



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
МОСКОВСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
СТРОИТЕЛЬНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ



АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ
СТРОИТЕЛЬНОЙ ОТРАСЛИ
И ОБРАЗОВАНИЯ

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ СТРОИТЕЛЬНОЙ ОТРАСЛИ И ОБРАЗОВАНИЯ — 2023

Сборник докладов IV Национальной научной конференции
(г. Москва, 15 декабря 2023 г.)

© ФГБОУ ВО «НИУ МГСУ», 2024

ISBN 978-5-7264-3367-7

Москва
Издательство МИСИ – МГСУ
2024

УДК 69+378
ББК 38+74.4
А43

А43 **Актуальные проблемы строительной отрасли и образования — 2023** [Электронный ресурс] : сборник докладов IV Национальной научной конференции (г. Москва, 15 декабря 2023 г.) / Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, управление научной политики. — Электрон. дан. и прогр. (33 Мб) — Москва : Издательство МИСИ – МГСУ, 2024. — URL: <https://mgsu.ru/resources/izdatelskaya-deyatelnost/izdaniya/izdaniya-otkr-dostupa/>. — Загл. с титул. экрана.

ISBN 978-5-7264-3367-7

Содержит доклады участников IV Национальной научной конференции «Актуальные проблемы строительной отрасли и образования — 2023», рекомендованные Программным комитетом к публикации.

На конференции были представлены доклады преподавателей, специалистов, руководителей исследовательских центров, научных школ, научных руководителей магистрантов, аспирантов и докторантов.

Для научных работников, специалистов, аспирантов, магистрантов и обучающихся высших учебных заведений строительной отрасли.

Научное электронное издание

*Доклады публикуются в авторской редакции.
Авторы опубликованных докладов несут ответственность
за достоверность приведенных в них сведений.*

© ФГБОУ ВО «НИУ МГСУ», 2024

Секция 2. Строительные материалы и технологии

Нгуен Ван Минь ПРОДВИЖЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ С БЕТОНОМ НА ОСНОВЕ ОТХОДОВ УГОЛЬНЫХ ШАХТ.....	170
В.В. Зайцев МИНИМИЗАЦИЯ ВЫСОЛООБРАЗОВАНИЙ НА ПОВЕРХНОСТИ НАРУЖНЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ПАНЕЛЕЙ.....	176
М.В. Кондрашов, И.В. Степина ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЛИГНИНА В КАЧЕСТВЕ СВЯЗУЮЩЕГО ДЛЯ КОМПОЗИТНЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ	185
И.В. Козлова, М.В. Синотова ВЛИЯНИЕ ТОНКОДИСПЕРСНОГО ЦЕОЛИТА НА ФИЗИКО-МЕХАНИЕСКИЕ СВОЙСТВА ЦЕМЕНТНОГО КАМНЯ	190
Т.Р. Баркая, П.В. Куляев, Р.З. Цыбина, Г.В. Новиченков, С.О. Токарев ПРИМЕНЕНИЕ НИЗКОУГЛЕРОДНЫХ КОМПОЗИЦИЙ ДЛЯ МОНОЛИТНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА	194
П.В. Куляев, Р.З. Цыбина, В.В. Белов, Т.Р. Баркая ВОПРОСЫ ОПТИМИЗАЦИИ ЗЕРНОВОГО СОСТАВА МЕЛКОЗЕРНИСТЫХ БЕТОНОВ.....	199
Д.Д. Бабаев, К.С. Петропавловский, М.Ю. Завадько, Х.А. Микаэля ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ШЛАКА В ГЕОПОЛИМЕРАХ: ОБЗОР	204
Танг Ван Лам, Фам Дык Луонг, Во Динь Тронг, Б.И. Булгаков ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МНОГОТОННАЖНЫХ ОТХОДОВ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПЕНОБЕТОНА ВО ВЬЕТНАМЕ	209
Ю.Р. Кривобородов, Д.А. Лежебоков ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ОТВАЛЬНОГО МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ШЛАКА ДЛЯ ЕГО ПРИМЕНЕНИЯ В БЕТОНАХ	215
А.О. Хубаев ОСОБЕННОСТИ ПРОИЗВОДСТВА БЕТОННЫХ РАБОТ ПРИ ОТРИЦАТЕЛЬНЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ.....	218
С.В. Самченко, Д.С. Мошковский ВОЗМОЖНОСТЬ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО КОВШОВОГО ШЛАКА В СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛАХ	225
М.О. Шамрук, Р.Р. Казарян СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ БЫСТРОГО ВОЗВЕДЕНИЯ ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ	230
С.В. Шашкин, Т.А. Мацеевич ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА НА РЕЛАКСАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА СТЕКЛОПЛАСТИКА	235
Е.А. Макарова, Р.А. Шырдаев, А.М. Стрельчук, Р.Э Алимуратов, Ц. Хань ПРИМЕНЕНИЕ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ НЕФТЕПРОВОДА НА МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛЫХ ГРУНТАХ.....	240

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МНОГОТОННАЖНЫХ ОТХОДОВ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПЕНОБЕТОНА ВО ВЬЕТНАМЕ

Танг Ван Лам¹, Фам Дык Луонг², Во Динь Тронг³, Б.И. Булгаков⁴

^{1,2,3} Ханойский горно-геологический университет, г. Ханой (Вьетнам),

⁴ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26,

¹lamvantang@gmail.com

²luong100x@gmail.com

³vodinhtrong2611@gmail.com

⁴BulgakovBI@mgsu.ru

Аннотация

Пенобетон – это разновидность ячеистого бетона, получаемого с помощью пенообразователя, который увеличивает объем бетонной смеси при одновременном уменьшении ее массы. Использование пенообразователей позволяет улучшить тепло- и звукоизоляционные свойства ячеистых бетонов за счет создания в них воздушных пустот. Автоклавный газобетон и пенобетонные блоки – это строительные материалы, широко используемые в гражданском, коммерческом и промышленном строительстве. Легкие пенобетоны были известны еще в середине прошлого столетия, но их использование по целому ряду причин не получило широкого распространения во Вьетнаме при проведении строительных работ.

В статье рассмотрена возможность получения во Вьетнаме легких пенобетонов - современных строительных материалов, повышающих экологичность производства строительных изделий и конструкций и получаемых путем использования пенообразователя EABASSOC и многотоннажных промышленных отходов в виде топливной золы-уноса и доменного шлака, что приводит к снижению их стоимости.

ВВЕДЕНИЕ

Пенобетон представляет собой легкий бетон с пористой структурой, получаемый путем отверждения легкобетонных смесей, состоящих из связующего, мелкого заполнителя, воды и пенообразователя [1,2].

Пенобетон является экономичным, экологичным и легким теплоизоляционно-конструкционным материалом, который при рациональном проектировании его состава и соблюдении требований технологии изготовления способен обеспечить требуемый уровень тепло- и звукоизоляции внутри помещений, а также огнестойкость конструкций и устойчивость к воздействию насекомых [2,3], что очень актуально в условиях жаркого и влажного климата Вьетнама.

Также использование блоков из легких бетонов вместо весьма популярных во Вьетнаме керамических кирпичей при строительстве малоэтажных зданий будет способствовать снижению нагрузки на их первые этажи и в особенности, на фундаменты, что будет способствовать снижению затрат на их сооружение.

Кроме того, во Вьетнаме много тепловых угольных электростанций и металлургических заводов, в результате работы которых ежегодно образуются миллионы тонн промышленных отходов. По некоторым данным [4,5], каждый год металлургическая промышленность производит около 45 ÷ 55 млн. т. шлаков, а золошлаковые отходы ТЭС ежегодно составляют около 50 ÷ 60 млн. т. Поэтому проблема утилизации многотоннажных техногенных отходов и изучения их возможности использования в качестве местного вторичного сырья для производства экономически и экологически эффективных строительных материалов, в том числе и пенобетонов, имеет для Вьетнама важное экономическое, экологическое и социальное значение.

Целью настоящего исследования стало получение и изучение свойств пенобетона, содержащего в своем составе золу-уноса ТЭС и доменный шлак предприятий Вьетнама и обладающего средней расчетной плотностью бетонной смеси менее 1000 кг/м^3 , фактической средней плотностью пенобетона сухом состоянии в возрасте 28 суток порядка 700 кг/м^3 и прочностью на сжатие в 28-суточном возрасте больше 5 МПа. Для достижения поставленной цели требовалось решить следующие задачи: произвести расчет состава пенобетонной смеси, позволяющей получить пенобетон с требуемыми показателями, на основании результатов которого изготовить пенобетонные образцы для экспериментальных испытаний и провести экспериментальные испытания для подтверждения предположения о возможности получения легкого пенобетона, обладающего указанными выше свойствами, используя для этого в качестве дополнительных цементирующих материалов многотоннажные отходы промышленности Вьетнама в виде низкокальциевых кислых зол-уноса ТЭС и тонкомолотых доменных гранулированных шлаков.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В работе были использованы следующие сырьевые материалы: портландцемент, кварцевый песок, кислая зола-уноса ТЭС, тонкомолотый доменный гранулированный шлак, пенообразователь и воду.

Для проведения исследований был взят портландцемент (Ц) ЦЕМ I 42,5Н производства завода «Бут Сон» (Вьетнам) с истинной плотностью 3100 кг/м^3 .

В качестве тонкодисперсных активных минеральных добавок были использованы низкокальциевая зола-уноса (ЗУ) ТЭС «Хай Фонг» (Вьетнам) с истинной плотностью 2340 кг/м^3 и тонкомолотый доменный гранулированный шлак (ДШ) металлургического завода «Хоа Фат» (Вьетнам) с истинной плотностью 2290 кг/м^3 . Химический состав и физические характеристики указанных цементирующих материалов приведены в табл. 1.

Табл. 1. Химический состав и физические характеристики цементирующих материалов

Среднее содержание оксидов, % масс., и физические характеристики	Портландцемент	Зола-уноса	Тонкомолотый доменный гранулированный шлак
SiO ₂	22,56	59,91	35,45
Al ₂ O ₃	5,29	23,29	13,52
Fe ₂ O ₃	3,47	5,67	-
SO ₃	-	0,49	0,14
K ₂ O	0,61	-	0,28
Na ₂ O	0,14	-	-
MgO	2,01	1,45	7,89
CaO	63,37	1,68	40,88
TiO ₂	-	-	0,50
Потери при прокаливании	2,55	7,51	1,34
Насыпная плотность, кг/м ³	1100	850	830
Удельная поверхность, см ² /г	3660	3980	4550

Кварцевый песок (П) реки Ло (Вьетнам) с истинной плотностью 2660 кг/м^3 и размером частиц от 0,14 мм до 1,25 мм применяли в качестве мелкого заполнителя.

Для создания ячеистой пористой структуры пенобетона использовали пенообразователь EABASSOC (Пе) с истинной плотностью 1020 кг/м^3 , в виде водного раствора 2,5%-ной концентрации [6].

Стабильность образующейся пены оценивали в результате проведения следующих испытаний: 2,5%-ный водный раствор пенообразователя объемом 100 мл помещали в чашку из нержавеющей стали объемом 300 мл и перемешивали высокоскоростной лопастной мешалкой в течение 10 мин. при 10000 об./мин. Затем образовавшуюся пену переносили в мерную колбу объемом 200 мл и сразу измеряли ее объем, после чего последовательно измеряли объем пены спустя 1, 2 и 3 часа после ее получения [5]. Согласно [7] стабильность пены рассчитывали по формуле (1):

$$\text{Стабильность пены} = \frac{\text{Объём пены, мл.}}{100, \text{ мл.}} * 100\%. \quad (1)$$

Результаты испытаний пенообразователя EABASSOC на стабильность образующейся пены представлены в табл. 2.

Табл. 2. Стабильность образующейся пены во времени

Показатели	Результаты испытаний		
Продолжительность испытания, ч.	1	2	3
Стабильность пены, %	92	76	65

Вода затворения (В) для получения пенобетонной смеси соответствовала требованиям ГОСТ 23732-2011 и имела значение рН = 7,5.

Методология работы включала в себя следующее:

- для определения предварительного состава пенобетонных смесей был использован метод абсолютных объемов;
- среднюю влажность в естественном состоянии в возрасте твердения 28 суток определяли по вьетнамскому стандарту TCVN 9030:2017. Легкий бетон. Методы испытаний;
- среднюю плотность пенобетонов в сухом состоянии в возрасте твердения 28 суток определяли на образцах-кубах размером 100х100х100 мм согласно ГОСТ 12730.1-2020;
- водопоглощение образцов пенобетона в возрасте твердения 28 суток определяли по вьетнамскому стандарту TCVN 3113:1993. Бетоны тяжелые. Метод определения водопоглощения;
- прочность пенобетонов на сжатие в 7 и 28-суточном возрасте определяли испытанием образцов-кубов размером 100х100х100 мм в соответствии с требованиями ГОСТ 10180-2012 на универсальной испытательной машине ADVANTEST 9. Скорость нарастания нагрузки при этом согласно требованиям ГОСТ 10180-2012 составляла $(0,6 \pm 0,2)$ МПа/с.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

1. Проектирование составов пенобетонов

При проектировании составов пенобетонов исходили из следующих положений:

- расчетная средняя плотность пенобетонных смесей должна быть менее 1000 кг/м^3 ;
- средней плотностью пенобетонов в сухом состоянии в возрасте 28 суток должна быть порядка 700 кг/м^3 ;
- содержание пенообразователя должно составлять 3% от массы цемента;
- суммарное содержание золы-уноса и тонкомолотого доменного гранулированного шлака принимается равным 30% по массе от общего содержания твердых компонентов в пенобетонной смеси;
- соотношение портландцемент : мелкий наполнитель + заполнители : вода = 1:1:1 [1, 8].

С помощью метода абсолютных объемов, а также последующей корректировки на основании полученных экспериментальных результатов, были рассчитаны составы бетонных смесей для получения пенобетонов, обладающих к 28 суткам твердения средней

плотностью в сухом состоянии порядка 700 кг/м³. Разработанные составы двух пенобетонных смесей приведены в табл. 3.

Табл. 3. Составы пенобетонных смесей

Составы	Содержание сырьевых компонентов, кг, в 1 м ³ пенобетонной смеси						Расчетная средняя плотность пенобетонной смеси, кг/м ³
	Ц	В	П	ЗУ	ДШ	Пе	
ID-01	323	323	129	129	65	9,7	978,7
ID-02	323	323	129	65	129	9,7	978,7

Процесс приготовления пенобетонных смесей в лопастном смесителе состоял из следующих этапов:

- смешивания портландцемента, золы-уноса, тонкомолотого доменного гранулированного шлака и кварцевого песка до получения однородной сухой смеси;
- смешивания полученной сухой смеси с водой до получения жидкой смеси однородной консистенции;
- медленного добавления раствора пенообразователя в жидкую смесь и последующего заключительного перемешивание всех сырьевых компонентов до получения пенобетонной смеси при общей продолжительности смешения сырьевых компонентов, соответственно 5 и 10 мин.

2. Экспериментальные результаты испытания разработанных пенобетонов

Результаты определения средней влажности в естественном состоянии, плотности в сухом состоянии, водопоглощения и прочности на сжатие разработанных пенобетонов в разном возрасте твердения при продолжительности смешения сырьевых компонентов для получения пенобетонных смесей в течение 5 и 10 мин. приведены в табл. 4 и 5.

Табл. 4. Значения показателей пенобетонных образцов при продолжительности приготовления пенобетонных смесей 5 минут

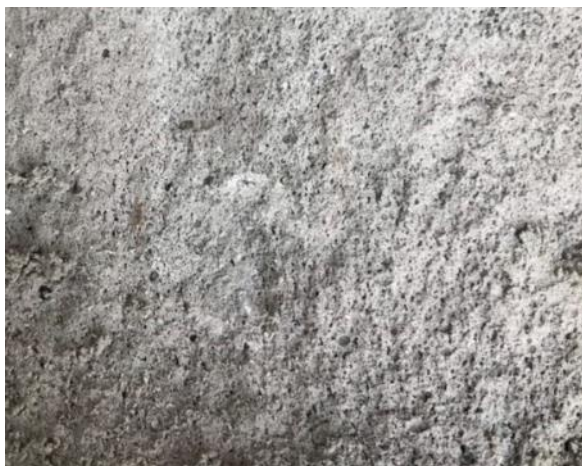
Показатели	Значения показателей			
	ID-01		ID-02	
	Среднее значение	Стандартное отклонение	Среднее значение	Стандартное отклонение
Средняя влажность в естественном состоянии в возрасте твердения 28 суток, % масс.	11,5	2,1	10,3	1,5
Средняя плотность в сухом состоянии в возрасте твердения 28 суток, кг/м ³	933	5,1	948	4,2
Водопоглощение в возрасте твердения 28 суток, % масс.	22,4	3,5	21,1	3,1
Прочность на сжатие, МПа, в возрасте твердения:				
7 суток	5,16	1,6	5,87	1,7
28 суток	8,92	2,2	9,15	2,0

Табл. 5. Значения показателей пенобетонных образцов при продолжительности приготовления пенобетонных смесей 10 минут

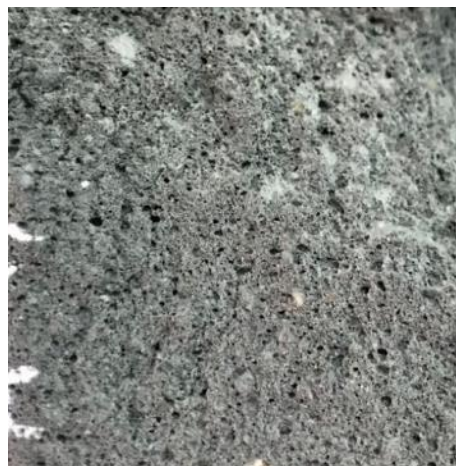
Показатели	Значения показателей			
	ID-01		ID-02	
	Среднее значение	Стандартное отклонение	Среднее значение	Стандартное отклонение
Средняя влажность в естественном состоянии в возрасте твердения 28 суток, % масс.	14,5	2,2	13,3	1,7
Средняя плотность в сухом состоянии в возрасте твердения 28 суток, кг/м ³	704	4,5	705	3,5
Водопоглощение в возрасте твердения 28 суток, % масс.	26,6	3,0	27,5	3,5
Прочность на сжатие, МПа, в возрасте твердения:				
7 суток	3,95	2,1	4,05	2,5
28 суток	5,95	1,8	6,17	2,2

Из приведенных в табл. 4 и 5 экспериментальных результатов видно, что средняя влажность, средняя плотность, водопоглощения и прочность на сжатие разработанных пенобетонов зависит от продолжительности приготовления пенобетонных смесей, что коррелируется с полученными ранее результатами других исследователей [9,10]. При этом, при двукратном увеличении продолжительности смешения сырьевых материалов с 5 до 10 мин. наблюдается увеличение средней влажности и водопоглощения пенобетонов и снижение их средней плотности и прочности на сжатие, что можно объяснить большим вовлечением в бетонную смесь атмосферного воздуха с ростом продолжительности перемешивания сырьевых компонентов при их приготовлении.

Сравнительное изображение структуры образцов пенобетонов с различной продолжительностью приготовления пенобетонных смесей после их испытания на прочность на сжатие, подтверждающие сформулированное выше предположение о снижении средней плотности получаемых пенобетонов с ростом длительности перемешивания сырьевых компонентов, представлено на рис. 1.



а) Перемешивание в течение 5 минут



б) Перемешивание в течение 10 минут

Рис. 1. Структура образцов пенобетонов с различной продолжительностью приготовления пенобетонных смесей после их испытания на прочность на сжатие

ВЫВОДЫ

В результате проведенных экспериментальных исследований можно сделать следующие основные выводы:

1. Экспериментально подтверждена возможность получения во Вьетнаме из пенобетонных смесей с расчетной средней плотностью менее 1000 кг/м³ легких пенобетонов, обладающих средней плотностью в сухом состоянии в возрасте твердения 28 суток порядка 700 кг/м³ и прочностью на сжатие в 28-суточном возрасте больше 5 МПа, используя для этого многотоннажные промышленные отходы в виде низкокальциевых кислых зол-уноса ТЭС и тонкомолотых доменных гранулированных шлаков, введенных в пенобетонные смеси в качестве дополнительных цементирующих материалов в количестве 30 % масс. от общего содержания твердых компонентов в смеси.

2. Установлено, что вне зависимости от продолжительности приготовления пенобетонной смеси, у пенобетона, содержащего в большем количестве тонкомолотый доменный гранулированный шлак по сравнению с пенобетоном с большим количеством низкокальциевой золы-уноса, при сопоставимых значениях средней влажности и водопоглощения наблюдается несколько выше средняя плотность и прочность на сжатие в возрасте твердения 7 и 28 суток, что по-видимому, можно объяснить большей активностью шлака по сравнению с использованной золой.

ЛИТЕРАТУРА

1. Невилл А.М. Свойства бетона. – М.: Изд. литературы по строительству. 1972. 345 с.
2. Шахова Л.Д. Технология пенобетона. Теория и практика. - М.: АСВ. 2010. 247 с.
3. Даулетияров М.С., Жанабаев М.Г., Колесников А.С. Исследование состава и свойств цемента для пенобетона // Научно-методический журнал. 2017. №1 (14). С. 12-13.
4. Van Lam Tang, Trong Chuc Nguyen, Xuan Hung Ngo, Van Phi Dang, Boris Bulgakov, Sophia Bazhenova. Effect of natural pozzolan on strength and temperature distribution of heavyweight concrete at early ages. MATEC Web of Conference. 2018. Vol. 193. DOI: 10.1051/mateconf/201819303024.
5. Van Lam Tang, Tho Vu Dinh, Dien Vu Kim, Boris Bulgakov, Olga Aleksandrova, Sophia Bazhenova. Combined Effect of Bottom Ash and Expanded Polystyrene on Light - Weight Concrete Properties. MATEC Web of Conference. 2018. Vol. 251. DOI: <https://doi.org/10.1051/mateconf/201825101007>.
6. Chen B., Wu Z., Liu N. Experimental Research on Properties of High-Strength Foamed Concrete // Journal of Materials in Civil Engineering. 2012. Vol. 24(1). Pp. 113-118.
7. Zhao L., Liu G.Q., Li B., Li L. Functional Properties of Ultrasonically Treated Wheat Gluten // Advanced Materials Research. 2012. Vols. 463-464. Pp. 855-860.
8. Chánh N.V. Sử dụng bê tông nhẹ trong xây dựng nhà ở hướng tới sự phát triển đô thị bền vững // Trường Đại Học Bách Khoa TP.HCM. 2010. 9 p.
9. Special Concretes. Workability and Mixing / Edited by P.J.M. Bartos. – London: CRC Press. 1994. 288 p.
10. Vilches J., Ramezani M., Neitzert T. Experimental Investigation of the Fire Resistance of Ultra-lightweight Foam Concrete // International Journal of Advanced Engineering Applications. 2012. Vol. 1. Iss. 4. Pp. 15-22.