



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
МОСКОВСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
СТРОИТЕЛЬНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ



АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ
СТРОИТЕЛЬНОЙ ОТРАСЛИ
И ОБРАЗОВАНИЯ

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ СТРОИТЕЛЬНОЙ ОТРАСЛИ ОБРАЗОВАНИЯ – 2022

Сборник докладов Третьей Национальной научной конференции
(г. Москва, 19 декабря 2022 г.)

© ФГБОУ ВО «НИУ МГСУ», 2023
ISBN 978-5-7264-3202-1

Москва
Издательство МИСИ – МГСУ
2023

Содержание

Секция 2. Строительные материалы и технологии

А.Ф. Иванов, А.В. Кочетков, Н.С. Семенова, И.А. Чижиков ОЦЕНКА КАЧЕСТВА СТРОИТЕЛЬСТВА АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ ПОКРЫТИЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ _____	105
Т.М. Хафизов, А.Х. Байбурин, А.Д. Овчинников ТЕХНОЛОГИЯ БЕТОНИРОВАНИЯ КОНСТРУКЦИЙ СПОСОБОМ ОПУСКАЮЩЕГОСЯ БЕТОНА _____	112
Т.Ч. До, В.В. Столяров, Т.В. Сусанина, Д.В. Стибунов, С.С. Иноземцев СВОЙСТВА АСФАЛЬТОБЕТОНА С ИНКАПСУЛИРОВАННЫМ МОДИФИКАТОРОМ _____	117
А.Д. Жуков, Б.И. Булгаков, Б.Б. Турганбаев, Б.М. Хожабергенев КЕРАМИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ СЫРЬЯ КАРАКАЛПАКСТАНА _____	122
А.Д. Жуков, И.В. Бессонов, Б.А. Демиссе, Р.С. Поудел ЛЕГКАЯ ШТУКАТУРНАЯ СИСТЕМА _____	128
С.В. Самченко, М.А. Абрамов, А.Б. Османов ОЦЕНКА ИЗМЕНЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ШЛАКА ПРИ ЕГО АКТИВАЦИИ В ДЕЗИНТЕГРАТОРНОЙ УСТАНОВКЕ _____	133
Н.В. Хохлова, Н.И. Шестаков, И.И. Титова, Н.В. Сячинова ТЕРМИЧЕСКАЯ УСТОЙЧИВОСТЬ РЕКУПЕРАЦИОННЫХ БИТУМОВ _____	138
Л.Л. Макаров, С.В. Прохоров ПРОИЗВОДСТВО ТРОТУАРНОЙ ПЛИТКИ МЕТОДОМ ПОЛУСУХОГО ВИБРОПРЕССОВАНИЯ. _____	145
О.А. Ларсен, Д.О. Мелихов, И.О. Раббаа ПРОБЛЕМЫ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА КРАЙНЕМ СЕВЕРЕ _____	152
Б.А. Ефимов, К.А. Тер Закарян, И.В. Бессонов, Е.Д. Михайлик ЗДАНИЯ С БЕСШОВНОЙ ИЗОЛЯЦИОННОЙ ОБОЛОЧКОЙ _____	157
М.М. Мирзоян, А.И. Панченко, И.Я. Харченко, В.В. Воронин ИНЪЕКЦИОННЫЕ СМЕСИ НА ОСНОВЕ КОМПОЗИЦИОННЫХ ВЯЖУЩИХ ДЛЯ ЛИКВИДАЦИИ АКТИВНЫХ ВОДОПРОЯВЛЕНИЙ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ И ЭКСПЛУАТАЦИИ ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ _____	163
О.А. Васильева, А.Н. Суворова МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПРОИЗВОДСТВА СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ, ОСНОВАННОГО НА ТРЕХКОМПОНЕНТНОЙ ХИМИЧЕСКОЙ РЕАКЦИИ _____	168
Танг Ван Лам, Нгуен Чынг Хьеу, Б.И. Булгаков, О.В. Александрова ВЛИЯНИЕ АЛЮМИНИЕВОЙ ПУДРЫ НА СВОЙСТВА ЛЕГКОГО ГАЗОБЕТОНА _____	171
Н.В. Новиков ВЛИЯНИЕ БАРИЙСОДЕРЖАЩЕЙ ДОБАВКИ НА СВОЙСТВА ЯЧЕИСТЫХ БЕТОНОВ _____	178

ВЛИЯНИЕ АЛЮМИНИЕВОЙ ПУДРЫ НА СВОЙСТВА ЛЕГКОГО ГАЗОБЕТОНА

Танг Ван Лам¹, Нгуен Чынг Хьеу², Б.И. Булгаков³, О.В. Александрова⁴

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

^{3,4}ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26,

¹lamvantang@gmail.com

²hieuhumgk64@gmail.com

³BulgakovBI@mgsu.ru

⁴AleksandrovaOV@mgsu.ru

Аннотация

Легкие газобетоны получают путем добавления газообразователя, как правило в виде алюминиевой пудры или пасты, во влажную сырьевую композицию, в результате чего в ходе отверждения бетонной массы будет происходить поризация структуры из-за химического взаимодействия алюминия со свободным гидроксидом кальция с выделением водорода. При этом, количество вводимого газообразователя зависит от требований, предъявляемым к свойствам получаемого газобетона.

Целью настоящей работы было исследование свойств газобетона, содержащего топливную низкокальциевую золу-уноса и доменный шлак. Полученные результаты показали, что с увеличением содержания алюминиевой пудры в бетонной смеси плотность газобетона уменьшается пропорционально росту его пористости, что приводит к снижению прочностных показателей бетона на сжатие и на растяжение при изгибе. Включение многотоннажных промышленных отходов в виде кислой золы-уноса, характеризующейся большой пуццоланической активностью из-за высокого содержания аморфного кремнезема, приводящей к образованию вторичных низкоосновных гидросиликатов кальция – основных минералов прочности цементного камня бетона, и доменного шлака, обладающего благодаря своему химическому составу не только пуццоланическими, но и гидравлическими свойствами, в состав сырьевой композиции позволяет сократить расход портландцемента и будет оказывать благоприятное влияние на экологическую ситуацию во Вьетнаме.

ВВЕДЕНИЕ

Топливная зола-уноса и доменные шлаки – одни из самых крупнотоннажных промышленных отходов в современном мире. Зола-уноса содержится в отходящих дымовых газах в виде мелких частиц, которые образуются при сжигании твердого топлива на теплоэлектростанциях [1, 2]. В составе золы-уноса содержится много тонкодисперсных фаз, состоящих в основном из оксидов кремния, алюминия, железа и серы, кроме того, она может содержать некоторое количество несгоревшего угля [3, 4]. Доменные шлаки - отходы черной металлургии в виде частиц диаметром 10 ÷ 200 мм, которые получают в качестве побочного продукта при выплавке чугуна из железной руды [5, 6].

Одновременно с быстрым развитием индустриализации и модернизации промышленности во Вьетнаме растет спрос на электроэнергию, а также на чугун, сталь и различные сплавы. Все это приводит к увеличению количества образующихся топливных зол и шлаков, требующих все большую площадь свалок для захоронения твердых отходов [7]. При неправильной организации захоронения такие отходы будут загрязнять воду и почву, нанося, тем самым, ущерб окружающей среде [8]. Учитывая ограниченные площади территории Вьетнама, такая ситуация недопустима.

Поэтому в настоящее время Вьетнам ориентирован на создание экономики замкнутого цикла, направленной на экономию природных ресурсов и рациональную утилизацию крупнотоннажных техногенных отходов. В связи с этим, мероприятия по использованию большого количества золы и шлака – отходов работы тепловых

электростанций и металлургических предприятий, в качестве сырья для производства строительных материалов представляются очень важной экологической задачей, решение которой способно также обеспечить получение существенного экономического эффекта.

Как известно, различные виды газобетона получают путем образования пузырьковых пустот в структуре сырьевых смесей, состоящих из вяжущего вещества и мелкого заполнителя, которые равномерно распределены по всему объему твердеющей бетонной массы. При этом, газообразующая добавка в виде алюминиевой пудры или пасты позволяет получить легкий бетон повышенной пористости, актуальный для применения в современном строительстве. Причем, такой бетон используется не только для изготовления тепло- и звукоизоляционных материалов [2, 9], но и в огнезащитных конструкциях, а также с целью уменьшения габаритных размеров и массы строительных изделий и конструкций и снижения оказываемых ими статических и сейсмических нагрузок [3, 4]. Таким образом, фундаменты возводимых зданий и сооружений становятся более экономичными, а затраты на строительство снижаются [10]. Типичные легкие бетоны имеют диапазон средней плотности в сухом состоянии от 300 до 2000 кг/м³, а их кубическая прочность на сжатие в проектном возрасте 28 суток находится в интервале от нескольких целых до 60 МПа [11].

Потому основной задачей настоящего исследования было изучение влияния количества алюминиевой пудры на физико-механические свойства легкого газобетона, содержащего низкокальциевую золу-уноса и доменный шлак, и предназначенного для изготовления сборных легких панелей для строительства высотных зданий во Вьетнаме.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Материалы

Для получения легких газобетонов были использованы следующих сырьевые материалы.

Портландцемент (Ц) ЦЕМ II 42,5 Н производства завода «Там Дьеп» (Вьетнам) с истинной плотностью 3,15 г/м³ и удельной поверхностью 3650 см²/г. Характеристики использованного портландцемента приведены в таблице 1 и 2.

Таблица 1. Химический состав клинкера портландцемента завода «Там Дьеп»

Содержание оксидов, %						
CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	SO ₃	п.п.п.*
62,23	22,27	5,37	4,12	2,40	2,63	0,98

Примечание: п.п.п.* - потери при прокаливании.

Таблица 2. Минералогический состав клинкера портландцемента завода «Там Дьеп»

Содержание минералов, %				
C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF	Прочие
56,3	23,4	4,7	12,4	3,2

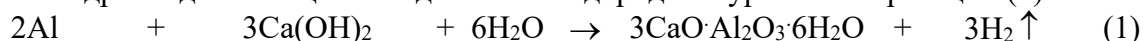
Низкокальциевая (кислая) топливная зола-уноса (ЗУ) и доменный шлак (ДШ). Их химический состав и физические свойства представлены в таблице 3.

Таблица 3. Химический состав и физические свойства золы-уноса и доменного шлака

Материалы	Зола-уноса	Доменный шлак
Химический состав, %		
SiO ₂	54,2	36,3
Al ₂ O ₃	23,3	12,6
Fe ₂ O ₃	9,8	3,4
SO ₃	2,5	5,7
K ₂ O	1,5	0,4
Na ₂ O	1,6	0,3
CaO	1,2	40,1
P ₂ O ₅	1,4	-
Потери при прокаливании	4,5	1,2
Физические свойства		
Удельная поверхность, см ² /г	5,82	0,37
Истинная плотность, г/см ³	2,35	2,92
Насыпная плотность, кг/м ³	1575	1550
Водопотребность, % масс.	101	145

При этом, доменный шлак был использован в качестве мелкого заполнителя в составе сырьевых композиций для получения легких газобетонов.

Для получения ячеистой структуры газобетона была использована алюминиевая пудра (АП) с размером частиц 50-75 мкм, истинной плотностью 2650 кг/м³ и насыпной плотностью 1560 кг/м³, которая в бетонной смеси вступала в химическую реакцию со свободным гидроксидом кальция с выделением водорода по уравнению реакции (1):



Для снижения водопотребности бетонной смеси при сохранении ее требуемой удобоукладываемости были использованы поликарбоксилатный суперпластификатор SR 5000F (SR5000) производства фирмы «Silk Road» с плотностью водного раствора 1,12 г/см³ при температуре 20 ± 5°С. Это суперпластификатор типа G, соответствующий требованиям ASTM C494.

Вода (В), использованная для приготовления газобетонной смеси, соответствовала требованиям ГОСТ 23732-2011 и TCVN 4506: 2012.

Методы

Составы газобетонных смесей рассчитывали методом абсолютных объемов с последующей корректировкой по результатам экспериментальных испытаний.

Среднюю плотность полученных газобетонов определяли по стандарту TCVN 3115: 1993, а их пористость - по ГОСТ 12730.4-2020.

Прочность на сжатие (f_{cs} , МПа) газобетонов определяли испытанием по ГОСТ 10180-2012 образцов-кубов размером 150x150x150 мм в возрасте 28 суток нормального твердения, а на растяжение при изгибе – на образцах-призмах размером 100x100x400 мм.

Приготовление легких газобетонных смесей

Соотношения между сырьевыми компонентами, использованные для получения исследованных газобетонов, представлены в таблице 4.

Таблица 4. Соотношения между сырьевыми компонентами

Соотношение	$\frac{ДШ}{Ц}$	$\frac{ЗУ}{Ц}$	$\frac{SR5000}{Ц}$	$\frac{АП}{Ц}$	$\frac{В}{Ц}$	Относительный объем вовлеченного воздуха
Значение	2,0	0,3	0,015	0,0025 ÷ 0,01	0,5	2%

Для проведения исследований были использованы четыре состава газобетонных смесей с различным содержанием алюминиевой пудры, соответственно 0,25, 0,5, 0,75 и 1,0% от массы портландцемента.

Составы газобетонных смесей представлены в таблице 5.

Таблица 5. Составы газобетонных смесей

№ состава	АП, %	Содержание сырьевых компонентов, кг/м ³					
		Ц	ДШ	ЗУ	В	SP5000	АП
Состав №1	0,25	400	800	120	200	6	1
Состав №2	0,50	400	800	120	200	6	2
Состав №3	0,75	400	800	120	200	6	3
Состав №4	1,0	400	800	120	200	6	4

РЕЗУЛЬТАТЫ

Полученные результаты исследования свойств газобетонов разработанных составов приведены в таблице 6.

Таблица 6. Свойства исследованных газобетонов

№ состава	Средняя плотность, кг/м ³	Пористость, %	Прочность на сжатие, МПа				Прочность на растяжение при изгибе в возрасте 28 суток, МПа
			3 сут.	7 сут.	14 сут.	28 сут.	
Состав №1	1820	11,45	16,2	23,6	29,5	31,8	4,05
Состав №2	1750	18,95	13,1	17,8	23,0	25,7	3,32
Состав №3	1650	20,45	12,8	16,0	20,3	22,3	3,05
Состав №4	1490	22,88	11,5	14,1	17,6	20,0	2,95

Из приведенных в таблице 1 экспериментальных результатов видно, что увеличение концентрации алюминиевой пудры в бетонной смеси с 0,25 до 1% от массы портландцемента приводит к закономерному снижению средней плотности газобетонов с 1820 до 1490 кг/м³ и повышению их пористости с 11,45 до 22,88% (рис. 1), что в свою очередь вызывает понижение их прочностных показателей на сжатие и на растяжение при изгибе, - соответственно, с 31,8 до 20 МПа и с 4,04 до 2,95 МПа в возрасте твердения 28 суток (рис. 2 и 3).

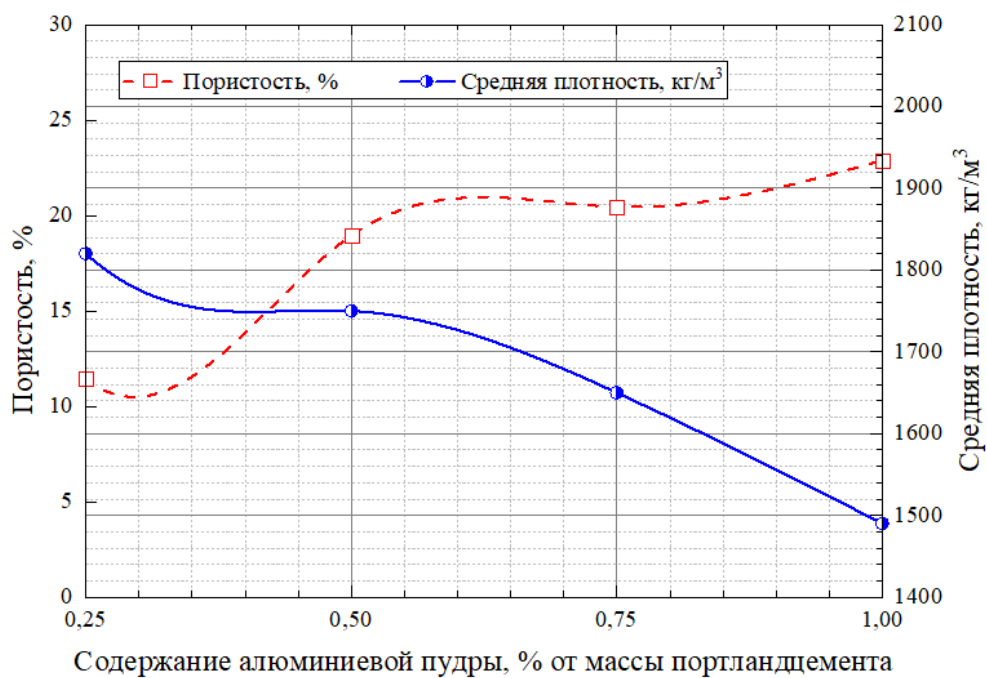


Рис. 1. Влияние содержания алюминиевой пудры на среднюю плотность и пористость газобетонов

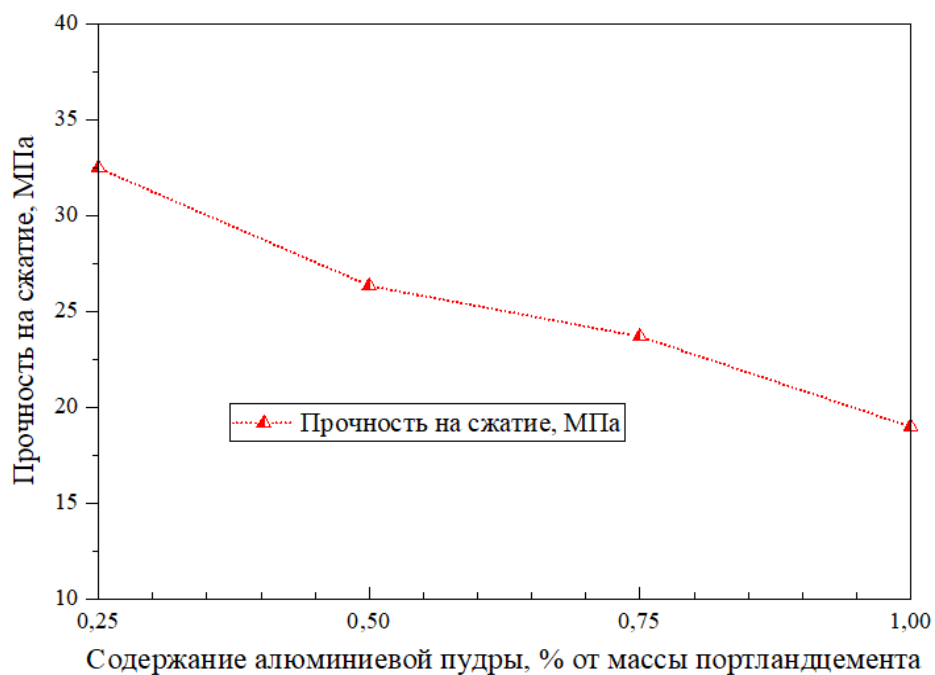


Рис. 2. Влияние содержания алюминиевой пудры на прочность газобетонов на сжатие в возрасте 28 суток

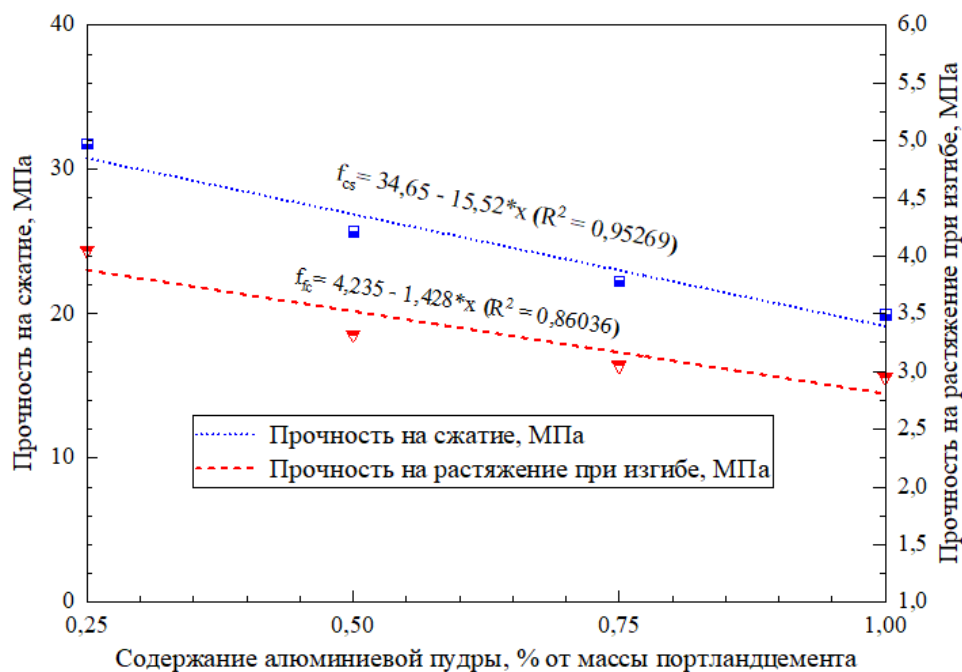


Рис. 3. Зависимость прочностных показателей газобетонов на сжатие и на растяжение при изгибе в возрасте 28 суток от содержания алюминиевой пудры

Для корреляции полученных экспериментальных данных был использован метод линейной регрессии, в результате чего были получены уравнения (2) и (3) со значениями коэффициента корреляции (R^2) соответственно 0,95269 и 0,86036 для прочности газобетонных образцов на сжатие и на растяжение при изгибе в зависимости от содержания алюминиевой пудры:

- для прочности на сжатие в возрасте 28 суток: (2)
 $f_{cs} = 34,65 - 15,52 \cdot x \quad (R^2 = 0,95269);$

- для прочности на растяжение при изгибе в возрасте 28 суток: (3)
 $f_k = 4,235 - 1,428 \cdot x \quad (R^2 = 0,86036),$

где x соответствует содержанию алюминиевой пудры в бетонной смеси, в % от массы портландцемента.

ВЫВОДЫ

На основании анализа результатов проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1. С ростом содержания алюминиевой пудры в бетонной смеси происходит понижение средней плотности получаемых газобетонов и увеличение их пористости, сопровождаемое снижением прочностных показателей на сжатие и растяжение при изгибе.

2. В соответствии с требованиями ГОСТ 25820-2021 по средней плотности и прочности на сжатие полученные газобетоны относятся к легким конструкционным и могут быть использованы для изготовления сборных легких панелей, предназначенных для строительства высотных зданий.

3. Использование крупнотоннажных техногенных отходов в виде золы-уноса и доменного шлака для получения легкого конструкционного газобетона будет способствовать снижению его стоимости из-за сокращения расхода портландцемента и окажет положительное влияние на улучшение экологии во Вьетнаме.

ЛИТЕРАТУРА

1. Government Office, Conclusions of the Prime Minister to implement the production program of utilization of unburned materials and the use of fly ash, slag and gypsum - waste of thermal power plants and chemical plants (ТВ-VPCP 218. Vietnam). 2013.

2. *Tang Van Lam, Vu Kim Dien, Ngo Xuan Hùng, Vu Dinh Tho., Bulgakov, B., Bazhenova, S.* Effect of aluminium powder on light-weight aerated concrete properties // E3S Web of Conferences. 2019. Vol. 97. 02005. EDP Sciences.
3. *Nguyễn T.B., Nguyễn T.T., Đinh H.Q.* Nghiên cứu sử dụng kết hợp tro bay nhiệt điện và xỉ lò cao để chế tạo bê tông chất kết dính kiềm hoạt hóa (không sử dụng xi măng) dùng cho các công trình thủy lợi làm việc trong môi trường biển góp phần bảo vệ môi trường. (Исследования по использованию комбинации термоэлектрической летучей золы и доменного шлака для производства активированного щелочного вяжущего для бетонов (без использования цемента) , работающих в морской среде. Đề tài NCKH cấp Quốc gia mã số KC.08.21/16-20.
4. *Lam V.T., Boris B., Sofia B., Olga A., Anh N.P., Tho D.V.* Effect of rice husk ash and fly ash on the workability of concrete mixture in the high-rise construction // E3S Web of Conferences. 2018. Vol. 33. 02029. 13 p.
5. *M.A.H. Bengin,* Combined Effects of Densified Polystyrene and Unprocessed Fly Ash on Concrete Engineering Properties // Buildings. 2017. Vol. 7 (77).
6. *Congqi Fang, Bing Chen.* Mechanical properties of EPS lightweight concrete // Construction Materials. 2011. Vol. 164. Issue CM4. P. 173-180. DOI: 10.1680/coma.900059.
7. *Nguyễn T.B., Nguyễn T.T., Đinh H.Q.* Nghiên cứu đánh giá chất lượng tro bay, xỉ lò cao của các nhà máy nhiệt điện, luyện kim ở Việt Nam (Исследования по оценке качества летучей золы, доменных шлаков тепловых электростанций и металлургических предприятий Вьетнама) // Tạp chí KH&CN Thủy lợi. 2019. № 57. С. 27-38.
8. *Tang V.L., Boris B., Olga A., Anh N.P., Yuri M.* Effect of rice husk ash on hydrotechnical concrete behavior // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 2018. Vol. 365. 032007. 8 p.
9. *Rufino, B., F. Boulc'h, M-V. Coulet, G. Lacroix, and R. Denoyel.* Influence of particles size on thermal properties of aluminium powder // Acta Materialia. 2007. Vol. 55. No. 8. P. 2815-2827.
10. *Shabbar, Rana, Paul Nedwell, and Zhangjian Wu.* Mechanical properties of lightweight aerated concrete with different aluminium powder content // MATEC Web of Conferences. 2017. Vol. 120. 02010.
11. *Kumar, E. M., and Ramamurthy, K.* Effect of fineness and dosage of aluminium powder on the properties of moist-cured aerated concrete // Construction and Building Materials. 2015. Vol. 95. P. 486-496.