**РЕЦЕПТУРНО-ТЕХНОЛОГІЧНІ МЕТОДИ ПІДВИЩЕННЯ
ДОВГОВІЧНОСТІ БЕТОНІВ НА ЛЕГКИХ ЗАПОВНЮВАЧАХ ДЛЯ
ТОНКОСТІННИХ ГІДРОТЕХНІЧНИХ І ТРАНСПОРТНИХ СПОРУД**

**RECIPE AND TECHNOLOGICAL METHODS OF INCREASING THE
DURABILITY OF CONCRETE ON LIGHT FILLERS FOR THIN-
WALLED HYDRO-TECHNICAL AND TRANSPORT CONSTRUCTIONS**

**Кровяков С.О., к.т.н., доц., ORCID 0000-0002-0800-0123, Мішутін А.В.,
д.т.н., проф., ORCID 0000-0001-9512-6084 (Одеська державна академія
будівництва та архітектури)**

**Kroviakov S.O., PhD., assistant professor, ORCID 0000-0002-0800-0123,
Mishutin A.V., Dr. of sciences, prof., ORCID 0000-0001-9512-6084 (Odessa
state academy of civil engineering and architecture)**

**Запропоновано два технологічних прийоми підвищення довговічності
бетонів на легких заповнювачах для тонкостінних гідротехнічних і
транспортних споруд: гідрофобізації гравію та його обробки цементною
суспензією в початковій стадії приготування суміші. Ці прийоми мають
виконуватися в комплексі з застосуванням модифікаторів для бетону:
пластифікатору, кольматуючої добавки, мікрокремнезему.**

**To increase the durability of lightweight concrete thin-walled constructions of
hydro-technical and transport structures it is necessary to increase their
water-tightness and frost-resistance. Purpose of the research is the
development of prescription and technological methods for increasing the
durability of concretes on lightweight aggregates through the use of rational
modifiers and treatment of a porous aggregate.**

**Two methods of processing a porous filler are suggested. The first method is
the hydrophobization of its surface. Hydrophobization reduces the absorption
of water from the cement matrix and the W/C mixture, and also reduces the
volume deformation of the aggregate. The second method is the treatment
with a cement slurry in the initial stage of mixing the mixture. Due to the
treatment, the surface layer of the aggregate and the transition zone between
the aggregate and the cement-sand matrix hardens. Both methods contribute
to the transformation of the porosity of the aggregate into a closed porosity.**

**It is established that due to hydrophobization, the volume moisture
deformations of gravel are reduced by 3..4 times. Also, hydrophobization
increases the strength and water-tightness of expanded clay lightweight
concrete. By treating the porous aggregate with a cement slurry, the strength**

of lightweight concrete increases by 2..3 MPa, and the water-tightness increases by one grade.

Also, to improve the durability of concretes on porous aggregates, it is recommended to use modifiers. The effect of plasticizers, colmatizing additives, silica fume and fibers on the properties of lightweight concrete was investigated.

It has been established that expanded clay lightweight concrete modified by rational chemical additives has high water-tightness (W8-W14), frost-resistance 200..300 cycles in seawater, compressive strength from 35 to 45 MPa, tensile strength from 4,5 to 7 MPa. The average density of these lightweight concretes in the water-saturated state is from 1800 to 1870 kg/m³. Thus, modified expanded clay lightweight concrete on the basis of processed gravel is an effective material for a significant part of thin-walled constructions of hydro-technical and transport structures, including floating reinforced concrete structures.

Ключові слова:

Легкий бетон, довговічність, заповнювач, модифікатор, усадка, набухання.
Lightweight concrete, durability, filler, modifier, shrinkage, extension.

Вступ. Світовий і вітчизняний досвід показує, що для ряду споруд, зокрема тонкостінних, ефективно застосування легких бетонів на пористих заповнювачах. Основними перевагами легкого бетону є зниження ваги і теплопровідності конструкцій, підвищення їх стійкості до динамічних навантажень та вогнестійкості. Проте на сучасному рівні розвитку матеріалознавства не можна вважати повністю вирішеним завдання отримання довговічних бетонів на легких заповнювачах для тонкостінних гідротехнічних і транспортних споруд. Найбільш перспективними методами підвищення довговічності подібних бетонів є застосування раціональних модифікаторів і технологічних прийомів, спрямованих на утворення структури з переважно замкнутою пористістю та покращення роботи заповнювача в цементно-піщаній матриці. З розвитком будівельних технологій відкривається перспектива отримання енергоефективних і довговічних бетонів на пористих заповнювачах, що забезпечують необхідні фізико-механічні властивості та високу довговічність тонкостінних конструкцій. Це розширює можливості використання легких бетонів у гідротехнічному і транспортному будівництві та дозволяє отримати додаткові економічні переваги від їх застосування. Окремою перспективною галуззю застосування бетонів на пористих заповнювачах є залізобетонне суднобудування, яке розвивається в багатьох країнах, включаючи Україну.

Аналіз останніх досліджень. Як показують роботи багатьох вчених, основним шляхом забезпечення високої довговічності бетонів для конструкцій гідротехнічних і транспортних споруд є підвищення їх

водонепроникності та морозостійкості [1-3]. При цьому до 80% від загального об'єму компонентів бетону складають заповнювачі, тому їх властивості та властивості їхньої контактної зони мають велике значення для корозійної стійкості та довговічності композиту [4]. О.Г. Ольгінський називав заповнювач «рівноправним» елементом контактної зони, мінерали якого здатні впливати на процеси утворення контактів і підпадати під вплив зовнішнього середовища [5]. При цьому характер зчеплення гідратів в'язучого з заповнювачем О.Г. Ольгінський і В.Л. Чернявський вважали найбільш важливим «показником структурного стану бетону», що визначає його міцність і довговічність [5,6]. С.С. Гордон показав, що контактна зона зазвичай є слабкою ланкою будівельних композитів, у зв'язку з цим важливим напрямом підвищення фізико-механічних властивостей і довговічності бетону є забезпечення якісного зчеплення і стабільності зони контакту в'язучого і заповнювача [7], зокрема з врахуванням об'ємних змін композиційного матеріалу в цілому і його окремих складових.

У дослідженнях наукової школи В.М. Вирового [8,9] показано, що на границі матричного матеріалу з заповнювачем відбуваються структурні процеси різної спрямованості. В залежності від співвідношення величин когезійної і адгезійної міцності в матричному матеріалі при твердінні виникають різноспрямовані деформації різної величини. Це веде до зміни щільності в локальних ділянках матриці та провокує зміну форми поверхонь розділу та виникнення нових поверхонь. За рахунок цього з'являються порожнини у вигляді тріщин з різним напрямками на границі з заповнювачем та у матричному матеріалі. При когезії матричного матеріалу вищій за адгезію до заповнювача тріщини та внутрішні поверхні розділу утворюються переважно на границі з заповнювачем. При когезії меншій за адгезію дані структурні елементи утворюються переважно у цементній матриці. Найбільш складними є деформації матриці, яка твердіє при вибірковій адгезії до заповнювача. При застосуванні пористих заповнювачів досягнути вибіркової адгезії матриці можна, наприклад, за рахунок гідрофобної обробки поверхні заповнювача. Як показано у [9], при вибірковій адгезії матриці до заповнювача в процесі структуроутворення бетону збільшується різноманіття його структурних елементів, що позитивно відображається на властивостях матеріалу. При подальшій експлуатації у процесі мікроруйнування в структурі бетону найбільша кількість тріщин спостерігається саме в контактній зоні заповнювач – цементна матриця, причому тріщини на межі зчеплення частіше всього є відкритими і безперервними [10]. Тріщини зчеплення з'являються в результаті водовідділенням і диференціальних об'ємних деформацій, тобто є різновидом технологічних тріщин [8,9].

З врахуванням викладеного вище основним шляхом підвищення довговічності бетонів на пористих заповнювачах можна вважати модифікацію розчинної частини, спрямовану на підвищення її непроникності, яка має відбуватися у комплексі з технологічними

прийомами, що сприяють зменшенню деформацій заповнювача в процесі структуроутворення та перетворенню пористості заповнювача на замкнуту. Для конструкційних легких бетонів високої міцності також актуальною є задача підвищення міцності пористого заповнювача, зокрема з врахуванням умов експлуатації конструкції. Це пов'язано з тим, що для таких матеріалів в значній мірі саме цей показник, а не витрата в'язучого, обмежує їх міцність. Безперечно, це не знижує важливості забезпечення однорідності та максимальної злитності структури бетону, що досягається, насамперед, проектуванням оптимальних складів легких бетонів [11].

Мета досліджень. Метою досліджень є розробка рецептурно-технологічних методів отримання бетонів на легких заповнювачах із заданими експлуатаційними властивостями та підвищеною довговічністю для тонкостінних гідротехнічних і транспортних споруд, зокрема залізобетонних плавучих, за рахунок керування структурою шляхом застосування раціональних модифікаторів і обробки пористого заповнювача.

Методика досліджень. Дослідження властивостей модифікованих бетонів виконані з широким використанням методів оптимального планування експериментів і застосуванням багатofакторного математичного моделювання. В експериментах використовувався керамзитовий гравій виробництва Одеського керамзитового заводу, сульфатостійкий портландцемент ССПЦ 400-Д0 виробництва ПАТ «Івано-Франківськцемент», кварцовий пісок з модулем крупності 2,7, суперпластифікатори С-3 і Coral ExpertSuid-5, поліпропіленова фібра Baucor. В якості гідрофобізатору використовувалася кремнійорганічна рідина 136-157М, також відома як ГКР-94м.

Результати досліджень. З врахуванням особливостей умов експлуатації тонкостінних конструкцій гідротехнічних і транспортних споруд запропоновано два методи обробки пористого заповнювача, кожен з яких має свої особливості. Перший метод – гідрофобізація поверхні заповнювача. Це дозволяє знизити поглинання води з цементної матриці за рахунок чого зменшити В/Ц суміші без погіршення її технологічності, а також зменшити об'ємні зміни зерен заповнювача та матриці в процесі структуроутворення. При цьому забезпечується необхідна резервна пористість замкнутого типу в заповнювачі. Метод вперше був запропоновано О.А. Кучеренко і В.М. Вировим [12], зокрема для зниження об'ємних змін заповнювача при зволоженні та висушуванні бетону. В наших дослідженнях даний метод вдосконалюється з позиції забезпечення підвищення саме довговічності бетонів для тонкостінних конструкцій гідротехнічних і транспортних споруд.

Другий метод – обробка пористого заповнювача цементною суспензією у початковій стадії перемішування суміші. Цей прийом є технологічно простішим. Така обробка також сприяє перетворенню пористості заповнювача на замкнуту, зміцнює поверхневий шар крупного заповнювача та перехідної зони між заповнювачем і розчинною частиною бетону. Тобто

підвищує однорідність контактної зони, за рахунок чого впливає на адгезію заповнювача до матриці. Також важливим ефектом обробки суспензією є те, що вона дозволяє покращити однорідність заповнювача завдяки насиченню його технологічних тріщин, пор та інших порожнин цементним тістом. Справедливо буде зазначити, що пористий заповнювач взаємодіє з цементно-піщаною сумішшю і при звичайному методі її приготування. У [13] встановлено, що відкриті капілярні пори на поверхні наповнювачів поглинають не чисту воду, а цементно-водну суспензію, а при подальшому обміні виділяють лише воду, тобто працюють як фільтри. Спрямована обробка пористого заповнювача цементною суспензією додатково посилює позитивний ефект такого явища. Обробка суспензією в'язучого в значній мірі також дозволяє уникнути ефекту зниження мікротвердості контактного шару між пористим заповнювачем і цементним тістом, який за даними М.К. Хохріна виникає при насиченні заповнювача водою [14].

Проведені дослідження показали, що за рахунок застосування технологічного прийому обробки пористого заповнювача цементною суспензією міцність керамзитобетону зростає на 2..3 МПа в порівнянні з аналогічними за складом легким бетоном на основі насиченого водою гравію. При цьому для бетону на вапняковому заповнювачі такий метод обробки дозволяє підвищити міцність на 4-5 МПа. Крім того, легкі бетони на обробленому заповнювачі показують приблизно на 2 атмосфери (1 марка) більш високу водонепроникність в порівнянні з контрольними складами.

Пористі заповнювачі активно обмінюються вологою з цементно-піщаною матрицею, при цьому можуть як поглинати, так і віддавати вологу не лише на різних етапах життєвого циклу матеріалу, а і при зміні умов експлуатації. Ці процеси активно впливають на об'ємні зміни як матриці, так і заповнювача. Керамзит є найбільш розповсюдженим штучним пористим заповнювачем. Технологічні особливості його виготовлення обумовлюють утворення в гранулах двох зон: зовнішньої – більш щільної і міцної, яку можна назвати «оболонкою», і внутрішньої – більш пористого «ядра». Характер набухання і усадка керамзиту в процесі приготування суміші, твердіння і експлуатації легкого бетону є досить складним і неоднозначним [15]. З одного боку, на зміну геометричних розмірів зерен впливає їхні об'ємні напруження (оболонки та ядра), з іншого боку – процеси обміну з цементним тістом.

На спеціальній модельній системі були проаналізовані набухання і усадка керамзиту в умовах, наближених до реальних умов твердіння легкобетонної суміші. Встановлено, що при висушуванні усадка попередньо насиченого водою керамзитового гравію є набагато меншою за його первинне лінійне подовження при насиченні водою. Це є наслідком накопичення залишкових деформацій та зниження попередньо напруженого стану у гранулах керамзиту, в зовнішніх шарах яких виникнуть напруження розтягнення, в внутрішній зоні яких є стислою [15].

Також було встановлено, що об'ємні вологістні деформації гравію з гідрофобізованою поверхнею у воді та у цементно-піщаному розчині є в 3..4 рази меншим за деформації необробленого гравію. Гідрофобізація здійснювалася водною емульсією кремнійорганічної рідини 136-157М з послідовним висушуванням гравію для формування плівки полімеру. Тобто гідрофобна обробка ефективно знижує вологістні деформації керамзиту. Даний ефект частково обумовлюється первинним зволоженням і висушуванням пористого гравію при його обробці емульсією гідрофобізатору, але це не знижує ролі впливу гідрофобної плівки на поверхні заповнювача на його поглинання та інші масообміни процеси у бетонній суміші.

Таким чином, обидва запропонованих технологічних прийоми підвищення довговічності бетонів на пористих заповнювачах є досить ефективними. При цьому проведення гідрофобізації гравію є технічно більш складним в порівнянні з обробкою цементною суспензією. Але ця операція забезпечує деякі додаткові переваги матеріалу – насамперед це зниження експлуатаційної вологості і відповідно теплопровідності бетону, що є дуже важливим, наприклад, для залізобетонного суднобудування. Також слід відзначити, що обидва запропонованих технологічних прийоми можуть розглядатися виключно як одні з методів підвищення довговічності та фізико-механічних властивостей бетонів на пористих заповнювачах. Обробка заповнювача має здійснюватися в комплексі з рецептурними рішеннями – проектуванням раціональних складів бетонів, введенням модифікаторів: ефективних пластифікаторів, кольматуючих добавок і наповнювачів, дисперсним армуванням тощо. Застосування комплексних заходів дозволяє керувати структурою композиту з метою забезпечення утворення переважно закритої пористості крупного заповнювача при зниженні капілярної пористості цементно-піщаної матриці.

Подальші дослідження показали, що з позиції забезпечення комплексу фізико-механічних властивостей керамзитобетону раціональною є концентрація кремнійорганічної рідини в емульсії при обробці гравію на рівні 0,6-0,8%. Технологічний прийом обробки пористого гравію дозволяє знизити В/Ц легко бетонної суміші, досягнути певного балансу між адгезією і когезією матричного матеріалу до заповнювача, а також знизити розм'якшення пористого заповнювача в вологих умовах [16].

При дослідженнях ефективності рецептурних методів вирішення технічної задачі підвищення довговічності бетонів на пористих заповнювачах для тонкостінних гідротехнічних і транспортних споруд були вивчені властивості керамзитобетонів з різними типами модифікаторів: пластифікаторами С-3 і Coral ExpertSuid-5, кольматуючою добавкою Пенетрон Admix, мікрокремнеземом. Крім того, досліджувалася ефективність застосування дисперсної арматури в легких бетонах [16,17].

Встановлено, що за рахунок введення 30-35 кг/м³ мікрокремнезему водонепроникність легких бетонів підвищується на одну марку і більше. Аналогічне зростання рівня W досягається при введенні кольматуючої добавки Пенетрон Адміх у кількості 2% від маси цементу. Також встановлено, що найбільшу водонепроникність мають керамзитобетони, до складу яких введено 0,8-0,9% суперпластифікатору С-3 або 0,9-1% полікарбоксилатного пластифікатору Coral ExpertSuid-5. При цьому для досягнення високого рівня водонепроникності керамзитобетону для тонкостінних конструкцій (W8-W14) кількість портландцементу в його складі має складати 500..550 кг/м³.

Модифіковані раціональними хімічними добавками керамзитобетони також мають високу морозостійкість – F500..F600 або від 200 до 300 циклів в морській воді, що забезпечує їх довговічність в складних умовах експлуатації, які є типовими для гідротехнічних і транспортних споруд в кліматичних умовах України та інших країн з помірним кліматом. За рахунок застосування дисперсної арматури морозостійкість легких бетонів додатково підвищується приблизно ще на 50 циклів. Міцність при стиску модифікованих керамзитобетонів і фіброкерамзитобетонів знаходиться переважно у діапазоні від 35 до 45 МПа, міцність на розтяг при згині – в діапазоні від 4,5 до 7 МПа. При цьому середня густина даних легких бетонів в сухому стані становить 1650..1700 кг/м³, а у водонасиченому 1800..1870 кг/м³.

Таким чином, модифіковані керамзитобетони на основі обробленого гравію є ефективними матеріалами для значної частини тонкостінних конструкцій гідротехнічних і транспортних споруд, в тому числі плавучих залізобетонних. Запропоновані рецептурно-технологічні методи дозволяють підвищити довговічність даних матеріалів в типових для них умовах експлуатації.

Висновки. Задача підвищення довговічності бетонів на легких заповнювачах для тонкостінних гідротехнічних і транспортних споруд може бути вирішена за рахунок керування структурою шляхом використання ефективних модифікаторів і спрямованого регулювання взаємодії між цементною матрицею і заповнювачем. Для цього запропоновано два методи обробки пористого заповнювача: гідрофобізація поверхні та обробки цементною суспензією в початковій стадії приготування суміші. Перший метод дозволяє знизити поглинання води з цементної матриці за рахунок чого понизити В/Ц суміші, а також зменшити об'ємні деформації заповнювача в процесі структуроутворення. Другий метод зміцнює поверхневий шар крупного заповнювача та перехідної зони між заповнювачем і розчинною частиною бетону. Обидва методи сприяють перетворенню пористості заповнювача на замкнуту.

Також для підвищення довговічності бетонів на пористих заповнювачах ефективним є використання комплексних модифікаторів, які включають

суперпластифікатор, кольматуючу добавку або мікрокремнезем. Дисперсне армування додатково підвищує морозостійкість легкого бетону.

1. Штарк И., Вихт Б. Долговечность бетона. Пер. с нем. А. Тулаганова. Под ред. П. Кривенко. К.: Оранта, 2004. 301 с.
2. Бабушкин В.И. Защита строительных конструкций. Харьков: Вища школа, 1989. 166 с.
3. Мишутин А.В., Мишутин Н.В. Повышение долговечности бетонов морских железобетонных плавучих и стационарных сооружений. Одесса: Эвен, 2011. 292 с.
4. Коррозия бетона и железобетона, методы их защиты. Москвин В.М., Иванов Ф.М., Алексеев С.Н., Гузеев Е.А. М.: Стройизад, 1980. 536 с.
5. Ольгинский А.Г. Оценка и регулирование структуры зоны контакта цементного камня с минералами заполнителями. Автореф. дис. докт. техн. наук: 05.23.05. Харьков, 1994. 37 с.
6. Ольгинский А.Г., Чернявский В.Л. Влияние среды на адаптационные зоны контакта заполнителей с цементным камнем в бетоне. Бетон и железобетон. 2000, №4 С. 5-8.
7. Гордон С.С. Структура и свойства тяжелых бетонов на различных заполнителях. М.: Стройиздат, 1969. 151 с.
8. Выровой В.Н., Дорофеев В.С., Суханов В.Г. Композиционные строительные материалы и конструкции. Структура, самоорганизация, свойства. Одесса: ТЕС, 2010. 176 с.
9. Суханов В.Г., Выровой В.Н., Коробко О.А. Структура материала в структуре конструкции. Одесса: Полиграф, 2016. 244 с.
10. Ключко Б.Г., Кушвид А.А. Трещинообразование бетона в процессе эксплуатации конструкций. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. 2004. Вип. 3. С. 124-126.
11. Дворкін Л.Й., Дворкін О.Л. Проектування складів бетонів. Рівне : НУВГП, 2015. 353 с.
12. А.с. № 863556. СССР, Кл. С 04 В 31 / 40. Способ обработки легкого заполнителя. Кучеренко А.А., Выровой В.Н., Шкрабик И.В. №2737967/29-33; заявл. 19.03.79; опубл. 15.09.81, Бюл. № 34.
13. Калмыкова Е.Е. Исследование процессов структурообразования легкобетонных смесей. Всесоюзн. конф. по легким бетонам. Сб. №5. Ереван: АИСМ Госстроя Арм. ССР, 1970. С.56-60.
14. Хохрин Н.К. Процессы структурообразования и химическая стойкость легкого бетона на пористых заполнителях. Автореф. дис. докт. техн. наук: 05.23.05. Самара, СамИИТ, 1998. 82 с.
15. Макридин Н.И., Максимова И.Н. Искусственные пористые заполнители и легкие бетоны. Пенза: ПГУАС, 2013. 324 с.
16. Mishutin A., Kroviakov S., Mishutin N., Bogutsky V. Modified expanded clay lightweight concretes for thin-walled floating structures. Proceedings of the Second International Conference on Concrete Sustainability. ICCS16. Madrid, Spain, 2016. P. 741-747.
17. Kroviakov S., Mishutin A., Pishev O. Management of the properties of shipbuilding expanded clay lightweight concrete. International Journal of Engineering & Technology, 2018, Vol 7, No 3.2, pp. 245-249.

1. Shtark I., Vikht B. Dolhovechnost betona. Per. s nem. A. Tulahanova. Pod red. P. Krivenko. K.: Oranta, 2004. 301 s.
2. Babushkin V.I. Zashchita stroitelnykh konstrukttsii. Kharkov: Vyshcha shkola, 1989. 166 s.
3. Mishutin A.V., Mishutin N.V. Povyshenie dolhovechnosti betonov morskikh zhelezobetonnykh plavuchikh i statsionarnykh sooruzhenii. Odessa: Even, 2011. 292 s.
4. Korrozia betona i zhelezobetona, metody ikh zashchity. Moskvina V.M., Ivanov F.M., Alekseev S.N., Huzeev E.A. M.: Stroizad, 1980. 536 s.
5. Olhinskii A.H. Otsenka i rehulirovanie struktury zony kontakta tsementnoho kamnia s mineralami zapolniteli. Avtoref. dis. dokt. tekhn. nauk: 05.23.05. Kharkov, 1994. 37 s.
6. Olhinskii A.H., Cherniavskii V.L. Vliianie sredy na adaptatsionnye zony kontakta zapolnitelei s tsementnym kamnem v betone. Beton i zhelezobeton. 2000, №4 S. 5-8.
7. Hordon S.S. Struktura i svoistva tiazhelykh betonov na razlichnykh zapolniteliakh. M.: Stroizdat, 1969. 151 s.
8. Vyrovoy V.N., Dorofeev V.S., Sukhanov V.H. Kompozitsionnye stroitelnye materialy i konstrukttsii. Struktura, samoorhanizatsiia, svoistva. Odessa: TES, 2010. 176 s.
9. Sukhanov V.H., Vyrovoy V.N., Korobko O.A. Struktura materiala v strukture konstrukttsii. Odessa: Polyhraf, 2016. 244 s.
10. Klocho B.H., Kushvid A.A. Treshchinoobrazovanie betona v protsesse yekspluatatsii konstrukttsii. Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana. 2004. Vyp. 3. S. 124-126.
11. Dvorkin L.Y., Dvorkin O.L. Proektuvannia skladiv betoniv. Rivne : NUVHP, 2015. 353 s.
12. A.s. № 863556. SSSR, Kl. S 04 V 31 / 40. Sposob obrabotki lehkoho zapolnitelia. Kucherenko A.A., Vyrovoy V.N., Shkrabik I.V. №2737967/29-33; zaiavl. 19.03.79; opubl. 15.09.81, Biul. № 34.
13. Kalmykova E.E. Issledovanie protsessov strukturoobrazovaniia lehkobetonnykh smesei. Vsesoiuzn. konf. po lehkim betonam. Sb. №5. Erevan: AYSM Hosstroia Arm. SSR, 1970. S.56-60.
14. Khokhrin N.K. Protsessy strukturoobrazovaniia i khimicheskai stoikost lehkoho betona na poristyykh zapolniteliakh. Avtoref. dis. dokt. tekhn. nauk: 05.23.05. Samara, SamIIT, 1998. 82 s.
15. Makridin N.I., Maksimova I.N. Iskusstvennye poristye zapolniteli i lehkoe betony. Penza: PHUAS, 2013. 324 s.
16. Mishutin A., Kroviakov S., Mishutin N., Bogutsky V. Modified expanded clay lightweight concretes for thin-walled floating structures. Proceedings of the Second International Conference on Concrete Sustainability. ICCS16. Madrid, Spain, 2016. P. 741-747.
17. Kroviakov S., Mishutin A., Pishev O. Management of the properties of shipbuilding expanded clay lightweight concrete. International Journal of Engineering & Technology, 2018, Vol 7, No 3.2, pp. 245-249.