

**ПОРІВНЯННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ МОДИФІКОВАНИХ
КЕРАМЗИТОБЕТОНІВ З РІЗНИМИ ТИПАМИ ПІСКІВ**

**COMPARISON OF THE PROPERTIES OF MODIFIED EXPANDED
CLAY LIGHTWEIGHT CONCRETE WITH VARIOUS TYPES OF
SANDS**

**Кривяков С.О., к.т.н., доц., ORCID 0000-0002-0800-0123,
Дудник Л.В., асп., ORCID 0000-0002-9969-8941 (Одеська державна
академія будівництва та архітектури)**

**Kroviakov S.O., PhD., assistant professor, ORCID 0000-0002-0800-0123,
Dudnik L.V., graduate student, ORCID 0000-0002-9969-8941 (Odessa state
academy of civil engineering and architecture)**

Досліджено міцність і середню густину модифікованих керамзитобетонів на різних типах пісків: кварцовому, керамзитовому і на піску з гранульованого піноскла. Всі суміші мали рівну рухомість П5. Показано, що конструкційні керамзитобетони на легкому піску є ефективними для тонкостінних конструкцій при необхідності зниження їхньої ваги.

The properties of expanded clay lightweight concrete on different types of sands were investigated. In the experiment, 50% and 100% of quartz sand in large fractions (1,25-2,5 mm and 2,5-5 mm) was replaced by light sand. Expanded clay sand and sand from granulated foam glass were used. The quartz sand had a packed density of 1580 kg/m³. Sand with 50% expanded clay granules in large fractions had a packed density of 1430 kg/m³, using 100% of expanded clay granules - 1290 kg/m³. Sand with 50% granular foam glass had a packed density of 1330 kg/m³, with 100% foam glass in large fractions – 1080 kg/m³. The amount of polycarboxylate plasticizer Coral ExpertSuid-5 also varied from 0,4 to 1% by weight to cement. All mixtures had equal concrete-mix consistency P5. It was found that when the amount of plasticizer is increased to 0.8% W/C mixtures wound mobility decreases. Further increase in the amount of the additive is ineffective. Lightweight concretes with an amount of plasticizer of 0,8% also have the highest strength.

The type of sand affects the compressive strength of expanded clay concrete more than the tensile strength. Expanded clay concrete with expanded clay sand has a 3-10% lower compressive strength compared to lightweight concrete on quartz sand. When using granular foam glass, the compressive

strength is reduced by 17-32%. The strength of lightweight concrete on stretching using expanded clay sand is reduced by 4-9%, and when using granulated foam glass it is reduced by 5-19%. The main purpose of using light sands in expanded clay concrete was to reduce the average density of the material. When the amount of plasticizer varies, the average density of expanded clay concrete is not significant. When using expanded clay sand in large fractions, the average density of lightweight concrete is reduced by 4-7%. Sand of granulated foam glass is easier. Accordingly, when using granulated foam glass, the average density of expanded clay concrete decreases by 7-14%, respectively. The average density of lightweight concrete with expanded clay sand does not exceed 1572 kg/m^3 , and with granulated foam glass sand it does not exceed 1440 kg/m^3 . Modified expanded clay lightweight concrete on light sands can be used in thin-walled structures, for which it is important to reduce weight while ensuring the necessary strength of the material. When providing the necessary watertightness and frost resistance, such concretes can be used in reinforced concrete shipbuilding.

Ключові слова:

Керамзитобетон, заповнювач, піноскло, пластифікатор, міцність, густина.
Expanded clay concrete, filler, foam glass, plasticizer, strength, density.

Вступ. В будівельній практиці розвинутих країн доволі широко використовуються легкі конструкційні бетони на штучних пористих заповнювачах. Найчастіше це керамзитобетон та його аналоги. Багаторічний досвід застосування керамзитобетонів показав їх високу ефективність в конструкціях різних споруд, зокрема гідротехнічних. В Україні наприкінці минулого сторіччя використання керамзитобетону різко скоротилося через зниження обсягів будівництва і впровадження ефективних ніздрюватих бетонів. Але в останні роки намітилася тенденція до зростання попиту на керамзит та вироби з нього, що відповідно дало поштовх до збільшення виробництва легкого гравію, зокрема, на Одеському, Харківському і Хмельницькому керамзитових заводах [1]. Крім того для ряду споруд, зокрема плавучих, бетони на пористих заповнювачах залишаються безальтернативними видами легких бетонів. Розвиток будівельних технологій дозволяє підвищити ефективність таких бетонів та робить актуальними дослідження щодо застосування у легких бетонах сучасних модифікаторів і нових типів заповнювачів.

Аналіз останніх досліджень. Досвід застосування бетонів на пористих заповнювачах в цивільному, промисловому і гідротехнічному будівництві показав високу ефективність даних матеріалів [2,3]. Завдяки меншій густині матеріалу знижується навантаження на фундаменти та опори будівель і споруд, для залізобетонного суднобудування це забезпечує підвищення вантажопідйомності [4], а для несучих конструкцій, що працюють на згин –

зниження маси від повного навантаження. Це, зокрема, дозволяє збільшити довжину прогонів несучих конструкцій. Наприклад, в 1999 році в Норвегії з легкого бетону класу LC-55 з середньою густиною 1900..1950 кг/м³ був побудований міст «Stolma bridge» консольної конструкції з довжиною основного прольоту 148 м [5].

Окремо можна виділити застосування легких бетонів у залізобетонному суднобудуванні. Вони показали високу довговічність в конструкціях нафто- і газовидобувних платформ, плавучих доків, домів і готелів в суворих умовах експлуатації у водах, що містять сульфати і хлориди, та при дії заморожування і відтаювання [6]. Міжнародна федерація бетону і залізобетону (fib) ще у 1995 році сформулювала рекомендації щодо повного переходу на застосування в конструкціях нафтових платформ високоміцного легкого бетону [7]. Для такого бетону рекомендовано використовувати природні пористі заповнювачі з вулканічних або осадових гірських порід, а також штучні пористі заповнювачі, зокрема на основі продуктів переробки за екологічно чистими і низькоенергоємними технологіями великих техногенних утворень металургії, паливної енергетики та хімічної промисловості.

Для конструкцій залізобетонних плавучих споруд в останні роки переважно застосовувалися бетони на керамічних заповнювачах (аналогі керамзитобетону) та на кварцовому піску. Але нещодавно вперше для морської споруди спуско-підйомного комплексу MPU Heavy Lifter був використаний легкий бетон класу LC35/38 з середньою густиною менше 1600 кг/м³, який частково включав легкий пісок [8]. Тобто керамзитобетон з легким піском може бути використаний для конструкцій плавучих споруд, при цьому в якості дрібного заповнювача в ньому можна використовувати як керамзитовий пісок, так і гранульоване піноскло [9,10]. Піноскло є пористим заповнювачем з вмістом склофази більше 90%, розділеним тонкими перегородками, що складаються з більш дрібних рівномірно розподілених замкнутих пор. Це забезпечує достатню міцність і знижену проникність подібних заповнювачів [10]. При правильному проектуванні складів легких бетонів з пористим піском вони матимуть високу довговічність та задовільні фізико-механічні характеристики при забезпеченні зниження ваги конструкцій. При цьому одним з найперспективніших напрямків застосування легкого конструкційного бетону є залізобетонне суднобудування.

Мета досліджень. Метою даних досліджень було порівняння міцності і середньої густини модифікованих гіперпластифікатором керамзитобетонів з різними типами пісків: кварцовим, керамзитовим і піском з гранульованого піноскла. Це дозволяє оцінити можливість і доцільність застосування конструкційних керамзитобетонів на легких пісках в гідротехнічному і транспортному будівництві, зокрема у якості суднобудівних матеріалів.

Методика досліджень. В дослідженнях використовувався керамзитовий гравій фракції 5-10 мм (марки П100) Одеського керамзитового заводу з насипною щільністю 500 кг/м^3 . В якості в'язучого використовувався сульфатостійкий портландцемент ССПЦ 400-Д0 виробництва ПАТ «Івано-Франківськцемент». В якості дрібного заповнювача використовувалися п'ять різних типів пісків, отриманих за рахунок змішування розсіяних по фракціям заповнювачів.

1. Кварцовий пісок з 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 .

2. Пісок, в якому 50% об'єму крупних фракцій (1,25-2,5 мм і 2,5-5 мм) було замінено керамзитовим піском відповідних 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 .

3. Пісок, в якому 100% об'єму крупних фракцій було замінено керамзитовим піском відповідних фракцій. Насипна густина даного піску складала 1290 кг/м^3 .

4. Пісок, в якому 50% об'єму крупних фракцій було замінено гранульованим піносклом відповідних фракцій (піноскло НВП «Технологія», м. Шостка, насипна щільність 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 .

5. Пісок, в якому 100% об'єму крупних фракцій було замінено гранульованим піносклом відповідних фракцій. Насипна густина даного піску складала 1080 кг/м^3 .

Іншим фактором, який варіювався у дослідженні, була кількість полікарбосилатного пластифікатору Coral ExpertSuid-5 – від 0,4 до 1% від маси цементу.

Кількість портландцементу 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, але знаходилася в приблизно однаковому 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).

Результати досліджень. Рівна рухомість сумішей забезпечувалася зміною кількості води, відповідно В/Ц сумішей залежало від їхнього складу. На рис.1 показані графіки, що відображають вплив кількості пластифікатору і типу піску на В/Ц керамзитобетонних сумішей. Їх аналіз показує, що при збільшенні кількості пластифікатору Coral ExpertSuid з 0,4 до 0,6% від маси цементу В/Ц легкобетонних сумішей на всіх типах піску різко 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 не ефективно і знижує В/Ц лише приблизно на 1%.

Незалежно від кількості пластифікатору найменше В/Ц мають керамзитобетонні суміші на кварцовому піску а найбільше – на керамзитовому. Відповідно при заміні 100% крупних фракцій кварцового піску на легкий пористий пісок В/Ц зростає значно відчутніше, ніж при заміні 50% піску. Суміші з дрібним заповнювачем з гранульованого піноскла 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 воподоглинання.

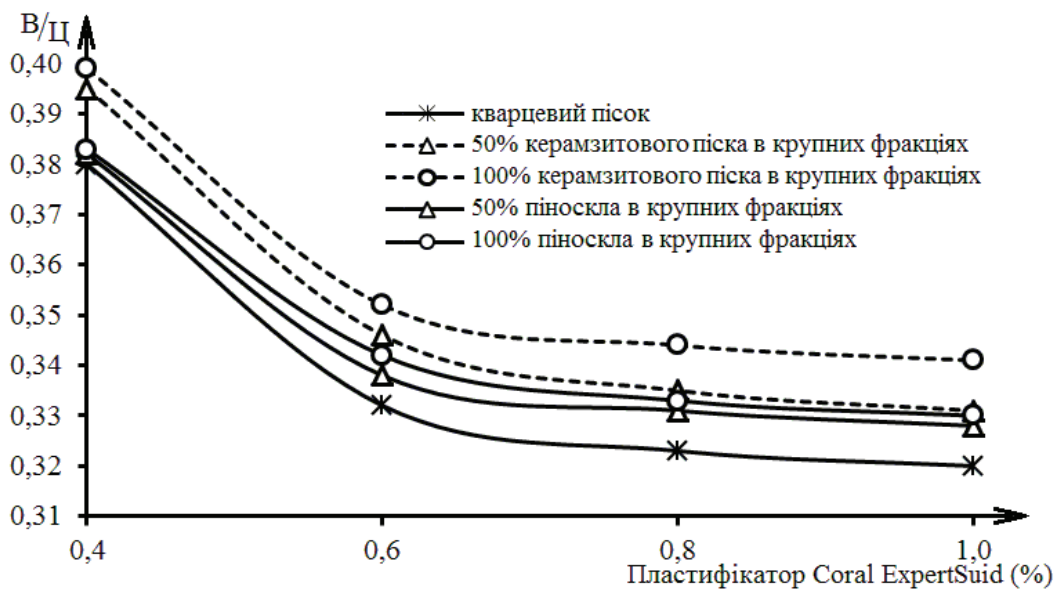


Рис. 1. Вплив кількості пластифікатору і типу піску на В/Ц керамзитобетонних сумішей рівної рухомості

Графіки, які відображають вплив кількості пластифікатору і типу піску на міцність досліджених керамзитобетонів, показані на рис.2. Їх аналіз дозволяє сказати, що кількість пластифікатору Coral ExpertSuid суттєво впливає на міцність керамзитобетону при стиску (рис.2.а), але на міцність легкого бетону на розтяг при згині (рис.2.б) кількість даного модифікатору впливає значно менше. Найбільш міцними є керамзитобетони з кількістю пластифікатору Coral ExpertSuid 0,8% від маси цементу, подальше підвищення дозування добавки неефективне.

Тип піску, який використовувався у керамзитобетоні, більш відчутно впливав на величину міцності при стику, ніж на міцність на розтяг при згині. Склади з 50% та 100% керамзитового піску в крупних фракціях показують міцність при стику відповідно на 3-7% та 7-10% нижчу за міцність керамзитобетонів на кварцовому піску. При застосуванні 50% та 100% піску з гранульованого піноскла міцність керамзитобетону при стику

знижується відповідно на 17-23% та 23-32% в порівнянні з бетонами на кварцевому піску.

Міцність керамзитобетону на розтяг при згині при застосуванні 50% і 100% керамзитового піску в крупних фракціях змінюється на 4-6 і 7-9% відповідно, а при застосуванні аналогічної кількості піску з гранульованого піноскла – на 5-6 і 18-19%. Тобто керамзитобетони при застосуванні легких пористих пісків зберігають досить високу міцність на розтяг при згині, що є важливим, наприклад, для тонкостінних конструкцій гідротехнічних споруд, зокрема залізобетонних плавучих.

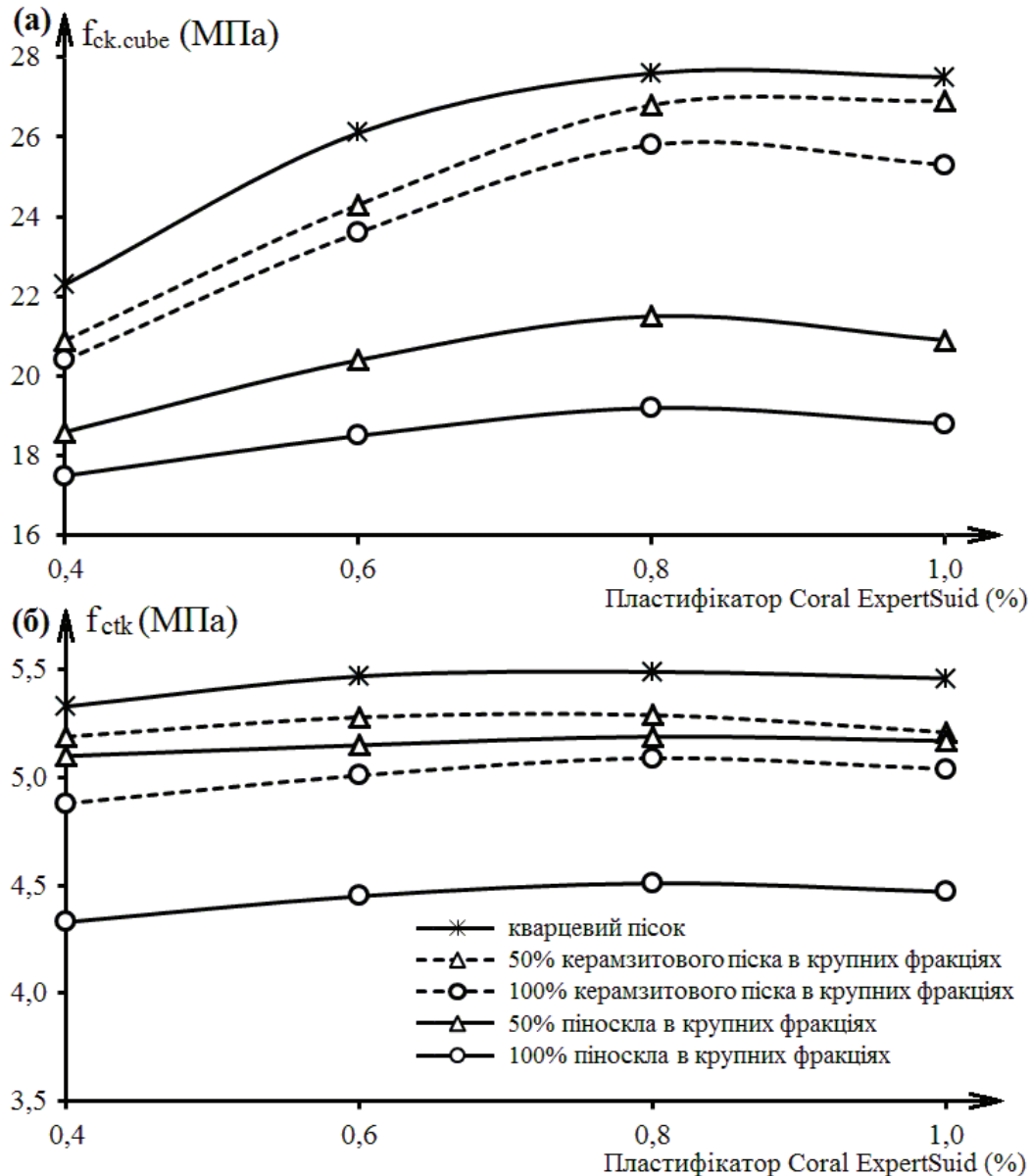


Рис. 2. Вплив кількості пластифікатору і типу піску на
 а) міцність керамзитобетонну при стиску;
 а) міцність керамзитобетонну на розтяг при згині

Основною метою застосування легких пісків в керамзитобетонах є зниження їх середньої густини. Відповідно цей показник якості був

проаналізовано і на рис.3 показано вплив кількості пластифікатору і типу піску на середню густина керамзитобетону (у сухому стані).

Як видно на графіках, при підвищенні дозування пластифікатору за рахунок зниження В/Ц суміші середня густина керамзитобетону несуттєво зростає – в межах 5%. При застосуванні 50% і 100% керамзитового піску в крупних фракціях середня густина легкого бетону знижується на 4-5% і 6-7% відповідно. Пісок з гранульованого піноскла є більш легким, відповідно при його застосуванні (50% і 100% крупних фракцій) середня густина керамзитобетону знижується відповідно на 7-8 і 13-14%. При цьому середня густина керамзитобетону з керамзитовим піском у крупних фракціях не перевищує 1572 кг/м³, а з піском з гранульованого піноскла – 1440 кг/м³. Тобто модифіковані керамзитобетони на легких пісках можуть ефективно використовуватися в якості конструктивних матеріалів зниженої густини. При цьому додаткового дослідження потребує довговічність даних матеріалів, в першу чергу їх морозостійкість і водонепроникність.

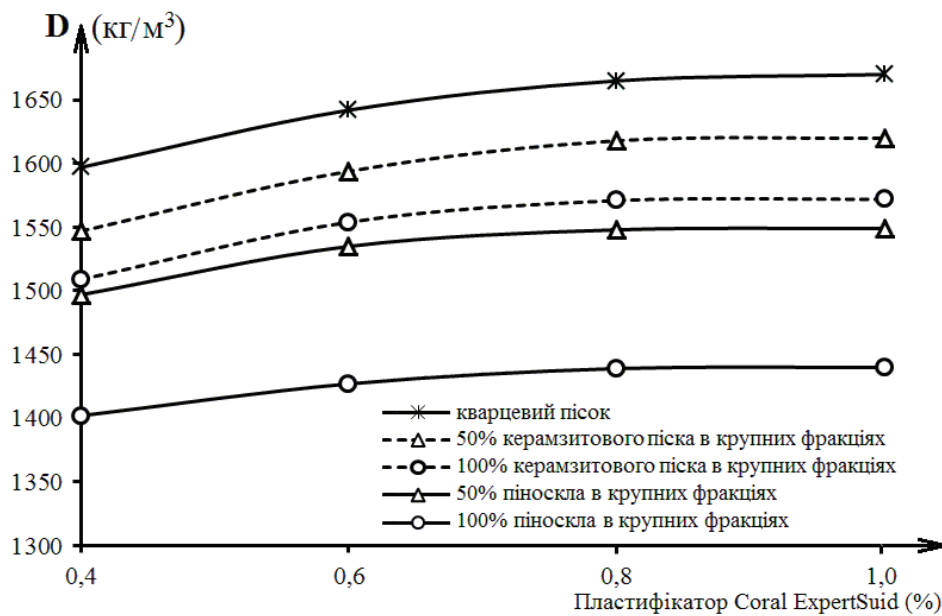


Рис. 3. Вплив кількості пластифікатору і типу піску на середню густина керамзитобетону

Висновки. Гранульоване піноскло може доволі ефективно використовуватися в якості дрібного заповнювача у легких бетонах. Керамзитобетони на всіх досліджених типах пісків показували максимальну міцність при використанні полікарбосилатного пластифікатору Coral ExpertSuid-5 у кількості 0,8% від маси цементу. При застосуванні легких пористих пісків замість кварцового піску міцність керамзитобетону при стиску знижується більш відчутно, ніж міцність на розтяг при згині. Модифіковані керамзитобетони на легких пісках можна використовувати в конструкціях, для яких важливо зниження ваги при забезпеченні необхідної міцності матеріалу, в першу чергу – у тонкостінних. При забезпеченні необхідної водонепроникності і морозостійкості такі бетони можуть бути використані у залізобетонному суднобудуванні.

1. Панасюк В.А., Булгакова В.Н. Экологическая и экономическая эффективность современных изделий из вибропрессованого керамзитобетона. Збірник тез доповідей міжнародної конференції «Структурутворення, міцність та руйнування композиційних будівельних матеріалів і конструкцій», Одеса:ОДАБА, 2018. С.115-117.

2. Бабич Е.М. Конструкции из легких бетонов на пористых заполнителях. К.: Вища школа, 1988. 208 с.

3. Иноземцев А.С. Королев Е.В. Динамика развития высокопрочных лёгких бетонов. Анализ мировых достижений. Международный научно-исследовательский журнал, 2013, №12 (19), часть 1. С.87-94.

4. Gerwick B. C. Jr. Construction of marine and offshore structures, Third Edition. Baton Rouge:Taylor & Francis, 2005.840 p.

5. Helland S. Lightweight aggregate concrete in Norwegian bridges. HPC Bridge Views, Issue No. 11, Sept/Oct. 2000. P.2-3.

6. Benchmarking of deemed-to-satisfy provisions in standards: Durability of reinforced concrete structures exposed to chlorides. State-of-the-art report. fib:2015.191 p.

7. Lightweight 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.

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

9. Мішутін А.В., Кровяков С.О., Піщев О.В. та ін. Властивості легких бетонів на різних видах пористих заповнювачів. Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури, 2016, №62, С.119-125.

10. Давидюк А.Н. Легкие конструкционно-теплоизоляционные бетоны на стекловидных пористых заполнителях. М.: Красная звезда, 2008. 208 с.

1. Panasiuk V.A., Bulhakova V.N. Ykologhycheskaia i ekonomicheskaiia effektivnost sovremennykh izdelii iz vibropressovanoho keramzitobetona. Zbirnyk tez dopovidei mizhnarodnoi konferentsii «Strukturoutvorennia, mitsnist ta ruinuvannia kompozytsiinykh budivelnnykh materialiv i konstruktsii», Odesa:ODABA, 2018. P.115-117.

2. Babich E.M. Konstruktsii iz lehkikh betonov na porystykh zapolniteliakh. K.: Vyshcha shkola, 1988. 208 p.

3. Ynozemtsev A.S. Korolev E.V. Dinamika razvitiia vysokoprochnykh lehkyykh betonov. Analiz mirovykh dostizhenii. Mezhdunarodnyi nauchno-issledovatel'skii zhurnal, 2013, №12 (19), part 1. P.87-94.

4. Gerwick B. C. Jr. Construction of marine and offshore structures, Third Edition. Baton Rouge:Taylor & Francis, 2005.840 p.

5. Helland S. Lightweight aggregate concrete in Norwegian bridges. HPC Bridge Views, Issue No. 11, Sept/Oct. 2000. P.2-3.

6. Benchmarking of deemed-to-satisfy provisions in standards: Durability of reinforced concrete structures exposed to chlorides. State-of-the-art report. fib:2015.191 p.

7. Lightweight 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.

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

9. Mishutin A.V., Kroviakov S.O., Pishchev O.V. ta in. Vlastyvosti lehkyykh betoniv na riznykh vydakh porystykh zapovniuvachiv. Visnyk Odeskoi derzhavnoi akademii budivnytstva ta arkhitektury, 2016, №62, P.119-125.

10. Davidiuk A.N. Lehkie konstruktsionno-teplozoliatsionnye betony na steklovidnykh porystykh zapolniteliakh. M.: Krasnaia zvezda, 2008. 208 p.