

УДК 666.9.022

DOI: <https://doi.org/10.18664/1994-7852.159.2016.66987>

**ДИСПЕРСНО-АРМИРОВАННЫЙ КЕРАМЗИТОБЕТОН НА
МЕХАНОАКТИВИРОВАННОМ ПОРТЛАНДЦЕМЕНТЕ**

Асп. О.С. Щербина, д-р техн. наук И.В. Барабаш, канд. техн. наук Л.Н. Ксёншкевич

**ДИСПЕРСНО-АРМОВАНІЙ КЕРАМЗИТОБЕТОН НА МЕХАНОАКТИВОВАНОМУ
ПОРТЛАНДЦЕМЕНТІ**

Асп.О. С. Щербина, д-р техн. наук І.В. Барабаш, канд. техн. наук Л.М. Ксьоншкевич

**DISPERSE-REINFORCED CLAYDATE-CONCRETE ON MECHANOACTIVATED
PORTLANDCEMENT**

Graduate st. O.S. Sherbina, doct. of techn. sciens I.V. Barabash,
cand. of techn. sciens L.N. Ksenshkevich

В статье рассмотрены вопросы влияния базальтовой фибры на изменение прочностных характеристик керамзитобетона на механоактивированном вяжущем. Установлено, что введение базальтовой фибры в механоактивированное вяжущее позволяет ускорить процесс набора прочности бетона в ранние сроки твердения (3 суток), а также повысить прочность в 28-суточном возрасте. Выявлено положительное влияние базальтовой фибры на истираемость керамзитобетона.

Ключевые слова: керамзитобетон, механоактивация, базальтовая фибра, поликарбонатный суперпластификатор, истираемость.

У статті розглянуто питання впливу базальтової фібри на зміну міцнісних характеристик керамзитобетону на механоактивованому в'язучому. Установлено, що введення базальтової фібри в механоактивоване в'язуче дає змогу прискорити процес набору міцності бетону на ранніх термінах твердіння (3 доби), а також підвищити

міцність у 28-добовому віці. Виявлено позитивний вплив базальтової фібри на стиранисть керамзитобетону.

Ключові слова: керамзитобетон, механоактивація, базальтова фібра, полікарбоксилатний суперпластифікатор, стиранисть.

The problems of the basalt fiber's effect to a change in the strength characteristics of ceramsite concrete mechanically activated binder are considered in the article. It was defined that the introduction of basalt fibers in mechanically activated binder can intensify the process of curing concrete in the early stages of hardening (3 days), and to increase the strength of 28 day-old-age. A positive impact of basalt fiber on abrasion of ceramsite concrete is revealed. It was determined that ceramsite concrete on mechanically activated binder shows a greater efficiency from the point of view of increasing the abrasion of concrete compared to traditional technology of preparation of concrete mixture. In general, due to increasing of the amount of plasticizer additives polycarboxylate type in the mechanoactivated Portland cement binder, consumption of mechanically activated binder and injection of basalt fiber the ceramsite concrete abrasion resistance can be improved more than 3 times.

Keywords: claydate-concrete, mechanically activated, basalt fiber, polycarboxylate superplasticizer, abrasion

Вступлення. Повышение эффективности строительных материалов зависит от роста их качества при снижении ресурсных и энергетических затрат на производство. В работе решение вопроса о повышении эффективности востребованных в строительстве легких бетонов связано с применением литьевой технологии приготовления бетонных смесей, которая позволяет резко снизить трудоемкость и энергоемкость процесса укладки бетонной смеси, повысить уровень механизации работ, значительно улучшить условия труда за счет снижения шумовых и вибрационных воздействий. Применение таких бетонов позволяет снизить массу зданий и конструкций до 30 %, что позволяет достигнуть ряда положительных технико-экономических показателей. В качестве пористого заполнителя для легкого бетона в основном применяется керамзитовый гравий, обладающий сравнительно низкой насыпной плотностью 400...800 кг/м³ [1,2].

Постановка проблемы в общем виде и ее связь с важными научными и практическими заданиями. Крайне важным является обеспечение высоких темпов роста строительства объектов, что

требует интенсивного набора прочности бетона, а также повышения его механических характеристик [3,4]. Более интенсивный набор прочности бетона может быть осуществлен путем целенаправленного изменения структуры цементной матрицы как за счет активации зерен цемента в условиях интенсивных гидродинамических воздействий на них, так и за счет модификации их ПАВ [5-7]. Возможность ускорения процессов структурообразования приобретает особое значение для монолитных бетонов, твердеющих в условиях строительной площадки.

Анализ последних исследований и публикаций. Работами [8-10] установлено, что управление структурообразованием цементного камня в бетоне и получение материалов заданного качества основывается на оптимизации технологических процессов их изготовления. Это в свою очередь подразумевает установление зависимостей, определяющих влияние на прочность легкого бетона рецептурных и технологических факторов [11, 12].

В последнее время делаются попытки применения дисперсного армирования цементной матрицы с помощью

базальтовых волокон [13-15]. Базальтовые волокна существенно снижают риск деформации цементного теста (2-6 часов после укладки), а также резко уменьшают опасность образования усадочных трещин на ранней стадии твердения [16].

Определение целей и задач исследований. Выяснить влияние добавки базальтовой фибры к механоактивированному портландцементу с добавкой молотого доменного шлака на прочность и истираемость керамзитобетона.

Основная часть исследований. Основным объектом исследований были выбраны литые керамзитобетонные смеси, для приготовления которых в качестве вяжущего использовался портландцемент с добавкой молотого доменного шлака ($S_{уд.} = 350 \text{ м}^2/\text{кг}$) в количестве 45 %. Вяжущее подвергалось механической активации в скоростном трибосмесителе.

Исследовалось влияние механоактивации вяжущего и концентрации базальтовой фибры в нем на кинетику набора прочности керамзитобетона, твердеющего в нормальных условиях. Базальтовая фибра представляла собой волокна длиной 12 мм, диаметром 20 мкм. Для снижения водопоглощения базальтовая фибра обрабатывалась кремнийорганическим гидрофобизатором ГКЖ-11. Расход базальтового волокна варьировался в количестве от 0 до 1 % массы вяжущего.

Исследования проводились по стандартному трехфакторному плану, содержащему 15 экспериментальных точек. Независимыми рецептурно-технологическими факторами были приняты:

$X_1 - 450 \pm 100 \text{ кг/м}^3$ – количество вяжущего;

$X_2 - 1 \pm 0,5 \%$ – количество пластификатора Супер-ПК;

$X_3 - 0,5 \pm 0,5 \%$ – количество базальтовой фибры.

В качестве заполнителя применялись кварцевый песок с $M_{кр} = 2,2$ и керамзи-

товый гравий, предварительно обработанный гидрофобизатором ГКЖ-11. Расход кварцевого песка колебался в диапазоне от 727 до 812 кг/м^3 , керамзитового гравия от 630 до 715 л/м^3 .

Приготовление бетонной смеси осуществлялось как по отдельной (с применением механоактивации вяжущего в трибоактиваторе), так и по традиционной технологии. При приготовлении бетонных смесей по отдельной технологии суспензия вяжущего, предварительно полученная совместным смешением последовательно вводимых в скоростной трибосмеситель воды, добавки Супер-ПК, портландцемента и базальтовой фибры, смешивалась с песком и керамзитовым гравием в тихоходной бетономешалке. Традиционная технология предусматривала приготовление бетонных смесей в тихоходной бетономешалке без предварительной активации вяжущего.

Следует отметить, что подвижность бетонной смеси определялась по расплыву конуса Абрамса. Для этого перевернутый конус заполнялся свежеприготовленной бетонной смесью без уплотнения. Не позже 90 с после наполнения конус поднимался вверх.

Подвижность бетонной смеси в каждой строчке плана эксперимента (как по отдельной, так и по традиционной технологии) принималась равной 50 см.

Заданная подвижность смеси достигалась корректировкой количества воды затворения. Формование образцов осуществлялось путем заливки легкобетонной смеси в формы-тройчатки с размером ребра 10 см. Влияние рецептурных факторов на прочность керамзитобетона в возрасте 3, 7 и 28 суток (индекс 3, 7 и 28 соответственно) для приготовленного по отдельной (индекс «s») и традиционной (индекс «t») технологиям описывают приведенные ниже экспериментально-статистические модели (1) – (6):

$$f_{ck.cube3}^s = 14,4 + 3,6x_1 - 0,7x_1^2 + 0,1x_1x_2 + 0,9x_2 - 0,3x_2^2 + 0,1x_2x_3 + 0,8x_3 - 0,4x_3^2 \quad (1)$$

$$f_{ck.cube3}^t = 10,1 + 2,5x_1 - 0,4x_1^2 + 0,1x_1x_2 + 0,7x_2 - 0,2x_2^2 + 0,1x_2x_3 + 0,6x_3 - 0,3x_3^2 \quad (2)$$

$$f_{ck.cube7}^s = 22,5 + 5,4x_1 - 0,5x_1^2 + 1,4x_2 - 0,8x_2^2 + 0,3x_2x_3 + 1,3x_3 - 0,9x_3^2 \quad (3)$$

$$f_{ck.cube7}^t = 18,7 + 4,7x_1 - 0,9x_1^2 + 1,3x_2 - 0,2x_2^2 + 0,1x_2x_3 + 0,9x_3 - 0,8x_3^2 \quad (4)$$

$$f_{ck.cube28}^s = 22,7 + 5,9x_1 - 0,1x_1^2 + 0,1x_1x_2 - 0,1x_1x_3 + 1,5x_2 - 0,5x_2^2 + 0,1x_2x_3 + 1,1x_3 \quad (5)$$

$$f_{ck.cube28}^t = 20,8 + 5,7x_1 - 0,7x_1^2 + 0,1x_1x_2 - 0,3x_1x_3 + 5,7x_2 - 0,3x_2^2 + 1,0x_3 \quad (6)$$

Средняя плотность керамзитобетона в заданном факторном пространстве колебалась от 1700 до 1800 кг/м³.

Анализ моделей показывает, что прочность бетонов, приготовленных по раздельной технологии, выше прочности бетонов, приготовленных по традиционной технологии, за весь исследуемый период твердения на 10-30 %.

Экспериментально установлено, что прочность бетонов, смеси которых готовились по раздельной технологии, на третьи сутки твердения в 1,5 раза выше, чем у контрольных образцов (вяжущее механоактивации не подвергалось). В дальнейшем скорость набора прочности керамзитобетона на механоактивированном вяжущем замедляется и к 28-суточному возрасту прирост прочности не превышает 10-15 % (рис. 1).

Графическая интерпретация модели (5), описывающая влияние рецептурных факторов на прочность бетонов, твердеющих в нормальных условиях на механоактивированном вяжущем, представлена на рис. 2.

Анализ графических зависимостей свидетельствует о значительном влиянии расхода вяжущего на прочность бетона. С увеличением содержания вяжущего от 350 до 550 кг/м³ прочность бетона повышается с 17,8 до 29,5 МПа, т.е. более чем в 1,5 раза.

Следует отметить влияние на прочность бетона количества вводимого пластификатора Супер-ПК. Так, увеличение его концентрации от 0,5 до 1,5 % приводит к увеличению прочности с 24,2 до 27,5 МПа, т.е. почти на 13 %.

Совместное воздействие на портландцемент механоактивации, добавки Супер-ПК и базальтовой фибры приводит к

повищенню прочности в 28-суточном возрасте бетона по сравнению с контролем (бетон на немеханоактивированном

портландцементе, Супер-ПК и базальтовая фибра отсутствуют) с 11,3 до 29,5 МПа, т.е. более чем в 2,5 раза.

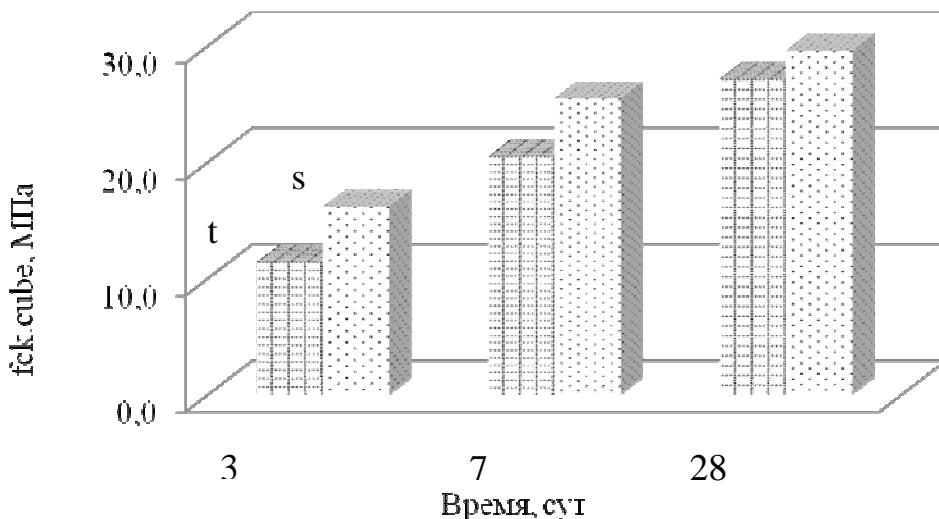


Рис. 1. Влияние времени твердения на кинетику набора прочности керамзитобетона состава: цемент – 550 кг/м³; песок – 727 кг/м³; кер. гравий₅₋₁₀ – 385 л/м³; кер. гравий₁₀₋₂₀ – 245 л/м³; В/Ц_{РТ} = 0,42; В/Ц_{ТТ} = 0,43; СПК – 1,5 %; фибра – 1 %; t – традиционная технология; s – раздельная технология

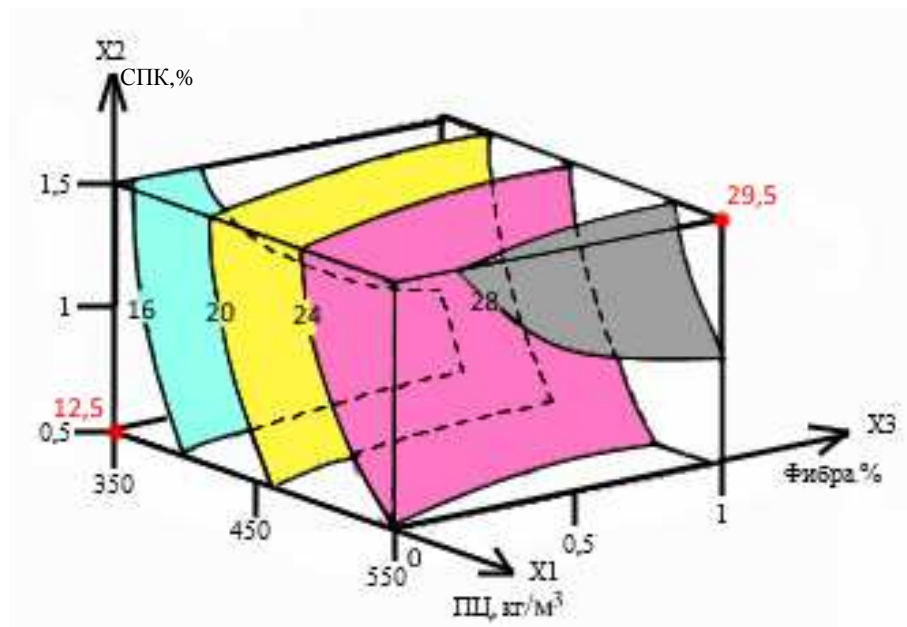


Рис. 2. Влияние рецептурных факторов на прочность бетона, МПа, приготовленного по раздельной технологии

Важним свойством бетонов является их истираемость.

ЭС-модели, отображающие влияние рецептурных факторов состава керамзито-

бетона в возрасте 28 суток, приготовленного по отдельной (индекс «s») и традиционной (индекс «t») технологиям, на уровень его истираемости, имеют вид:

$$G_{1,s} \text{ (г/см}^2\text{)} = 0.243 - 0.033x_1 + 0.002x_1^2 + 0.008x_1x_3 - 0.010x_2 - 0.003x_2^2 - 0.107x_3 + 0.032x_3^2 \quad (7)$$

$$G_{1,t} \text{ (г/см}^2\text{)} = 0.274 - 0.033x_1 - 0.01x_2 - 0.006x_2^2 - 0.108x_3 + 0.034x_3^2 + 0.008x_1x_3 \quad (8)$$

Максимальной истираемостью $G_{1,t,max} = 0,46 \text{ г/см}^2$, $G_{1,s,max} = 0,43 \text{ г/см}^2$ согласно данных ЭС-моделей (7) и (8) характеризуются составы в точке с координатами $x_1 = x_2 = x_3 = -1$, т.е. при минимальном количестве пластификатора, портландцемента и без фибры. Минимальной истираемостью соответственно $G_{1,t,min} = 0,16 \text{ г/см}^2$ и $G_{1,s,min} = 0,13 \text{ г/см}^2$ характеризуются составы в точке с координатами $x_1 = x_2 = x_3 = 1$, т.е. при максимальном количестве добавки Супер-ПК, портландцемента и базальтовой фибры.

На рис. 3 показаны построенные по ЭС-моделям (7) и (8) совмещенные диаграммы, отображающие влияние количества вяжущего и базальтовой фибры на истираемость керамзитобетона.

Анализ экспериментальных данных свидетельствует о том, что увеличение количества вводимой базальтовой фибры в бетон приводит к снижению истираемости с $0,44 \text{ г/см}^2$ (фибра отсутствует) до $0,16 \text{ г/см}^2$ (количество фибры 1 %), то есть более чем в 2,5 раза. Снижение истираемости, на наш взгляд, объясняется армирующими свойствами волокна, удерживающими отдельные блоки хрупкой цементно-песчаной матрицы при истирающих воздействиях. Аналогичное влияние базальтовой фибры на истираемость бетона отмечено в работах [17, 18].

Следует отметить, что влияние дозировки фибры на уровень G_1 имеет нелинейный характер: при введении 0,5 % волокна от массы вяжущего истираемость снижается на 30..36 %, тогда как введение ее в количестве 1 % приводит к снижению G_1 на 50..60 %.

Установлено, что в рамках проведенного эксперимента эффективность применения фибры в незначительной степени зависит от количества добавки – пластификатора (рис. 4).

Как видно из диаграммы (рис. 4), при повышении количества добавки Супер-ПК с 0,5 до 1,5 % от массы вяжущего истираемость бетона снижается на $0,02-0,03 \text{ г/см}^2$, что объясняется общим упрочнением структуры за счет снижения В/Ц смеси равной подвижности. При этом по мере увеличения количества базальтовой фибры эффективность повышения дозировки добавки возрастает.

Керамзитобетон на механоактивированном вяжущем показывает большую эффективность, с точки зрения повышения износостойкости бетона по сравнению с традиционной технологией приготовления бетонной смеси, что можно объяснить снижением его водопотребности. В целом за счет повышения количества добавки пластификатора поликарбоксилатного типа в механоактивированный портландцемент,

расхода вяжущего и введения базальтовой фибры износостойкость керамзитобетона

может быть повышена более чем в 3 раза.

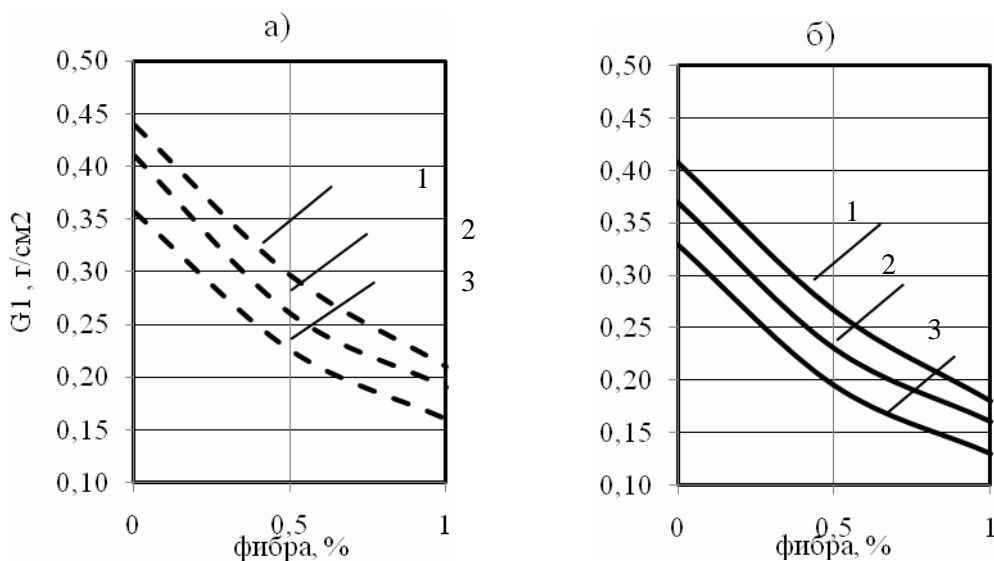


Рис. 3. Влияние содержания базальтовой фибры в вяжущем на истираемость керамзитобетона:
1,2,3 – расход вяжущего на 1 м³ бетона 350, 450 и 550 кг/м³ соответственно.
а – контроль (механоактивация вяжущего отсутствует);
б – бетон на механоактивированном вяжущем

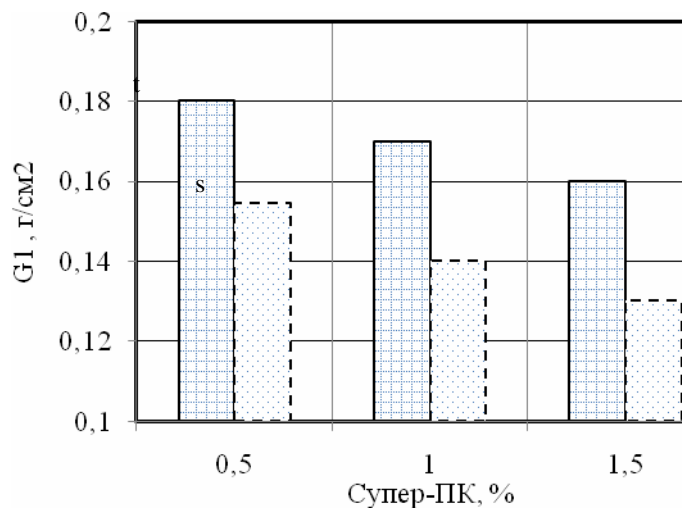


Рис. 4. Влияние количества пластификатора Супер-ПК на истираемость керамзитобетона:
t – традиционная технология; s – раздельная технология

Выводы из исследований и перспективы, дальнейшее развитие в данном направлении. Механоактивация

вяжущего приводит к повышению прочности бетона в 3-суточном возрасте с 11,4 до 16,2 МПа, т.е. более чем на 40 % по

сравнению с контролем. Введение базальтовой фибры в количестве 1 % от массы механоактивированного вяжущего, в зависимости от состава бетонной смеси, снижает показатель истираемости керамзитобетона в 2-3 раза.

Целью дальнейших исследований является исследование долговечности керамзитобетонов на механоактивированном вяжущем с добавкой базальтовой фибры по критериям морозостойкости, трещиностойкости и т. п.

Список использованных источников

1. Рабинович, Ф. Н. Композиты на основе дисперсноармированных бетонов. Вопросы теории и проектирования, технология, конструкции [Текст]: монография / Ф.Н. Рабинович. – М.: АСВ, 2004. – 560 с.
2. Пухаренко, Ю.В. Научные и практические основы формирования структуры и свойств фибробетонов [Текст]: автореф. дис... д-ра техн. наук / Ю.В. Пухаренко. – СПб., 2004. – 46 с.
3. Пащенко, А.А. Армирование цементного камня минеральным волокном [Текст] / А.А. Пащенко, В.П. Сербин. – К.: УкрНИИНТИ, 1970. – С. 78-79.
4. Бужевич, Г.А. Легкие бетоны на пористых заполнителях [Текст] / Г.А. Бужевич. – М.: Стройиздат, 1976. – 236 с.
5. Иванов, И.А. Технология легких бетонов на искусственных пористых заполнителях [Текст] / И.А. Иванов. – М.: Стройиздат, 1974. – 287 с.
6. Комиссаренко, Б.С. Исследование прочностных и деформативных характеристик керамзитовых гранул в бетоне [Текст] / Б.С. Комиссаренко // Известия вузов. Строительство. – 2013. – № 4. – С. 21-26.
7. Choi Yun Wang, Kim Yong Jic, Shin Hwa Cheol, Moon Han Young An experimental research on the fluidity and mechanical properties of high – strength lightweight self – compacting concrete [Текст] // Cement And Concrete Research. – 2006. – № 9(36). – P.1595-1602.
8. Барабаш, І.В. Механохімічна активація мінеральних в'язучих речовин [Текст]: навч. посібник / І.В. Барабаш. – Одеса: Астропрінт, 2002. – 100 с.
9. Барабаш, И.В. Моделирование механизмов структурообразования механоактивированных грубодисперсных систем [Текст] / И.В. Барабаш // Материалы к 39-му Международному симпозиуму по моделированию и оптимизации композитов. МОК-39. – Одесса, 2000. – С. 75.
10. Орендлихер, Л.П. XXI век – век легких бетонов [Текст] / Л.П. Орендлихер // Актуальные проблемы современного строительства: материалы Всероссийской 31-й научно-техн. конф., Пенза, 25-27 апреля 2001 г. Ч.4. Строительные материалы и изделия. – Пенза: Изд-во ПГАСА, 2001. – С. 76-77.
11. Вознесенский, В.А. Статистические методы планирования эксперимента в технико-экономических исследованиях [Текст] / В.А. Вознесенский. – М.: Финансы и статистика, 1981. – 263 с.
12. Соломатов, В.И. Физические особенности формирования структуры композиционных строительных материалов [Текст] / В.И. Соломатов, В.Н. Выровой // Изв. вузов. Строительство и архитектура. – 1984. – № 8. – С. 59-64.
13. Ветров, Ю.И. Базальтовые вариации [Текст] / Ю.И. Ветров, А.Г. Новицкий // Капитальное строительство. — 2002. – 145 с.
14. Боровских, И.В. Высокопрочный тонкозернистый базальтобетон [Текст]: автореф. дис... канд. техн. наук: 05.23.05 / Боровских Игорь Викторович. – Казань, 2009. – 24 с.

15. Artemenko, S.E., 2003/Polymer Composite Materials Made from Carbon, Basalt and Glass Fiber. Structure and Properties, Fiber Chemistry 35(3), pp. 226-229.

16. Дворкин, Л.И. Цементные бетоны с минеральными наполнителями [Текст] / Л.И. Дворкин, В.И. Соломатов, В.Н. Выровой, С.М. Чудновский. – К.: Будивельник, 1991. – 137 с.

17. Довжик, В.Г. Технология высокопрочного керамзитобетона [Текст] / В.Г. Довжик, В.А. Дорф, В.П. Петров. – М.: Стройиздат, 1976. – 136 с.

18. Okamura Hajime, Ouchi Masahiro Self-Compacting Concrete // Journal of Advanced Concrete Technology. – 2003. – vol. 1, №1. – P. 5-15.

Щербина Олег Сергійович, аспірант кафедри міського будівництва та господарства Одеської державної академії будівництва та архітектури.

Барабаш Іван Васильович, д-р техн. наук, професор кафедри міського будівництва та господарства Одеської державної академії будівництва та архітектури.

Ксьоншкевич Любов Миколаївна, канд. техн. наук, доцент кафедри міського будівництва та господарства Одеської державної академії будівництва та архітектури.

Barabash Ivan Vasilyevich, Dr., Prof., Department of Urban Development and Municipal Engineering Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture.

Sherbina O.S. Graduate st. Department of Urban Development and Municipal Engineering Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture.

Ksenshkevich L.N., Cand. Sc., Associate Prof. Department of Urban Development and Municipal Engineering Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture.

Прийнята 15.02.2016 р.