

DOI: 10.12737/article_5b6d58455b5832.12667511

Танг Ван Лам, аспирант,
Нго Суан Хунг, аспирант,
Булгаков Б.И., канд. техн. наук, доц.,
Александрова О.В., канд. техн. наук, доц.,
Ларсен О.А., канд. техн. наук, доц.,
Орехова А.Ю., студент,
Тюрина А.А., студент

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЗОЛОШЛАКОВЫХ ОТХОДОВ В КАЧЕСТВЕ ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО ЦЕМЕНТИРУЮЩЕГО МАТЕРИАЛА

Золошлаковые отходы, образующиеся в результате сжигания твердого топлива, подвергнутые активации, благодаря своему индексу активности, малому размеру частиц, химическому, а также фазовому составу широко используются как добавки в технологии получения цементов и бетонов, что позволяет корректировать их свойства в нужном направлении, а также значительно снизить расход цемента в композиционных материалах. В работе использованы тонкодисперсные зольно-топливные отходы для повышения экономической эффективности производства цементов, а также с целью решения экологических проблем.

В результате проведенных экспериментальных исследований было установлено, что замена от 10 до 40 % масс. цемента на золу-уноса (ЗУ) или зольный остаток (ЗО) в составе вяжущего хотя и приводит к снижению прочностных показателей образцов из цементно-зольно-песчаной смеси вне зависимости от времени их твердения и тем сильнее, чем в большем количестве произведена такая замена, но одновременно способствует повышению равномерности изменения объема затвердевшего цементно-зольного теста. Выявлена возможность замены до 40 % масс. портландцементного клинкера на золу-уноса или на зольный остаток для получения пуццолановых цементов, которые имеют прочность на сжатие в возрасте 28 суток нормального твердения, соответственно, 33,9 МПа и 25,6 МПа.

Ключевые слова: *загрязнение окружающей среды, золошлаковые отходы, зола-уноса, зольный остаток, цементно-зольно-песчаная смесь, портландцементный клинкер, прочность на сжатие.*

Введение. С целью получения модифицированных бетонов в мире, в том числе и во Вьетнаме, широко применяются различные тонкодисперсные неорганические добавки природного и техногенного происхождения, которые в зависимости от своего минерального состава обладают пуццолановой или гидравлической активностью и служат как для экономии цемента, так и для уплотнения структуры искусственного камня. Например, микро- и нанокремнезем, метакаолин, ЗУ, ЗО, природные пуццоланы и др. [1–5].

Зола-уноса является тонкодисперсным материалом, состоящим из частичек размером до 0,14 мм, которые образуются в результате сжигания твердого топлива на тепловых электростанциях, после чего улавливаются электрофильтрами и в сухом состоянии с помощью пневмотранспорта поступают в силосы-накопители [6].

Зольный остаток – несгоревший остаток с зернами мельче 0,16 мм, образующийся из минеральных примесей при сжигании твердого топлива и осаждаемый из дымовых газов золоулавливающими устройствами. В зависимости от

вида топлива зола подразделяется на антрацитовую, каменноугольную, буроугольную, сланцевую, торфяную и др. [7].

Во Вьетнаме в последние годы из-за большой потребности в электроэнергии наблюдается значительный рост количества тепловых электростанций, работающих на твердом топливе, что приводит к появлению большего количества золошлаковых отходов.

Промышленные отходы, в том числе топливные, являются очень серьезной причиной возникновения проблем экологического характера, вызывающих загрязнение почвы, воды и воздуха окружающей среды во всех провинциях Вьетнама. При этом, уровень повторного использования техногенных отходов весьма ограничен и составляет всего около 2–5 % [8, 9].

Тепловая электростанция в индустриальном парке «Вунг Анг», расположенная в центральной части Вьетнама, начала свою работу в 2012 году. Ежегодно она образует примерно 1 млн. т. различных золошлаковых отходов, которые помимо загрязнения воздуха вызывают также серьезное загрязнение морской воды, приведшее в 2016

году к массовой гибели рыбы и морских животных (рис. 1) [10].

Поэтому использование отходов сжигания твердого топлива - это не столько вопрос эконо-

мии материальных ресурсов, сколько необходимость решения проблемы возрастающего загрязнения окружающей среды и, следовательно, здоровья нации.



Рис. 1. Загрязнение морской воды техногенными отходами в индустриальном парке «Вунг Анг» (Вьетнам)

Обзор литературы. По материалам исследований [11, 12] уровень утилизации топливных отходов в России составляет около 10 %, в ряде развитых стран – около 50 %, во Франции и в Германии – 70 %, а в Финляндии – около 90 % годового объема сухих зол-уноса и топливных зольных остатков. Кроме того, во многих странах проводится государственная политика, стимули-

рующая этот процесс. Так, в Китае золы доставляются потребителям бесплатно, а в Болгарии сама зола бесплатна. В Великобритании действуют пять региональных центров по сбыту золошлаковых отходов. В табл. 1 приводится обзор некоторых практических результатов использования золошлаковых отходов при производстве строительных материалов.

Таблица 1

Использование золошлаковых отходов в качестве сырья для производства строительных материалов

Год	Авторы	Название исследования	Виды материалов
1998	Баженов Ю.М. и др.	Мелкозернистый бетон [13]	Мелкозернистый бетон
2005	Malhotra V.M., Mehta P.K.	High-Performance, High-Volume Fly Ash Concrete. Supplementary cementing materials for sustainable development [14]	High performance concrete
2009	Энтин З.Б., Стржалковская Н.В.	Еще раз о золах-уноса ТЭС для производства цемента [15]	Цемент
2012	Энтин Э.Б. и др.	Золы ТЭС – сырье для цемента и бетона [16]	Цемент и бетон
2018	Tang Van Lam, Boris Bulgakov & etc.	Effect of rice husk ash and fly ash on the compressive strength of high performance concrete [17]	High performance concrete

В данной работе было проведено исследование возможности использования золошлаковых отходов ТЭС «Вунг Анг» в виде золы-уноса и зольного остатка в качестве дополнительного цементирующего материала при производстве цемента.

Материалы:

- портландцемент (Ц) типа ЦЕМ I 42,5 Н производства завода «Бут Сон» (Вьетнам) с истинной плотностью 3150 кг/м³;

- кварцевый песок (П) реки Ло (Вьетнам) с модулем крупности $M_k = 2,85$, истинной плотностью 2620 кг/м³ и насыпной плотностью 1570 кг/м³;

- зольный остаток (ЗО) ТЭС «Вунг Анг» класса F [18] с истинной плотностью 2220 кг/м³ и насыпной плотностью 765 кг/м³;

- зола-унос (ЗУ) ТЭС «Вунг Анг» класса F [18] с истинной плотностью 2350 кг/м³ и насыпной плотностью 812 кг/м³.

Результаты анализа ЗО и ЗУ ТЭС «Вунг Анг» приведены в табл. 2 и 3, а также на рис. 2.

Таблица 2

Химический состав ЗО и ЗУ ТЭС «Вунг Анг»

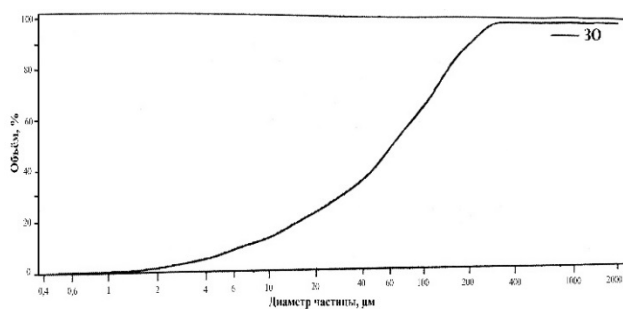
Вид топливных отходов	Средний химический состав, % масс.									
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O	MgO	CaO	P ₂ O ₅	п.п.п.
ЗО «Вунг Анг»	54,62	25,17	7,11	0,85	1,28	1,25	1,57	1,48	1,63	5,04
ЗУ «Вунг Анг»	54,91	23,1	5,67	0,37	1,05	1,71	2,53	1,55	1,6	7,51

Таблица 3

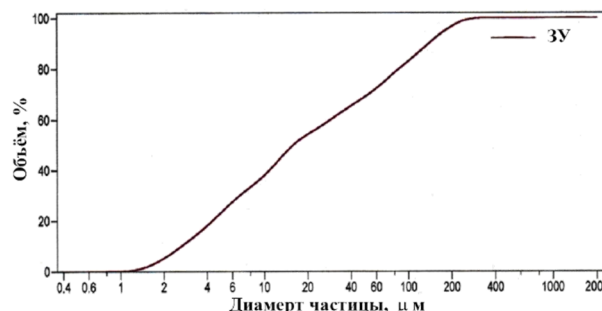
Физические характеристики ЗО и ЗУ ТЭС «Вунг Анг»

Свойства	ЗО «Вунг Анг»	ЗУ «Вунг Анг»
Истинная плотность, кг/м ³	2220	2350
Удельная поверхность, м ² /г	14,455	15,23
Влажность, %	5	0,06
Количество зерен, остающееся после просеивания на сите с размером отверстий 45 мкм, %	31	28,5

Частицы ЗО и ЗУ ТЭС «Вунг Анг» имеют сферическую форму, их гранулометрический состав приведен на рис. 2.



(а)



(б)

Рис. 2. Гранулометрические составы: (а) ЗО и (б) ЗУ ТЭС «Вунг Анг»

Методология. Изучение гранулометрического состава, использованных золошлаковых отходов проводили с помощью метода лазерной гранулометрии (рис. 2).

Сроки схватывания и равномерность изменения объема цементно-зольного теста определялись в соответствии с требованиями TCVN 6017:2015 (СРВ) [19].

Прочность на изгиб образцов-балочек размером 40×40×160 мм из цементно-зольно-песчаных растворов, а затем их половинок – на сжатие, определяли в соответствии с требованиями TCVN 6061:2011 (СРВ) [20].

Основная часть. Было исследовано влияние замены до 40 % масс. портландцемента в составе вяжущего зольным остатком или золой-уноса ТЭС «Вунг Анг» на динамику набора прочности цементно-зольно-песчаными растворами, которые твердели в течение от 3 до 28 суток в нормальных

условиях. Предварительно золошлаковые отходы высушивали и механоактивировали измельчением до состояния мелкодисперсного порошка с помощью смесителя в Институте строительной науки и технологии (СРВ) (рис. 3).

Образцы для испытаний на прочность формовали из растворяемых смесей, соблюдая соотношения Вяж : П = 1 : 3 и В/Вяж = 0,5, согласно требованиям стандарта TCVN 6061:2011. Содержание ЗО и ЗУ в образцах варьировалось в пределах от 0 до 40 % от массы вяжущего (цемент + топливные отходы). Составы указанных растворов приведены в табл. 4. Из полученных растворов изготавливали по 3 образца-балочки с размерами 40×40×160 мм (рис. 4), на которых после их твердения в нормальных условиях в течение 28 суток сначала определяли прочность цементно-зольно-песчаного камня на растяжение при изгибе (рис. 5), а после этого, на их половинках - прочность на сжатие (рис. 6).

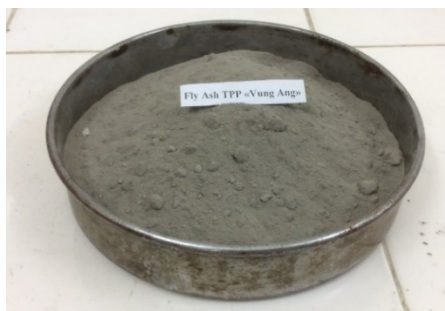


Рис. 3. Измельченные золошлаковые отходы ТЭС «Вунг Анг» (Вьетнам)



Рис. 4. Образцы-балочки из цементно-зольно-песчаных растворов

Таблица 4

Составы цементно-зольно-песчаных растворов

Сырьевые материалы	Содержание ЗУ или ЗО в цементно-зольно-песчаных растворах, % от масс. вяжущего				
	0 (контрольный)	10	20	30	40
Ц, г	450	405	360	315	270
П, г	1350	1350	1350	1350	1350
ЗУ (или ЗО), г	0	45	90	135	180
В, мл	225	225	225	225	225



Рис. 5. Определение прочности образцов на растяжение при изгибе

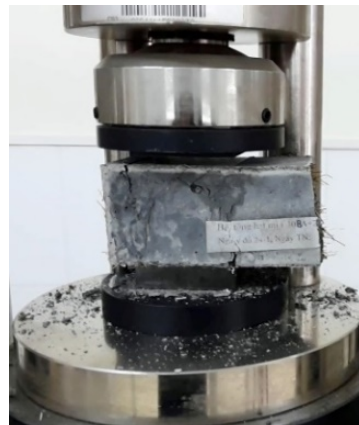


Рис. 6. Определение прочности образцов на сжатие

Зависимость прочности цементно-зольно-песчаного камня при изгибе и на сжатие от количества ЗО и ЗУ ТЭС «Вунг Анг», введенных взамен части цемента, в различных возрастах нормального твердения представлена в табл. 5 и на рис. 7 и 8.

Из изображенных на рис. 7 результатов видно, что с уменьшением содержания цемента проч-

ность на сжатие во всех возрастах твердения искусственного камня снижается и замена 40 % масс. цемента на зольный остаток ТЭС «Вунг Анг» в составе вяжущего и приводит к снижению прочностных показателей образцов в возрасте 28 суток на 51 %, по сравнению цементно-песчаным камнем, не содержащим золошлаковых отходов

Таблица 5

Средняя прочность образцов на растяжение при изгибе в зависимости от содержания ЗО и ЗУ ТЭС «Вунг Анг» в растворных смесях, введенных взамен части цемента, при различном времени твердения

Возраст твердения	Прочность на растяжение при изгибе, МПа, от содержания ЗО					Прочность на растяжение при изгибе, МПа, от содержания ЗУ				
	0%	10%	20%	30%	40%	0%	10%	20%	30%	40%
3 сут.	6,9	5,7	4,4	4,2	3,9	6,9	6,3	4,5	4,2	4,0
7 сут.	7,8	7,2	6,7	5,8	5,1	7,8	7,4	6,1	5,5	4,5
14 сут.	8,2	7,8	7,4	6,7	5,4	8,2	8,0	7,3	6,8	5,4
28 сут.	9,4	8,6	7,9	7,1	6,2	9,4	9,1	8,4	7,2	6,5

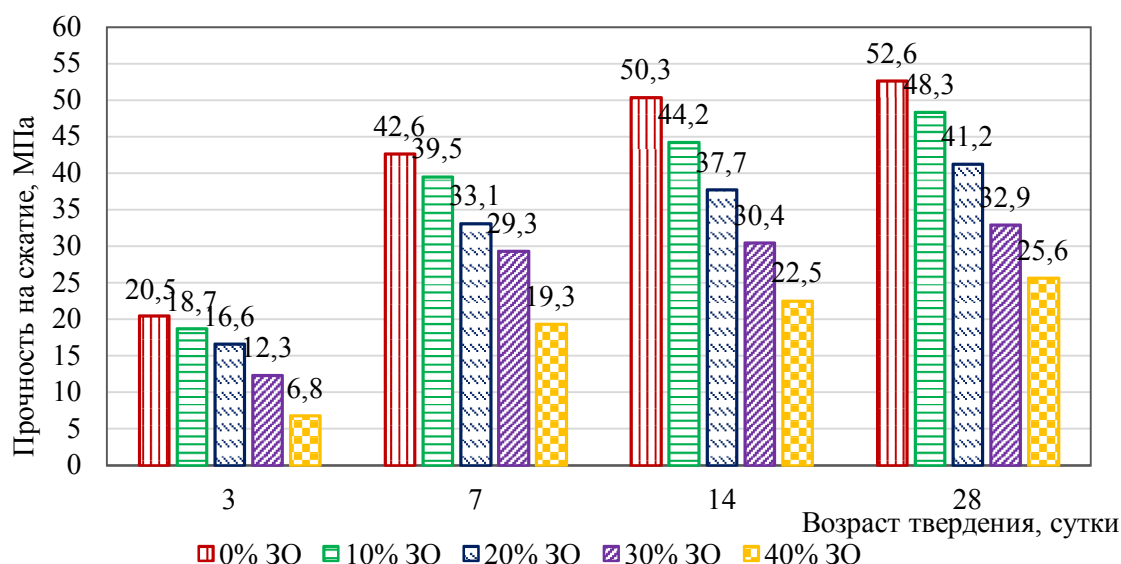


Рис. 7. Влияние замены части цемента зольным остатком ТЭС «Вунг Анг» на среднюю прочность цементно-зольно-песчаного камня на сжатие

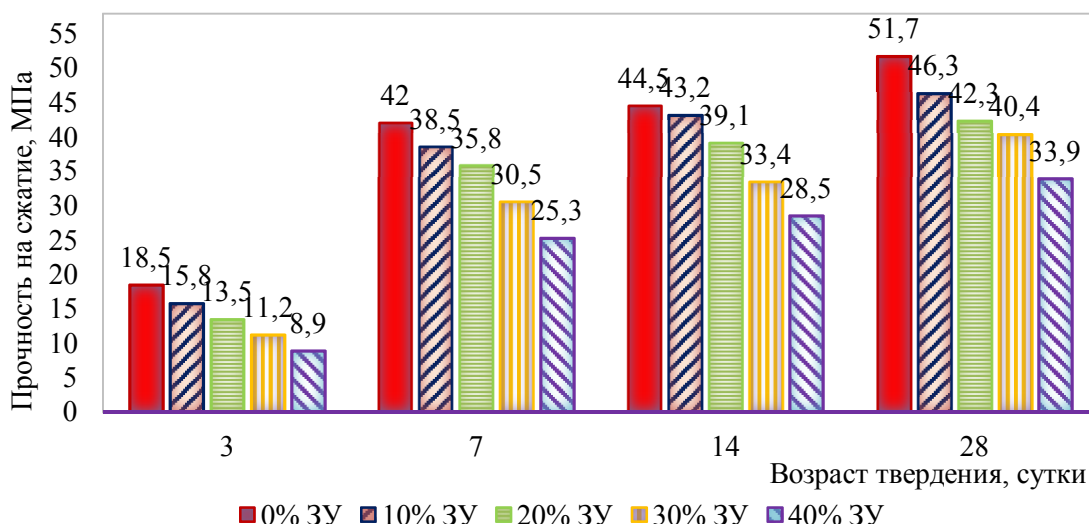


Рис. 8. Влияние замены части вяжущего золой-уноса ТЭС «Вунг Анг» на среднюю прочность цементно-зольно-песчаного камня на сжатие

Из приведенных на рис. 8 результатов исследований следует, что и как в предыдущем случае сокращение расхода цемента приводит к снижению прочности и его замена в количестве 40 % масс. на золу-уноса ТЭС «Вунг Анг» вызывает понижение прочности на сжатие испытанных образцов в возрасте 28 суток твердения на 34,4 %.

Влияния золошлаковых отходов ТЭС «Вунг Анг» на сроки схватывания и равномерность изменения объема цементно-зольного теста, оцениваемой по величине его расширения в кольце Ле Шателье при кипячении в воде в течение 180±5 мин. в соответствии с требованиями ТCVN 6017:2015 (СРВ), представлены в табл. 6.

Таблица 6

Сроки схватывания и равномерность изменения объема цементно-зольного теста

Показатели	Вид топливных отходов	Содержания золошлаковых отходов ТЭС «Вунг Анг»				
		0 %	10 %	20 %	30 %	40 %
Начало схватывания, мин.	ЗО	70	72	76	80	83
	ЗУ	70	74	75	82	84
Конец схватывания, мин.	ЗО	285	310	312	325	327
	ЗУ	285	315	316	326	329
Равномерность изменения объема, мм	ЗО	6,8	6,1	5,6	5,2	4,5
	ЗУ	6,8	6,0	5,5	4,6	4,2

Выводы. В результате проведенных исследований установлено, что замена до 40% масс. цемента на, соответственно, зольный остаток и золу-уноса ТЭС «Вунг Анг» в составе вяжущего хотя и ведет к снижению прочности затвердевших цементно-зольно-песчаных растворов в различных возрастах твердения, и чем в большей степени проведена такая замена, тем сильнее, но одновременно способствует повышению равномерности изменения объема цементно-зольного теста. Таким образом, выявлена возможность замены до 40 % масс. портландцементного клинкера на золу-уноса или на зольный остаток для получения пуццолановых цементов, которые имеют прочность на сжатие в возрасте 28 суток нормального твердения, соответственно, 33,9 МПа и 25,6 МПа. Кроме того, использование местных ЗУ и ЗО вместо импортных тонкодисперсных минеральных добавок, применяемых в настоящее время во Вьетнаме для получения бетонов и строительных растворов, позволит значительно снизить их стоимость и будет способствовать улучшению экологической ситуации в стране.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Khatib J.M. Performance of self-compacting concrete containing fly ash. *Constr. Build. Mater.* 2008. № 22. Pp. 1963–1971.
2. Naik T.R., Ramme B.W. High early strength concrete containing large quantities of fly ash. *ACI Mater. J* 1989. № 86, pp. 111–116.
3. Dinakar P., Babu K.G., Santhanam M. Durability properties of high volume fly ash self-compacting concretes. *Cem. Concr. Compos.* 2008. № 30. Pp. 880–886.
4. Satish H. Sathawane, Vikrant S. Vairagade, Kavita S Kene. Combine Effect of Rice Husk Ash and Fly Ash on Concrete by 30 % Cement Replacement. *Procedia Engineering*. 2013. № 51, pp. 35–44.
5. Narde A.R., Gajbhiye A.R. Durability studies on concrete with fly ash, rice husk ash and quarry sand. *International Journal of Civil Engineering and Technology*. 2018. № 9(2). Pp. 587–595.
6. Tang Van Lam, Boris Bulgakov, Sofia Bazhenova, Olga Aleksandrova, Pham Ngoc Anh and Vu Dinh Tho. Effect of Rice Husk Ash and Fly Ash on the Workability of Concrete Mixture in the High-Rise Construction, *E3S Web of Conferences* 33, 02029 (2018), <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20183302029>.
7. ИТС НДТ 15-2016. Утилизация и обезвреживание отходов (кроме обезвреживания термическим способом (сжигания отходов)) // Бюро НДТ, М., 2016, 208 с.
8. Government Office. Conclusions of the Prime Minister on the implementation of the production program for the utilization of unburned materials and the use of ash, slag and gypsum - waste from thermal power plants and chemical plants. *Advertisement No. 218 / ТВ-VPSP, Hanoi, 17/06/2013, 3 с.*
9. Trinh Hong Tung. Use of industrial waste for the production of building materials. *Collection of lectures for graduate students of the specialty "Building Materials" of the Hanoi Civil Engineering University. Hanoi. 2010, 25 p.*
10. Танг Ван Лам, Булгаков Б.И., Александрова О.В., Ларсен О.А. Возможность использования зольных остатков для производства материалов строительного назначения во Вьетнаме // Научно-теоретический журнал «Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова». 2017. №6. С. 6–12.
11. Ватин Н.И., Петросов Д.В., Калачев А.И., Лахтинен П. Применение зол и золошлаковых отходов в строительстве // Журнал «Инженерно-строительный». 2011. №4. С. 16–22.
12. Путилин Е.И., Цветков В.С. Применение зол-уноса и золошлаковых смесей при строительстве автомобильных дорог. М., 2003, 57 с.
13. Баженов Ю.М., Магдеев У.Х., Алимов Л.А., Воронин В.В., Гольденберг Л.Б. Мелкозернистый бетон. М., 1998, 148 с.
14. Malhotra V.M., Mehta P.K. High-Performance, High-Volume Fly Ash Concrete. *Supplementary Cementing Materials for Sustainable Development Inc., Ottawa, Canada, 2005, 124 p.*
15. Энтин З.Б., Стржалковская Н.В. Еще раз о золах-уноса ТЭС для производства цемента // Цемент и его применение. 2009. № 2. С. 106–111.
16. Энтин Э.Б., Нефедова Л.С., Стржалковская Н.В. Зола ТЭС – сырье для цемента и бетона // Цемент и его применение. 2012. №2. С. 40–46.
17. Tang Van Lam, Boris Bulgakov, Olga Aleksandrova, Oksana Larsen and Pham Ngoc Anh. Effect of rice husk ash and fly ash on the compressive strength of high performance concrete, *E3S Web of Conferences* 33, 02030 (2018), <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20183302030>.
18. ASTM C 618:15. Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete, 5 p.
19. TCVN 6017: 2015. Cements. Methods for testing the timing of setting and uniformity of changes in the volume of the cement paste. *Publisher construction. Hanoi. 2015, 17 p.*
20. TCVN 6016: 2011. Cements. Methods for determining the ultimate strength in bending and compressing cement. *Publisher construction. Hanoi. 2011, 37 p.*

Информация об авторах

Танг Ван Лам, аспирант кафедры технологии вяжущих веществ и бетонов.

E-mail: lamvantang@gmail.com

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет.
Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26.

Нго Суан Хунг, аспирант кафедры технологии вяжущих веществ и бетонов.

E-mail: xuanhung1610@gmail.com

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет.
Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26.

Булгаков Борис Игоревич, кандидат технических наук, доцент кафедры технологии вяжущих веществ и бетонов.

E-mail: fakultetst@mail.ru

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет.
Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26.

Александрова Ольга Владимировна, кандидат технических наук, доцент кафедры технологии вяжущих веществ и бетонов.

E-mail: aleks_olvl@mail.ru

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет.
Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26.

Ларсен Оксана Александровна, кандидат технических наук, доцент кафедры технологии вяжущих веществ и бетонов.

E-mail: larsen.oksana@mail.ru.

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет.
Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26.

Орехова Анастасия Юрьевна, студент института строительства и архитектуры.

E-mail: nastyorehova@yandex.ru

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет.
Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26.

Тюрина Анастасия Александровна, студент института строительства и архитектуры.

E-mail: sonyu0016426@mail.ru

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет.
Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26.

Поступила в апреле 2018 г.

© Танг Ван Лам, Нго Суан Хунг, Булгаков Б.И., Александрова О.В., Ларсен О.А., Орехова А.Ю.,
Тюрина А.А., 2018

**Tang Van Lam, Ngo Xuan Hung, B.I. Bulgakov, O.V. Alexandrova, O.A. Larsen, A.Yu. Orekhova,
A.A. Tyurina**

USE OF ASH AND SLAG WASTE AS A SUPPLEMENTARY CEMENTING MATERIAL

The ash and slag wastes, which are formed as a result of the combustion of solid fuel, subjected to activation, due to their activity index, small particle size, chemical and phase composition are widely used as additives in the technology for obtaining cements and concretes, which allows to adjust their properties in the required direction, and also significantly reduce the consumption of cement in composite materials. This paper uses ash and slag wastes to improve the economic efficiency of cement production, as well as to solve environmental problems.

As a result of experimental studies, it has been found that the replacement of 10 to 40 % by weight cement on ash fly (FA) or ash residue (AR) in the binder composition, although it leads to a decrease in the compressive strength of samples from the cement-ash-sand mixture outside depending on the time of their hardening and the stronger the more such a replacement is made, but at the same time it helps to increase the uniformity of the volume change of the hardened cement-ash test. The possibility of replacing up to 40 % of the weight of Portland cement clinker on fly ash or ash residue for the production of pozzolanic cements, which have a compressive strength at the age of 28 days of normal hardening, respectively, is 33.9 MPa and 25.6 MPa.

Keywords: *environmental pollution, ash and slag wastes, fly ash, ash residues, cement-ash-sand mixture, portland cement clinker, compressive strength.*

REFERENCES

1. Khatib J.M. Performance of self-compacting concrete containing fly ash. *Constr. Build. Mater.*, 2008, no. 22, pp. 1963–1971.
2. Naik T.R., Ramme B.W. High early strength concrete containing large quantities of fly ash. *ACI Mater. J* 1989, no. 86, pp. 111–116.
3. Dinakar P., Babu K.G., Santhanam M. Durability properties of high volume fly ash self-compacting concretes. *Cem. Concr. Compos.*, 2008, no. 30, pp. 880–886.
4. Satish H. Sathawane, Vikrant S. Vairagade, Kavita S Kene. Combine Effect of Rice Husk Ash and Fly Ash on Concrete by 30 % Cement Replacement. *Procedia Engineering*, 2013, no. 51, pp. 35–44.
5. Narde A.R., Gajbhiye A.R. Durability studies on concrete with fly ash, rice husk ash and quarry sand. *International Journal of Civil Engineering and Technology*, 2018, no. 9(2), pp. 587–595.
6. Tang Van Lam, Boris Bulgakov, Sofia Bazhenova, Olga Aleksandrova, Pham Ngoc Anh and Vu Dinh Tho. Effect of Rice Husk Ash and Fly Ash on the Workability of Concrete Mixture in the High-Rise Construction, *E3S Web of Conferences* 33, 02029 (2018), <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20183302029>.
7. ITS NDT 15-2016. Utilization and neutralization of wastes (except for thermal treatment (incineration of waste). Byuro NDT, Moskva [Bureau NDT, Moscow], 2016, 208 p.
8. Government Office. Conclusions of the Prime Minister on the implementation of the production program for the utilization of unburned materials and the use of ash, slag and gypsum - waste from thermal power plants and chemical plants. Advertisement No. 218 / TB-VPCP, Hanoi, 17/06/2013, 3 c.
9. Trinh Hong Tung. Use of industrial waste for the production of building materials. Collection of lectures for graduate students of the specialty "Building Materials" of the Hanoi Civil Engineering University. Hanoi, 2010, 25 p.
10. Tang Van Lam, Bulgakov B.I., Aleksandrova O.V., Larsen O.A. The possibility of using ash residues for the production of construction materials in Vietnam. *Bulletin of BSTU named after. V.G. Shukhov*, 2017, no. 6, pp. 6–12.
11. Vatin N.I., Petrosov D.V., Kalachev A.I., Lakhtinen P. Application of ash and ash and slag wastes in construction. *Engineering and construction*, 2011, no. 4, pp. 16–22.
12. Putilin E.I., Tsvetkov B.C. Application of fly ash and ash and slag mixtures in the construction of highways. Moscow, 2003, 57 p.
13. Bazhenov Y.M., Magdeev U. Kh., Alimov L.A., Voronin V.V., Goldenberg L.B. Fine-grained concrete. Moscow, 1998, 148 p.
14. Malhotra V.M., Mehta P.K. High-Performance, Fligh-Volume Fly Ash Concrete. *Supplementary Cementing Materials for Sustainable Development Inc.*, Ottawa, Canada, 2005, 124 p.
15. Entin Z.B., Strzhalkovskaya N.V. Once again about fly ash from thermal power plants for cement production. *Cement and its application*, 2009, no. 2, pp. 106–111.
16. Entin E.B., Nefedova L.S., Strzhalkovskaya N.V. Ash of TPP - raw materials for cement and concrete. *Cement and its application*, 2012, no. 2, pp. 40–46.
17. Tang Van Lam, Boris Bulgakov, Olga Aleksandrova, Oksana Larsen and Pham Ngoc Anh. Effect of rice husk ash and fly ash on the compressive strength of high performance concrete, *E3S Web of Conferences* 33, 02030 (2018), <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20183302030>.
18. ASTM C 618:15. Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete, 5 p.
19. TCVN 6017: 2015. Cements. Methods for testing the timing of setting and uniformity of changes in the volume of the cement paste. Publisher construction. Hanoi, 2015, 17 p.
20. TCVN 6016: 2011. Cements. Methods for determining the ultimate strength in bending and compressing cement. Publisher construction. Hanoi, 2011, 37 p.

Information about the author

Tang Van Lam, Postgraduate student.

E-mail: lamvantang@gmail.com

National Research Moscow State University of Civil Engineering.
Russia, 129337, Moscow, Yaroslavskoe Shosse, 26.

Ngo Xuan Hung, Postgraduate student.

E-mail: xuanhung1610@gmail.com

National Research Moscow State University of Civil Engineering.
Russia, 129337, Moscow, Yaroslavskoe Shosse, 26.

Boris I. Bulgakov, PhD, Assistant professor.

E-mail: fakultetst@mail.ru

National Research Moscow State University of Civil Engineering.
Russia, 129337, Moscow, Yaroslavskoe Shosse, 26.

Olga V. Aleksandrova, PhD, Assistant professor.
E-mail: aleks_olvl@mail.ru
National Research Moscow State University of Civil Engineering.
Russia, 129337, Moscow, Yaroslavskoe Shosse, 26.

Oksana A. Larsen, PhD, Associate Professor.
E-mail: larsen.oksana@mail.ru
National Research Moscow State University of Civil Engineering.
Russia, 129337, Moscow, Yaroslavskoe Shosse, 26.

Anastasia Yu. Orekhova, student.
E-mail: nastyorehova@yandex.ru
National Research Moscow State University of Civil Engineering.
Russia, 129337, Moscow, Yaroslavskoe Shosse, 26.

Anastasia A. Tyurina, Bachelor student.
E-mail: sony0016426@mail.ru
National Research Moscow State University of Civil Engineering.
Russia, 129337, Moscow, Yaroslavskoe Shosse, 26.

Received in April 2018

Для цитирования:

Танг Ван Лам, Нго Суан Хунг, Булгаков Б.И., Александрова О.В., Ларсен О.А., Орехова А.Ю., Тюрина А.А. Использование золошлаковых отходов в качестве дополнительного цементирующего материала // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2018. №8. С. 19–27.
DOI: 10.12737/article_5b6d58455b5832.12667511

For citation:

Tang Van Lam, Ngo Xuan Hung, Bulgakov B.I., Alexandrova O.V., Larsen O.A., Orekhova A.Yu., Tyurina A.A. Use of ash and slag waste as a supplementary cementing material. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov, 2018, no. 8, pp. 19–27. DOI: 10.12737/article_5b6d58455b5832.12667511