вітчизняної сировинної бази, включаючи фактично доступні на ринку цементи.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Залізобетон є ефективним матеріалом для великогабаритних плавучих споруд, зокрема для доків, домів, причалів, офшорних споруд [1, 2]. Проводити ремонт великогабаритних плавучих споруд в доках складно, а в деяких випадках неможливо. Проте такі споруди не вимагають частого переміщення, відповідно застосування суднобудівного бетону в якості матеріалу конструкцій плавучих залізобетонних споруд економічно вигідно завдяки його високій в порівнянні зі сталлю довговічністю.

Розрізняються важкі суднобудівні бетони на основі щебеню і легкі – на пористих заповнювачах, переважно керамзитобетони [3]. При використанні легких суднобудівних бетонів підвищується вантажопідйомність плавучих гідротехнічних споруд, що важливо, зокрема, для плавучих доків. Також позитивним ефектом є те, що у внутрішніх приміщеннях споруди при використанні легкого бетону покращуються температурні та вологісні умови.

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 пористий пісок для додаткового зниження середньої густини матеріалу [1, 4]. 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, також є науковий і практичний досвід використання керамзитового піску [5]. Для тонкостінних конструкцій гідротехнічних споруд, які працюють під дією постійного гідростатичного тиску, ефективність використання пористого керамзитового піску для легких бетонів вимагає додаткових досліджень. Проте в останні роки на будівельному ринку з'явився пористий заповнювач, який характеризується практично повністю закритою пористістю при низькій середній густині – гранульоване піноскло [6].

Довговічність бетонів тонкостінних конструкцій гідротехнічних споруд забезпечується їх водонепроникністю і морозостійкістю [3]. Також обов'язковою умовою довговічності даних бетонів є сульфатостійкість, яка обумовлюється насамперед типом в'яжучого. Але на сучасному будівельному ринку України існує певний дефіцит бездобавочного сульфатостійкого цементу. Технологічні особливості його виробництва при непостійному попиті на в'яжуче обумовлюють певні незручності для замовників цього цементу. Основними це є необхідність попереднього замовлення на виготовлення партії бездобавочного сульфатостійкого цементу та обмеження щодо мінімального розміру партії.

Описана вище проблема може бути вирішена за рахунок використання альтернативного цементу, виробництво якого в масовій кількості є технологічно простішім, при цьому дане в'яжуче зможе забезпечити необхідний для більшості конструкцій рівень корозійної стійкості, морозостійкості та водонепроникності бетону. Як показують дослідження багатьох вчених, в якості такої альтернативи сульфатостійкому портландцементу можуть виступати цементи з пуцоланом, бетони з добавкою якого характеризуються високою сульфатостійкістю та задовільною морозостійкістю [7, 8].

Таким чином, актуальним є завдання отримання керамзитобетонів з забезпеченою довговічністю для тонкостінних конструкцій морських гідротехнічних споруд, при цьому з можливістю використання для даних бетонів пористих пісків і недефіцитних типів в'яжучого.

Мета роботи. Отримання модифікованих керамзитобетонів з забезпеченою довговічністю для тонкостінних конструкцій морських гідротехнічних споруд, зокрема плавучих залізобетонних, за рахунок застосування різних типів пісків, сульфатостійкого цементу і цементів з пуцоланом.

Об'єкти та методи дослідження. В дослідженнях використовувався керамзитовий гравій фракції 5-10 мм з насипною густиною 500 кг/м^3. У якості суперпластифікатору використовувалася добавка полікарбоксилатного типу Coral ExpertSuid 5 у кількості 0,8% від маси цементу. В якості дрібного заповнювача використовувалися п'ять різних типів пісків, отриманих за рахунок змішування розсіяних по фракціям заповнювачів [9]:

– кварцовий пісок з співвідношенням фракцій (в мм): 2,5-5 – 15%; 1,25-2,5, 0,63-1,25 та 0,315-0,63 – по 25%; 0,16-0,315 – 10%. Насипна густина даного піску 1580 кг/м^3;

– пісок, в якому 50% об'єму крупних фракцій (1,25-2,5 мм і 2,5-5 мм) замінена керамзитовим піском відповідних фракцій. Насипна густина даного піску 1430 кг/м^3;

– пісок, в якому 100% об'єму крупних фракцій була замінена керамзитовим піском відповідних фракцій. Насипна густина даного піску 1290 кг/м^3;

– пісок, в якому 50% об'єму крупних фракцій (1,25-2,5 мм і 2,5-5 мм) замінена гранульованим піносклом відповідних фракцій (піноскло виробництва НВП «Технологія», м. Шостка). Насипна густина даного піску 1330 кг/м^3;

– пісок, в якому 100% об'єму крупних фракцій була замінена гранульованим піносклом відповідних фракцій. Насипна густина даного піску 1080 кг/м^3.

Використовувалися такі цементи виробництва ПАТ «Івано-Франківськцемент»:

– сульфатостійкий портландцемент ССПЦ 400-Д0 (CEM I 32.5 R/SR);

– портландцемент ПЦ II/А-П-500 Р-Н, який містить 8% пуцолани (CEM II/A-P 42.5 R);

– сульфатостійкий пуцолановий цемент CEM IV/A(P) 42,5 R-SR (аналог ПЦЦ IV/А-500 Р).

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'яжучого і керамзитового гравію на 1 м^3 матеріалу) кількість піску корегувалася в залежності від кількості води у складі. Всі суміші мали рівну рухомість Р5, ОК складала від 20 до 24 см.

Результати досліджень. Визначені показники В/Ц суміші, міцності, водонепроникності та середньої густини досліджених модифікованих суперпластифікатором керамзитобетонів на різних типах пісків і різних цементах наведені в таблиці 1.

Таблиця 1 – Фізико-механічні властивості керамзитобетонів на різних типах пісків і різних цементах

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

В/Ц сумішей залежало від їх складу. Аналіз наведених у таблиці 1 даних показує, що керамзитобетони на основі сульфатостійкого пуцоланового цементу CEM IV/A(P) 42,5 R-SR мали найбільший рівень В/Ц, що обумовлено підвищеною водопотребою в'яжучого внаслідок найбільшої кількості пуцолани у його складі – 21%.

Рівень В/Ц сумішей впливав на міцність досліджених керамзитобетонів, відповідно керамзитобетони на основі сульфатостійкого пуцоланового цементу характеризувалися меншою міцністю в порівнянні з бетонами на основі цементів ССПЦ 400-Д0 і ПЦ II/А-П-500 Р-Н при

аналогічній кількості пористого піску (рис. 1). 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 при стиску знижується на 1,6-2 МПа (6..8%). При використанні піноскла заміна 100% крупних фракцій піску викликає зниження міцності при стиску на 7,5-8,6 МПа, тобто на 28..31%.

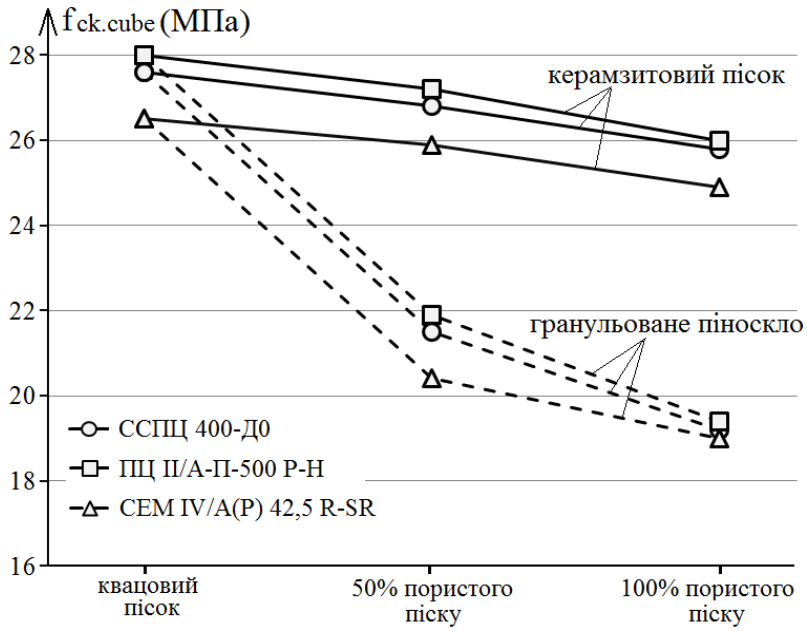

Рис. 1. Вплив типу цементу, виду і кількості пористих зерен у піску на міцність при стиску керамзитобетонів

Основною метою використання пористих пісків є зниження середньої густини керамзитобетону. Як показано на рис. 2, за рахунок використання піноскла (100% від об'єму крупних фракцій піску) як більш легкого і непроникного для вологи заповнювача середня густина досліджених керамзитобетонів знижується більш, ніж на 200 кг/м^3 (13..14%). При використанні аналогічної кількості керамзитового піску середня густина керамзитобетонів знижується на 80..90 кг/м^3 (5..6%). Вид цементу менш впливає на середню густину керамзитобетонів, проте бетони на основі цементу CEM IV/A(P) 42,5 R-SR відрізнялися меншою густиною завдяки більшому В/Ц суміші, що впливає на пористість матеріалу.

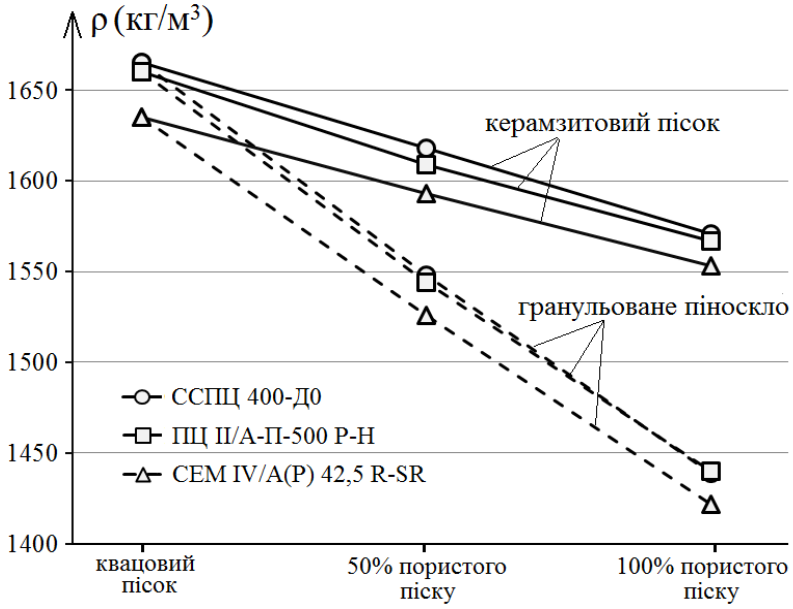

Рис.2. Вплив типу цементу, виду і кількості пористих зерен у піску на середню густину керамзитобетонів

Як зазначалося, сульфатостійкість цементного каменю є одною з основних умов довговічності бетонів конструкцій морських гідротехнічних споруд. Проведені раніше

дослідження показали, що найбільшу корозійну стійкість в сульфатному середовищі мають бетони на основі сульфатостійкого портландцементу ССПЦ 400-Д0 і сульфатостійкого пуцоланового цементу. При забезпеченні високої водонепроникності бетону його сульфатостійкість може бути забезпечена при використанні портландцементу з пуцоланом ПЦ II/А-П-500 Р-Н (вміст пуцолани у в'яжучому – 8%) [10].

Проведені дослідження показують (таблиця 1), що керамзитобетони на основі сульфатостійкого пуцоланового цементу CEM 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/А-П-500 Р-Н. Це пояснюється високою водопотребою пуцоланового цементу та відповідно високим В/Ц суміші. Підвищена витрата води замішування бетонної суміші сприятиме зниженню довговічності керамзитобетонів на основі сульфатостійкого пуцоланового цементу в конструкціях тонкостінних гідротехнічних споруд в порівнянні з керамзитобетонами на портландцементах ССПЦ 400-Д0 або ПЦ II/А-П-500 Р-Н.

Також результати досліджень свідчать про вплив на водонепроникність керамзитобетонів виду дрібного заповнювача. При використанні керамзитового піску в якості крупної фракції дрібного заповнювача водонепроникність керамзитобетонів знижується на одну-дві марки. Проте заміна крупної фракції керамзитового піску на гранульоване піноскло практично не впливає на водонепроникність легкого бетону. Слід відмітити, що часткова заміна кварцового піску на пористий (керамзитовій або гранульоване піноскло) практично не впливає на морозостійкість легких бетонів. Для всіх досліджених керамзитобетонів завдяки використанню суперпластифікатору морозостійкість була не нижче рівня F400, що забезпечує високу стійкість матеріалу під дією заморожування і відтавання, яка є типовою для морських споруд в кліматичних умовах України та багатьох інших країн.

Таким чином, модифіковані добавкою полікарбоксилатного типу керамзитобетони на сульфатостійкому портландцементі ССПЦ 400-Д0, а також на портландцементі з пуцоланом ПЦ II/А-П-500 Р-Н забезпечують достатню довговічність для більшості тонкостінних конструкцій морських гідротехнічних споруд, зокрема плавучих залізобетонних. При необхідності додаткового зниження середньої густини керамзитобетону в конструкціях з меншими вимогами щодо міцності матеріалу можливо застосування гранульованого піноскла в якості частини дрібного заповнювача.

Висновки та перспективи подальших досліджень. Керамзитобетон є ефективним матеріалом для тонкостінних конструкцій морських гідротехнічних споруд, зокрема плавучих залізобетонних. Довговічність бетонів даних конструкцій визначається комплексом показників, основними з яких є корозійна стійкість в сульфатному середовищі, водонепроникність і морозостійкість. Проведені дослідження показали, що модифіковані суперпластифікатором полікарбоксилатного типу керамзитобетони на основі сульфатостійкого портландцементу ССПЦ 400-Д0 мають високий рівень зазначених показників якості, що забезпечує довговічність легких бетонів в типових умовах експлуатації морських гідротехнічних споруд. В якості альтернативного в'яжучого для бетонів морських споруд при забезпеченні їх високої водонепроникності можливо застосування портландцементу з пуцоланом ПЦ II/А-П-500 Р-Н. В конструкціях з менш високими вимогами щодо міцності матеріалу для зниження середньої густини керамзитобетону при забезпеченні його довговічності можливо застосування гранульованого піноскла в якості частини дрібного заповнювача.

У подальшій перспективі передбачені дослідження бетонів на основі сульфатостійкого пуцоланового цементу з використанням різних типів суперпластифікаторів з метою максимального зниження негативного ефекту підвищеної водопотреби в'яжучого, що дасть змогу використовувати пуцолановий цемент в конструкціях морських гідротехнічних споруд з високими вимогами щодо водонепроникності та морозостійкості.

Література

1. Liu-17. Liu G., Li H. Offshore platform integration and floatover technology. Science press, Beijing, China, 2017. 280 p.

2. Fernández, R.P. Pardob, M.L. Offshore concrete structures. *Ocean Engineering*. 2013. Vol. 58. pp. 304-316.

3. Mishutn A., Kroviakov S., Pishev O., Soldo B. Modified expanded clay light weight concretes for thin-walled reinforced concrete floating structures. *Tehnički glasnik - Technical Journal*, 2017. Vol. 11. № 3. pp.121-124.

4. Landbo T., Holm E.B., Ludescher H. MPU Heavy Lifter – a lightweight concrete vessel for heavy offshore lifting operations. *Tailor Made Concrete Structures: New Solutions for our Society*. Walraven & Stoelhorst (eds). London: Taylor & Francis Group, 2008. pp. 925–929.

5. Иванов И.А. Легкие бетоны на искусственных пористых заполнителях. М.: Стройиздат, 1993. 182 с.

6. Семейных Н.С., Сопегин Г.В., Федосеев А.В. Оценка физико-механических свойств пористых заполнителей для легких бетонов. *Вестник МГСУ*. 2018. Том 13. Вып. 2. С. 203-212. doi: 10.22227/1997-0935.2018.2.203-212

7. 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. pp. 349-360.

8. 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. pp. 25-34.

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

10. 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. №.19. pp. 81-86.

References

[1] Liu-17, G. Liu, H. Li, *Offshore platform integration and floatover technology*. Science press, Beijing, China, 2017.

[2] R.P. Fernández, M.L. Pardob, "Offshore concrete structures", *Ocean Engineering*, vol. 58, pp. 304-316, 2013.

[3] A. Mishutn, S. Kroviakov, O. Pishev, B. Soldo, "Modified expanded clay light weight concretes for thin-walled reinforced concrete floating structures", *Tehnički glasnik - Technical Journal*, vol. 11, no. 3, pp.121-124, 2017.

[4] T. Landbo, E.B. Holm, H. Ludescher, "MPU Heavy Lifter – a lightweight concrete vessel for heavy offshore lifting operations", *Tailor Made Concrete Structures: New Solutions for our Society*, Walraven & Stoelhorst (eds). London: Taylor & Francis Group, pp. 925–929, 2008.

[5] I.A. Ivanov, *Legkiye betony na iskusstvennykh poristykh zapolnitelyakh*. M.: Stroyizdat, 1993.

[6] N.S. Semeynykh, G.V. Sopegin, A.V. Fedoseyev, "Otsenka fiziko-mekhanicheskikh svoystv poristykh zapolniteley dlya legkikh betonov", *Vestnik MGSU*, no. 13, vol. 2, pp. 203-212, 2018. doi: 10.22227/1997-0935.2018.2.203-212.

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

[8] D. Fodil, M. Mohamed, "Compressive strength and corrosion evaluation of concretes containing pozzolana and perlite immersed in aggressive environments", *Construction and Building Materials*, vol. 179, pp. 25-34, 2018.

[9] S.O. Krovyakov, L.V. Dudnyk, "Porivnyannya vlastyvostey modyfikovanykh keramzytobetoniv z riznymy typamy piskiv", *Resursoekonomni materialy, konstruktsiyi, budivli ta sporudy*, Rivne: NUVHP, no. 35. pp.18-25, 2018.

[10] S. Kroviakov, M. Zavoloka, L. Dudnik, V. Kryzhanovskyi, "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*, no.19, pp. 81-86, 2019.

МОДИФИЦИРОВАННЫЕ КЕРАМЗИТОБЕТОНЫ ОБЕСПЕЧЕННОЙ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ДЛЯ ТОНКОСТЕННЫХ КОНСТРУКЦИЙ МОРСКИХ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ

[1]**Дудник Л.В.**, аспирант,
dydnli@i.ua, ORCID: 0000-0002-9969-8941
[1]**Кровяков С.А.,** д.т.н., доцент,
skrovyakov@ukr.net, ORCID: 0000-0002-0800-0123
[1]**Мишутин А.В.**, д.т.н., профессор**,**
mishutin52@ukr.net, ORCID: 0000-0001-9512-6084
[1]*Одесская государственная академия строительства и архитектуры*
ул. Дидрихсона, 4, г. Одесса, 65029, Украина

Аннотация. Мировой опыт показывает, что керамзитобетоны являются эффективными материалами для тонкостенных плавучих железобетонных сооружений, поскольку бетон более долговечен в морской воде, чем сталь. Проведение ремонтов крупногабаритных плавучих сооружений в доках весьма затруднительно, а во многих случаях в принципе невозможно. Соответственно задача обеспечения долговечности керамзитобетонов тонкостенных конструкций морских гидротехнических сооружений является актуальной.

Исследовались керамзитобетоны на трех типах цемента: сульфатостойком портландцементе ССПЦ 400-Д0, портландцементе ПЦ II/А-П-500 Р-Н и сульфатостойком пуццолановом цементе CEM IV/A(P) 42,5 R-SR. В данных керамзитобетонах часть кварцевого песка замялась керамзитовым песком или гранулированным пеностеклом. В составе всех бетонов применялся поликарбоксилатный пластификатор Coral ExpertSuid 5. Все бетонные смеси имели подвижность Р5. Установлено, что наибольшее В/Ц имели смеси на основе сульфатостойкого пуццоланового цемента CEM IV/A(P) 42,5 R-SR. В/Ц смесей существенно увеличивалось при использовании керамзитового песка, при этом введение гранулированного пеностекла не существенно влияло на В/Ц. При замене крупных фракций песка на гранулированное пеностекло средняя плотность керамзитобетонов снижалась более чем на 200 кг/м^3. При использовании аналогичного количества керамзитового песка средняя плотность керамзитобетонов снижалась на 80-90 кг/м^3. Керамзитобетоны с гранулированным пеностеклом имели прочность при сжатии 19..19,5 МПа, с керамзитовым песком – 25..26 МПа. Все исследованные легкие бетоны имели морозостойкость не ниже F400. Водонепроницаемость керамзитобетонов на основе кварцевого песка и гранулированного пеностекла составляла W8..W14, для бетонов с керамзитовым песком – W6..W8. Водонепроницаемость бетонов на основе сульфатостойкого пуццоланового цемента CEM IV/A(P) 42,5 R-SR была на одну или две марки ниже, чем бетонов на сульфатостойком портландцементе ССПЦ 400-Д0 и портландцементе ПЦ II/А-П-500 Р-Н.

Таким образом, модифицированные суперпластификатором керамзитобетоны на основе сульфатостойкого портландцемента ССПЦ 400-Д0 имеют высокую коррозионную стойкость в морской воде, морозостойкость и водонепроницаемость. Такой уровень свойств обеспечивает долговечность керамзитобетонов в типичных условиях эксплуатации морских гидротехнических сооружений. В качестве альтернативного вяжущего для бетона морских сооружений возможно применение портландцемента с пуццоланом ПЦ II/А-П-500 Р-Н. В конструкциях с меньшими требованиями по прочности возможно применение гранулированного пеностекла в качестве

части мелкого заполнителя, что позволяет дополнительно снизить среднюю плотность керамзитобетона.

Ключевые слова: тонкостенное сооружение, керамзитобетон, пеностекло, долговечность, водонепроницаемость, сульфатостойкость, пуццолан.

EXPANDED CLAY LIGHTWEIGHT CONCRETES WITH SECURED DURABILITY FOR THIN-WALLED CONSTRUCTIONS OF MARINE HYDRAULIC STRUCTURES

[1]**Dudnik L.V.,** graduate student,
dydnli@i.ua, ORCID: 0000-0002-9969-8941
[1]**Kroviakov S.O.,** Doctor of Engineering, Assistant Professor,
skrovyakov@ukr.net, ORCID: 0000-0002-0800-0123
[1]**Mishutin A.V.,** Doctor of Engineering, Professor,
mishutin52@ukr.net, ORCID: 0000-0001-9512-6084
[1]*Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture*
4, Didrikhson street, Odessa, 65029, Ukraine

Abstract. Expanded clay lightweight concrete is an effective material for thin-walled floating reinforced concrete structures. Concrete is more durable in seawater than steel. Repair of large floating structures is very difficult or even impossible. Accordingly, the task of ensuring the durability of expanded clay lightweight concrete is urgent for thin-walled constructions of marine hydraulic structures.

Lightweight concretes on three types of cement were researched: sulfate-resistant Portland cement CEM I 32.5 R/SR, Portland cement CEM II/A-P 42.5 R, sulfate-resistant pozzolanic cement CEM IV/A(P) 42.5 R-SR. In expanded clay lightweight concrete, part of the quartz sand was crumpled with expanded clay sand or granular foam glass. Coral ExpertSuid 5 polycarboxylate plasticizer was used in all concretes. All concrete mixtures had P5 mobility.

It was found that concrete mixtures based on sulfate-resistant pozzolanic cement CEM IV/A(P) 42.5 R-SR have the highest W/C. The W/C of the mixture increases significantly when using expanded clay sand. Granular foam glass does not significantly affect the W/C of mixture. The average density of expanded clay lightweight concrete decreases by more than 200 kg/m^3 when replacing large fractions of quartz sand to granular foam glass. When using a similar amount of expanded clay sand, the average density of expanded clay lightweight concrete is reduced by 80-90 kg/m^3.

Expanded clay lightweight concretes with granular foam glass have a compressive strength of 19-19.5 MPa. The strength of expanded clay lightweight concretes with expanded clay sand is 25-26 MPa. All researched lightweight concretes have high frost resistance. Expanded clay lightweight concretes based on quartz sand and granular foam glass have water tightness W8-W14. Expanded clay lightweight concretes on expanded clay sand have water tightness W6-W8. Lightweight concretes based on sulfate-resistant pozzolanic CEM IV/A(P) 42,5 R- SR have a water tightness of one or two grades lower than concrete on sulfate-resistant portland cement CEM I 32.5 R/SR and Portland cement CEM II/A-P 42.5 R.

Thus, expanded clay lightweight concretes modified with a superplasticizer based on sulfate-resistant Portland cement CEM I 32.5 R/SR have high corrosion resistance in sea water, high frost resistance and water tightness. This level of properties ensures the durability of expanded clay lightweight concrete in typical operating conditions of marine hydraulic structures. As an alternative cement, it is possible to use Portland cement with pozzolan CEM II/A-P 42.5 R. In constructions with lower strength requirements, granular foam glass can be used as part of a fine aggregate. Light sand reduces the average density of expanded clay lightweight concrete.

Keywords: thin-walled structure, expanded clay lightweight concrete, foam glass, durability, water tightness, sulfate resistance, pozzolan.

Стаття надійшла до редакції 30.01.2020