

ВЛАСТИВОСТІ ЛЕГКИХ БЕТОНІВ НА РІЗНИХ ВИДАХ ПОРИСТИХ ЗАПОВНЮВАЧІВ

Мишутін А.В., д.т.н., професор

Кровяков С.О., к.т.н., доцент

Пищев О.В.,

Пищева Т.І., к.т.н., доцент

Заволока М.В., к.т.н., професор

Одеська державна академія будівництва та архітектури
skrovyakov@ukr.net

Анотація. Досліджені легкі бетони на різних видах пористих заповнювачів: керамзитні, зокрема на гідрофобізованому, та гранульованому піносклі. Встановлено, що бетони при використанні піноскла крупної фракції мають меншу міцність в порівнянні з керамзитобетонами. Використання піноскла дрібної фракції в якості частини піску дозволяє отримати керамзитобетони задовільної міцності при відчутно меншій щільності матеріалу. Керамзитобетони з легким піском з гранульованого піноскла можна рекомендувати у залізобетонному суднобудуванні та інших видах гідротехнічних і транспортних споруд.

Ключові слова: легкі бетони, заповнювачі, керамзит, гранульоване піноскло, гідрофобізація.

СВОЙСТВА ЛЕГКИХ БЕТОНОВ НА РАЗНЫХ ВИДАХ ПОРИСТЫХ ЗАПОЛНИТЕЛЕЙ

Мишутин А.В., д.т.н., профессор

Кровяков С.А., к.т.н., доцент

Пищев О.В.,

Пищева Т.И., к.т.н., доцент

Заволока М.В., к.т.н., профессор

Одесская государственная академия строительства и архитектуры
skrovyakov@ukr.net

Аннотация. Исследованы легкие бетоны на различных видах пористых заполнителей: керамзите, в частности гидрофобизированном, и гранулированном пеностекле. Установлено, что бетоны при использовании пеностекла крупной фракции имеют меньшую прочность по сравнению с керамзитобетонами. Использование пеностекла мелкой фракции в качестве части песка позволяет получить керамзитобетоны достаточной прочности при ощутимо меньшей плотности материала. Керамзитобетоны с легким песком из гранулированного пеностекла можно рекомендовать в железобетонном судостроении и других видах гидротехнических и транспортные сооружений.

Ключевые слова: легкие бетоны, заполнители, керамзит, гранулированное пеностекло, гидрофобизация.

PROPERTIES OF LIGHTWEIGHT CONCRETE ON DIFFERENT TYPES OF POROUS FILLERS

Mishutin A.V., Doctor of Engineering, Professor

Kroviakov S.O., PhD., Assistant Professor

Abstract. Lightweight concrete used in hydraulic engineering and concrete shipbuilding. Construction of expanded clay concrete have excellent durability in shipbuilding. New types of lightweight aggregate has recently emerged, such as granulated foamed glass.

Lightweight concrete were investigated. Various types of porous fillers were used: expanded clay, expanded clay hydrophobized, granulated foamed glass. Silicone fluid GkJ is used for hydrophobization. All concrete to apply the same amount of cement (500 kg/m^3) and the same volume of fillers. It was found that concrete with large foam glass have a lower strength than expanded clay concrete. Expanded clay concrete comprising sand granulated foam glass in the dry state has a strength of 27 MPa and an average density of 1520 kg/m^3 . Expanded clay concrete has a wet strength of 25 MPa and an average density of 1600 kg/m^3 . Expanded clay concrete gravel with hydrophobized more effective in water. What concrete has a density in water less than 1500 kg/m^3 and more than 23 MPa strength. Expanded clay concrete with a light sand granulated foamed glass can be used in reinforced concrete shipbuilding and other types of hydraulic and transport structures.

Keywords: lightweight concrete, fillers, expanded clay, granulated foamed glass, hydrophobisation.

Вступ. Згідно діючого ДСТУ Б В.2.7-18-95 «Бетони легкі. Загальні технічні умови» в залежності від типу пористих заповнювачів встановлюються такі види легких бетонів: керамзитобетон, керамзитоперлітобетон, керамзитозолобетон, шлакопемзобетон, шлакопемзоперлітобетон, шлакопемзозолобетон, перлітобетон, бетон на шлаковому гравію з перлітовим, зольним і шлаковим дрібним заповнювачем, шлакозобетон, зобетон, бетон на пористих вапняках, опокобетон і туфобетон. Також існують і регламентуються ДСТУ Б В.2.7-18-95 інші різновиди легких бетонів, на пористих заповнювачах для яких є стандарти або технічні умови.

Легкі бетони використовуються також і у гідротехнічному будівництві [1], зокрема в залізобетонному суднобудуванні [2]. Для конструкцій стоянкових залізобетонних суден (доків, причалів, дебаркадерів, домів) в якості конструктивного матеріалу використовується високоміцний керамзитобетон і важкий бетон, але частина конструкцій з важкого бетону переважає. Розвиток технологій дозволяє підвищити ефективність використання легких суднобудівних бетонів завдяки сучасним модифікаторам і ефективним заповнювачам [3]. Тобто задача дослідження властивостей бетонів на різних видах пористих заповнювачів, зокрема модифікованих, є актуальною.

Аналіз останніх досліджень. Як зазначається у роботі А.І. Іванова [4], бетони на легких заповнювачах мають високу водонепроникність якщо їх склад правильно запроєктовано. В основі цього ефекту лежить протидія структури просуванню вологи, породжена стиснутим повітрям у порах і капілярах заповнювача: чим глибше в товщу зерна проникає вода, тим сильніше протидія повітря. Таким чином, при певній глибині насичення, подальше проникнення води в зерно пористого заповнювача припиняється.

Керамзитобетонні судна будуються і успішно експлуатуються вже майже сто років в багатьох країнах світу. Є досвід будівництва керамзитобетонних плавучих доків і в Україні на заводі залізобетонного суднобудування «Паллада» [5]. Обстеження багатьох плавучих споруд з легких бетонів показали довговічність їх конструкцій при експлуатації в різних, зокрема, суворих умовах [2,6].

Основними видами заповнювачів для легких суднобудівних бетонів на сьогодні є керамзитовий гравій і кварцовий пісок. Є позитивний досвід використання

гідрофобізованого керамзиту, бетони на якому мають підвищену водонепроникність [7]. Проте відсутні дані про дослідження бетонів для гідротехнічного будівництва з піносклом, яке є ефективним штучним пористим матеріалом. Піноскло отримують спіканням дрібно подрібненого скла і газотворювача при температурі 780..900°C [8]. В останні роки на ринку з'явилося гранульоване піноскло з гранулами сферичної або гексагональної форми розміром від часток міліметрів до приблизно 12 мм [9]. В якості сировини при виробництві піноскла використовуються відходи скляного виробництва, тобто паралельно вирішується питання утилізації склотари та битого скла.

Метою цього дослідження було порівняння властивостей і можливості застосування різних видів заповнювачів, як матеріалів для легких бетонів тонкостінних гідротехнічних споруд, зокрема плавучих.

Об'єкти і методи дослідження. Дослідження проводилися на легких бетонах з однаковою кількістю портландцементу марки 500 – 500 кг/м³, а також з однаковим об'ємом крупного пористого заповнювача – 660 л/м³. При цьому використовувалися гравій 3 видів:

- гранульоване піноскло виробництва НВП «Технологія», м. Шостка; насипна щільність гравію – 400 кг/м³;

- керамзит виробництва Одеського керамзитового заводу; насипна щільність гравію – 560 кг/м³;

- гідрофобізований керамзит виробництва Одеського керамзитового заводу; гідрофобізація здійснювалася методом короткочасного занурення у кремнійорганічну рідину ГКЖ-11к (виробник Запорізьке ДП «Кремнійполімер», ТУ 6-02-5-61-97); насипна щільність обробленого гравію – 560 кг/м³.

Розмір крупного заповнювача був обмежений фракцією 4..8 мм. Це було зроблено у зв'язку з тим, що саме така фракція гранульованого піноскла є однією зі «стандартних» на ринку України. Відповідно методом розсіву була створена аналогічна фракція керамзитового гравію для більш коректного порівняння матеріалів.

Для всіх трьох варіантів гравію у досліджених бетонах на пористих заповнювачах використовувався дрібний заповнювач двох типів. Це або чистий кварцовий пісок з $M_{кр}=2.4$ (690 кг/м³), або суміш піску з гранульованим піносклом фракції 1-4 мм (230 л/м³ або 92 кг/м³) і кварцового піску (325 кг/м³). Загальний об'єм «розчинної» частини в обох випадках був однаковим, тобто порівнювались бетони на різних за щільністю варіантах пісків. У всіх складах легких бетонів застосовувалася добавка С-3 (СП-1) в кількості 0.8% від маси цементу (4 кг/м³). Таким чином, було досліджено 6 варіантів складів легких бетонів, які наведені у табл.1.

Таблиця 1 – Склади досліджених легких бетонів

№	Цемент	Гравій		Пісок	С-3	Вода
1	500 кг/м ³	690 л/м ³	гранульоване піноскло	кварцовий 690 кг/м ³	4 кг/м ³	178 л
2				піноскло 230 л/м ³ кварцовий 325 кг/м ³		171 л
3			керамзит	кварцовий 690 кг/м ³		187 л
4				піноскло 230 л/м ³ кварцовий 325 кг/м ³		174 л
5			гідрофобізований керамзит	кварцовий 690 кг/м ³		152 л
6				піноскло 230 л/м ³ кварцовий 325 кг/м ³		147 л

Результати досліджень. В/Ц відношення сумішей та фізико-механічні властивості легких бетонів у віці 28 діб, визначені в дослідженнях, наведені у табл.2.

Всі легкобетонні суміші мали рівну рухомість ОК=6...8 см, тобто їх В/Ц залежало від виду заповнювачів. На рис.1 показано діаграму, яка відображає вплив складу бетону на

легкому заповнювачі на В/Ц. Можна зробити висновок, що при заміні частини кварцового піску на легке гранульоване піноскло фракції 1-4 мм водопотреба та, відповідно, В/Ц сумішей відчутно знижується. Цей ефект пояснюється більшою крупністю цього піску у порівнянні з кварцовим і округлою формою його зерен. Суміші на керамзиті (№3 і №4), природно, мали найбільше значення В/Ц завдяки водопоглинанню пористого гравію. Суміші на гравії з гранульованого піноскла (№1 і №2) мають менше В/Ц, яке є середнім для 6-ти досліджених складів, тому що гранули піноскла не поглинають воду, проте і не є гідрофобними. Найнижче В/Ц мали суміші з гідрофобізованим керамзитовим гравієм.

Таблиця 2 – Фізико-механічні властивості досліджених легких бетонів

№	В/Ц	Міцність на стиск (МПа)		Міцність на розтяг при згині (МПа)	Середня щільність (кг/м ³)	
		у повітряно-сухому стані	у водонасиченому стані		у повітряно-сухому стані	у водонасиченому стані
1	0,355	12,3	11,4	4,73	1530	1590
2	0,341	10,4	9,8	3,51	1260	1310
3	0,373	32,6	30,2	5,52	1780	1880
4	0,347	27,1	25,3	4,57	1520	1600
5	0,304	29,3	28,1	5,38	1720	1770
6	0,293	24,1	23,2	4,29	1450	1480

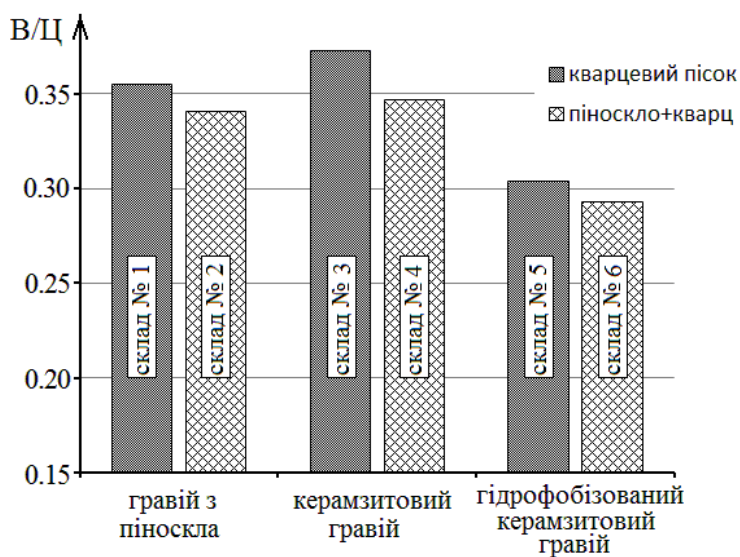


Рис. 1. В/Ц легкобетонних сумішей рівної рухомості

На рис.2 показана діаграма, яка відображає рівень міцності при стиску досліджених легких бетонів. Міцність визначалася у віці 28 діб як при рівноважній вологості (у повітряно-сухому стані), так і після 7-ми діб експонування у воді, тобто у водонасиченому стані.

Аналіз показаних на рис.2 діаграм дозволяє сказати, що бетони на основі гранульованого піноскла в якості крупного гравію показують найменшу міцність серед всіх досліджених, що можна пояснити порівняно низькою міцністю цього легкого заповнювача. Бетони на керамзиті мають значно більшу міцність на стиск. Характерно, що керамзитобетони на гідрофобізованому гравії мають трохи меншу міцність, ніж склади на необробленому гравії. Ця різниця складає приблизно 3 МПа у сухому стані і 2 МПа – у водонасиченому. Даний ефект можна пояснити гіршою адгезією гідрофобізованого заповнювача до розчинної складової бетону. Тобто необхідно обирати оптимальну ступінь гідрофобізації пористого гравію, яка, з одного боку, буде сприяти зниженню В/Ц суміші, з іншого боку, не буде критично знижувати адгезію між компонентами у структурі. Проте у

водонасиченому стані гідрофобізований гравій працює краще завдяки меншому розм'якшенню, тобто такі бетони мають вищий коефіцієнт розм'якшення i , як показують наші попередні дослідження, значно вищу водонепроникність [10].

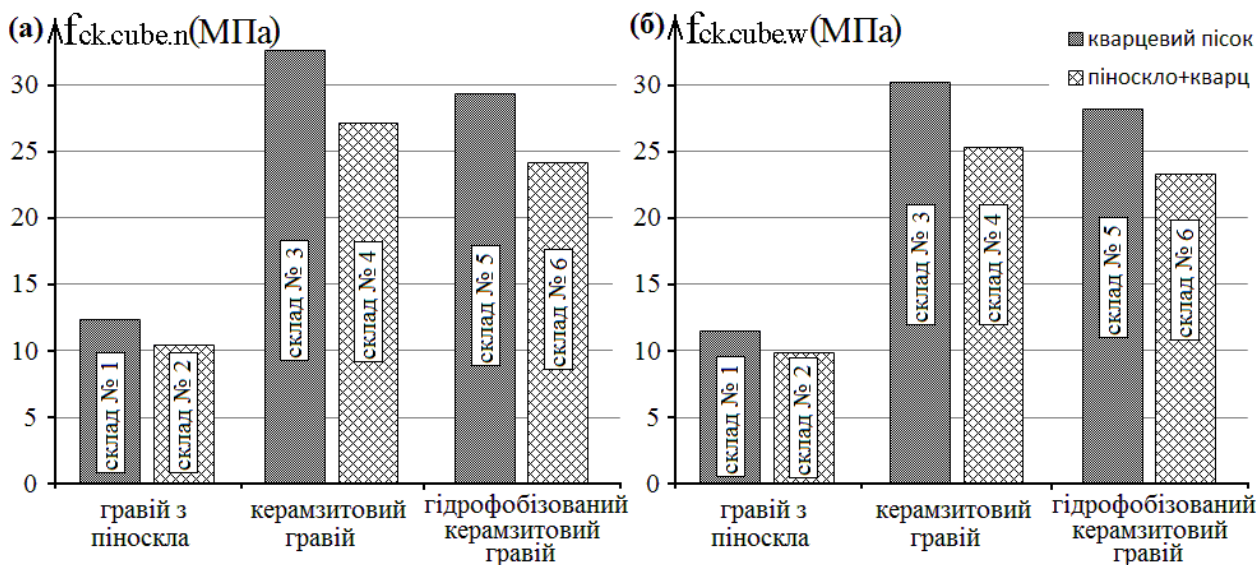


Рис.2. Міцність на стиск досліджених легких бетонів а) у повітряно-сухому стані, б) у водонасиченому стані

Заміна приблизно 53% обсягу кварцового піску на пісок з гранульованого піноскла фракції 1-4 мм викликає зниження міцності керамзитобетонів як у повітряно-сухому, так і у водонасиченому стані на 4..6 МПа, а бетонів на гравії з піноскла – приблизно на 2 МПа. Це пов'язано з меншою міцністю піноскла у порівнянні з кварцовим піском. Проте, як буде показано нижче, щільність бетону з піском з піноскла теж є відчутно нижчою. Той факт, що пісок з гранульованого піноскла в менший мірі впливає на міцність легкого бетону, ніж гравій з аналогічного піноскла, можна пояснити, по-перше, меншим вмістом компоненту, а по-друге, гранулометриєю заповнювача. Відомо, що вплив частинок заповнювача порівняно низької міцності на міцність композиту в цілому знижується по мірі зменшення середнього розміру даних частинок [11]. Тобто з врахуванням непроникності та корозійної стійкості піноскла, можна вважати перспективним дослідження легких бетонів з цим наповнювачем для тонкостінних гідротехнічних споруд, зокрема, для плавучих залізобетонних.

Рівень міцності на розтяг при згині досліджених легких бетонів у повітряно-сухому стані показано на рис.3.

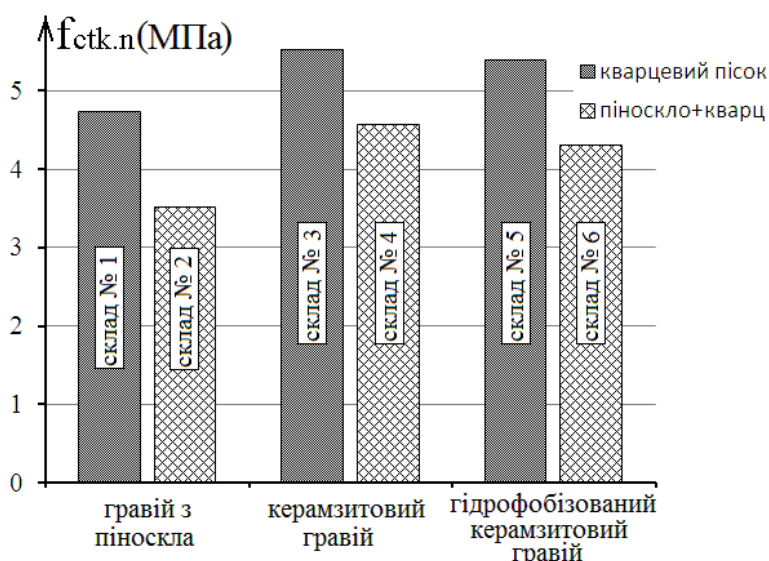


Рис.3. Міцність на розтяг при згині досліджених легких бетонів

Аналіз діаграми дозволяє сказати, що в цілому характер впливу виду заповнювача на міцність при згині схожий на вплив на міцність на стиск. Проте діапазон змін показника міцності при згині значно менший у порівнянні зі змінами міцності при стиску. Тобто гравій з гранульованого піноскла сприймає розтягуюче напруження порівняно краще. Або точніше буде сказати, що різниця між міцністю на стиск і на розтяг у бетонів з гравію на основі піноскла значно менша, ніж у керамзитобетонів.

Відомо, що для всіх легких бетонів одним з основних показників якості є середня щільність. Вважаючи на те, що в якості об'єктів для застосування бетонів на легких заповнювачах в даних дослідженнях передбачаються тонкостінні гідротехнічні споруди, значення щільності визначалося як у повітряно-сухому, так і у водонасиченому стані (рис.4). Природно найменшу щільність мають бетони на основі гравію з піноскла як найлегшого заповнювача. Керамзитобетони на гідрофобізованому заповнювачі у повітряно-сухому стані мають на 60-70 кг/м³ меншу щільність в порівнянні з «класичними» складами. Це пояснюється меншою гігроскопічною вологістю пористого заповнювача і меншим ступенем проникнення розчинної складової у структуру гравію. У водонасиченому стані різниця у щільності між керамзитобетонами на обробленому і необробленому гравії складає вже 110-120 кг/м³, тобто такі матеріали мають значні переваги для плавучих споруд, тому що дозволяють підвищити їх вантажопідйомність.

Заміна частини кварцового піску гранульованим піносклом знижує щільність всіх досліджених бетонів на 260-270 кг/м³ у повітряно-сухому стані та на 280-290 кг/м³ у водонасиченому. Тобто даний дрібний легкий заповнювач є одночасно легким і водонепроникним. Також важливо відмітити, що застосування даного піску дозволяє значно полегшити роботу з легкобетонною сумішшю завдяки майже повному усуненню її схильності до розшарування при вібрації. Таким чином, застосування піску з гранульованого піноскла в кількості, яка була прийнята у дослідженнях (53% обсягу) призводить до зниження середньої щільності та міцності приблизно рівних масштабів. Підтвердженням цього може бути розрахований умовний коефіцієнт міцності на 1 тис. кг/м³ щільності бетону, відповідно МПа/(1000 кг/м³). Для досліджених керамзитобетонів у повітряно-сухому стані він дорівнював від 16,6 до 18,3, а у водонасиченому стані взагалі був майже однаковим – від 15,7 до 16,1.

Також був проведений аналіз структури досліджених бетонів з використанням оптичної мікроскопії та цифрових фото (рис.5). Він показав, що керамзитобетони з піском зі гранульованого піноскла мають щільну структуру, однорідне розподілення компонентів і гарний рівень адгезії між зернами заповнювача і цементним каменем. Руйнування під критичним навантаженням відбувається переважно за рахунок розтріскування зерен піноскла, а не за рахунок їх відшарування від розчинної частини.

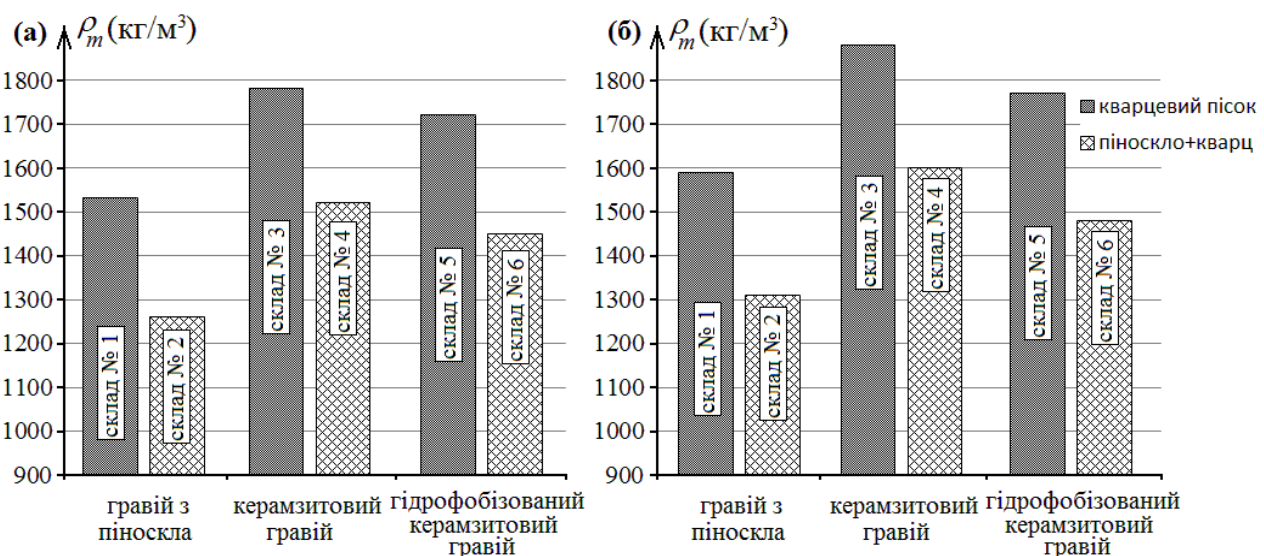


Рис.4. Середня щільність досліджених легких бетонів
а) у повітряно-сухому стані, б) у водонасиченому стані

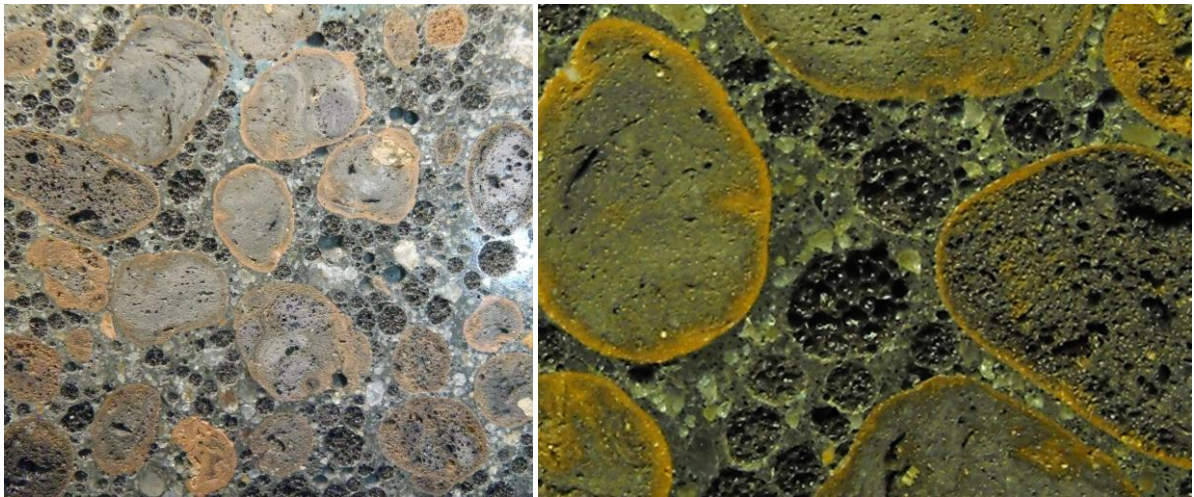


Рис.5. Фото прикладів структури (з різним масштабом) бетону на керамзитовому гравії з дрібним заповнювачем зі суміші гранульованого піноскла і кварцового піску

Висновки. Легкі бетони з заповнювачем з гранульованого піноскла мають перспективи використання у тонкостінних конструкціях гідротехнічних споруд. Зважаючи на необхідність забезпечення високої міцності бетону при зниженні його щільності та з економічних причин найбільш перспективними є керамзитобетони з дрібним заповнювачем, який включає певну частину піноскла. Можна зробити попередній висновок, що подібні матеріали можна рекомендувати у залізобетонному суднобудуванні та інших видах гідротехнічних і транспортних споруд.

Література

1. Chandra S. Lightweight aggregate concrete / Satish Chandra, Leif Berntsson. – Elsevier Science: 2008. – 450 p.
2. Мишутин А.В. Повышение долговечности бетонов морских железобетонных плавучих и стационарных сооружений / А.В. Мишутин, Н.В. Мишутин. – Одесса: Эвен, 2011. – 292 с.
3. Мішутін А.В. Досвід і перспективи застосування бетонів на легких заповнювачах для конструкцій тонкостінних гідротехнічних і транспортних споруд / А.В. Мішутін, С.О. Кровяков // Вісник ОДАБА. №61 – Одеса: Зовнішрекламсервіс 2016. – С.278 – 284.
4. Иванов И.А. Легкие бетоны на искусственных пористых заполнителях / И.А. Иванов. – М.: Стройиздат, 1993. – 182 с.
5. Офіційний сайт Херсонського державного заводу «Паллада»: [Електрон. ресурс] - Режим доступу: <http://www.pallada-doc.com>
6. Evaluation of lightweight concrete performance in 55 to 80 year old ships / [R.D. Sturm, N. Mc Askill, R.G. Burg, D.R. Morgan] – AC ISP 189-7 on High-performance concrete: Research to Practice, 1999. – P. 101-120.
7. Мішутін А.В. Модифіковані керамзитобетони для тонкостінних плавучих споруд / А.В. Мішутін А.В., В.Л. Богущкий В.Л., С.О. Кровяков. – Інформаційні процеси, технології та системи на транспорті, 2014, №2 – С. 104-110.
8. Демидович Б.К. Пеностекло / Б.К. Демидович. – Минск: Наука и техника, 1975. – 248 с.
9. Казанцева Л.К. Вспененные стеклокерамические теплоизоляционные материалы из природного сырья / Л.К. Казанцева, В.И. Верещагин, Г.И. Овчаренко – Строительные материалы, 2001, №4. – С. 33-34.
10. Кровяков С.О. Оптимізація складу суднобудівного керамзитобетону підвищеної довговічності / С.О. Кровяков, А.В. Мішутін, В.Л. Богущкий // Вісник ОДАБА. № 60 – Одеса: Optimum, 2015. – С.160 – 165.
11. Симонов М.З. Основы технологии легких бетонов / М.З. Симонов. – М.: Стройиздат, 1973. – 584 с.