

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

DOI: 10.12737/article_5926a059214ca0.89600468

Танг Ван Лам, аспирант,
Булгаков Б.И., канд. техн. наук, доц.,
Александрова О.В., канд. техн. наук, доц.,
Ларсен О.А., канд. техн. наук, доц.

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет

ВОЗМОЖНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЗОЛЬНЫХ ОСТАТКОВ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА МАТЕРИАЛОВ СТРОИТЕЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ ВО ВЬЕТНАМЕ

lamvantang@gmail.com

Промышленные отходы, в том числе топливные, являются причиной возникновения основных проблем загрязнений почвы, воды и воздуха окружающей среды. Зольные остатки, как побочный продукт сжигания каменноугольной и бурогоугольной пыли благодаря индексу активности, малому размеру частиц и химическому, а также фазовому составу широко используются как добавки в производстве цементов, бетонов и строительных растворов. Грамотное использование зольных остатков способствует решению экологических проблем, улучшению эксплуатационных свойств строительных материалов и повышению экономической эффективности их производства.

Добавление зольных остатков в бетоны и строительные растворы приводит к сокращению расхода цемента и повышению их коррозионной стойкости за счет связывания свободного гидроксида кальция в менее растворимые соединения, а также к экономии природных невозобновляемых сырьевых ресурсов.

Ключевые слова: промышленные отходы, загрязнение окружающей среды, золы-уноса, зольные остатки, цементно-песчаный камень, прочность на сжатие, индекс активности.

Введение. В технологии современных бетонов Вьетнама широкое применение получили активные минеральные добавки в зависимости от своего минерального состава, обладающие пуццолановой или гидравлической активностью, в том числе микрокремнезем (МК), золы-уноса (ЗУ) и зола рисовой шелухи. Они широко используются как добавки в бетонные смеси для уменьшения расхода вяжущего и связывания свободного гидроксида кальция в менее растворимые соединения [1–6].

МК является дорогой импортной добавкой (его стоимость составляет до 0,6 доллара США за 1кг) [7]. Поэтому актуальной является задача его замены на более дешёвые. К числу таких добавок относится зола-уноса тепловых электростанций (ТЭС), которую используют в качестве дополнительного цементирующего материала как при производстве цементов с минеральными добавками, так и для получения самих бетонов.

Одновременно с индустриальным развитием во многих странах увеличиваются и объёмы промышленных отходов. Согласно данным, приведенным в исследованиях [8, 9], ежегодное мировое количество золошлаковых отходов и металлургических шлаков, генерируемых промышленностью, составляет свыше 800–900 млн. тонн.

Техногенные отходы являются причиной возникновения следующих основных проблем экологического и экономического характера:

1. Организация переработки отходов является дорогостоящим процессом.
2. Свалки занимают земли сельскохозяйственного назначения.
3. Складирование отходов на свалках и полигонах вызывает загрязнение почвы, воды и воздуха окружающей среды.

Отходы промышленности являются источниками нарушения экологического равновесия на значительной территории Вьетнама. Их значительную часть составляют отходы тепловых электростанций в виде золы-уноса с годовым объемом более 880 тыс. т. [10]. В Российской Федерации ежегодное количество образующих топливных золошлаковых отходов составляет примерно 40 млн. т., а их запасы, накопленные в отвалах, достигают 1,2–1,5 млрд. т. [11–13].

В 2016 году скопление техногенных отходов, в том числе отходов тепловых электростанций в индустриальном парке Вунг Анг (Вьетнам) привело к возникновению очень серьёзной ситуации, близкой к экологической катастрофе (рис. 1 и 2).

Одна только ТЭС Вунг Анг каждый день образует примерно 3000 тонн золошлаковых отходов.

Согласно последнему докладу Министерства промышленности и торговли Вьетнама [14] в настоящее время в стране работают более 20 угольных электростанций, дающих более 15,7 млн. т./год топливных отходов. При этом, в



а) загрязнение морского побережья

зависимости от типа используемого угля и технологии его сжигания при получении 1 МВт электрической энергии образуется от 1200 до 1800 т. золы и шлака.



б) загрязнение воздуха

Рис. 1. Загрязнение окружающей среды производственными отходами в промышленном парке Вунг Анг (Вьетнам)



Рис. 2. «Шторм», вызванный складированием топливных отходов ТЭС Вунг Анг на открытых площадях

Согласно результатам исследования [15] организация и проведение мероприятий по утилизации промышленных отходов позволяют решить следующие актуальные вопросы:

1. Снизить капитальные затраты на организацию хранения отходов.
2. Снизить уровень загрязнения окружающей среды.
3. Улучшить условия жизни человека и животных.
4. Создать новые рабочие места.
5. Произвести диверсификацию товарной строительной продукции.
6. Расширить сырьевую базу для производства строительных материалов.
7. Уменьшить потребность в первичных сырьевых ресурсах.

В данной работе было проведено исследование свойств золошлаковых отходов ТЭС Вунг Анг и возможности их использования для производства материалов строительного назначения.

Методология. Изучение формы и морфологии частиц топливных отходов проводили с помощью метода лазерной гранулометрии.

Для оценки естественного уровня радиации зольных остатков использовали стандарт TCVN 10302: 2014 (СРВ).

Индекс активности зольных остатков в растворных смесях с портландцементом и песком определяли в соответствии с требованиями стандартов ASTM C618:15 и TCVN 30744: 2001 (СРВ).

Основная часть. В исследованиях были использованы золошлаковые отходы ТЭС Вунг Анг (Вьетнам), которые образуются и накапливаются в результате сжигания твёрдого топлива в псевдоожигенном слое и именуется зольными остатками (ЗО) (рис. 3).

Результаты анализа золошлаковых отходов ТЭС Вунг Анг в сравнении с золой-уноса ТЭС Фалай, широко используемой в настоящее время во Вьетнаме в качестве активной тонкодисперсной

ной добавки в бетонные и растворные смеси, приведены в табл. 1 и 2.



Рис. 3. Зольные остатки ТЭС Вунг Анг (Вьетнам)

Таблица 1

Химический состав ЗО ТЭС Вунг Анг и ЗУ ТЭС Фалай

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	TiO ₂	P ₂ O ₅	п.п.п.*
ЗО Вунг Анг	54,62	25,17	7,11	0,25	1,28	0,2	1,57	1,45	1,83	1,63	2,04
ЗУ Фалай	58,5	25,48	7,12	0,14	1,45	1,26	1,53	2,06	-	-	2,46

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

Таблица 2

Физические характеристики ЗО ТЭС Вунг Анг и ЗУ ТЭС Фалай

Свойства	Единицы измерения	ЗО Вунг Анг	ЗУ Фалай
Истинная плотность	г/см ³	2,22	2,05
Удельная поверхность	м ² /г	11,252	15,461
Влажность	%	11	2
Количество зерен, остающееся после просеивания на сите с размером отверстий 45 мкм	%	31	23,2
Водопоглощаемость	%	104,1	105

Важным показателем свойств промышленных отходов, который необходимо учитывать при решении вопроса о возможности их использования для производства строительных материалов, является естественный уровень их радиации, который оказывает прямое влияние на здоровье людей и домашних животных.

Естественная радиоактивность золы измеряется с помощью гамма-спектрометра. Принцип измерения основан на сравнении суммарной интенсивности уровней энергии гамма-

излучения радионуклидов ²³⁸U, ²³²Th и ⁴⁰K стандартных и испытуемых образцов.

Естественную радиоактивность зольных остатков рассчитывали по формуле (1), приведённой в стандарте TCVN 10302: 2014 [16]:

$$A_{\text{рад}} = A_{238\text{U}} + 1,31 \times A_{232\text{Th}} + 0,085 \times A_{40\text{K}}, \quad (1)$$

где $A_{\text{рад}}$ – естественная радиоактивность ЗО, Бк/кг.; $A_{238\text{U}}$, $A_{232\text{Th}}$, $A_{40\text{K}}$ – частичные радиоактивности радионуклидов, соответственно, ²³⁸U, ²³²Th и ⁴⁰K в образцах зольных остатков, Бк/кг.

Результаты испытаний ЗО ТЭС Вунг Анг представлены в табл. 3.

Таблица 3

Величина естественной радиоактивности ЗО ТЭС Вунг Анг

Уровни	Частичные радиоактивности радионуклидов, Бк/кг.			A _{рад} Бк/кг.	Требования TCVN 10302: 2014, Бк/кг.
	²³⁸ U	²³² Th	⁴⁰ K		
Макс.	118,9	34,6	314,2	190,587	≤ 740
Мин.	112,1	28,4	280,6	172,871	≤ 370

Из приведённых в табл. 1- 3 экспериментальных результатов следует, что:

1. Химический состав ЗО ТЭС Вунг Анг близок к составу ЗУ Фалай. Количество аморфного диоксида SiO_2 , содержащееся в зольных остатках, достаточно большое (54,62 %). Поэтому, можно предположить, что ЗО ТЭС Вунг Анг обладают высокой пуццолановой активностью.

2. Низкие потери массы при прокаливании у ЗО ТЭС Вунг Анг (2,04%) свидетельствуют о том, что они содержат незначительное количество углерода и несгоревших органических примесей, что окажет положительное влияние на сохранение стабильности объема и повышение стойкости к усадочным деформациям у содержащих их бетонов и строительных растворов.

3. Индекс радиоактивности ЗО ТЭС Вунг Анг удовлетворяет требованиям стандарта TCVN 10302: 2014. Это позволит использовать их для производства цементов с минеральными добавками, а также бетонов и растворов, пригодных для строительства жилых домов, общественных и промышленных зданий и в дорожном строительстве.

4. Влажность образцов зольных остатков составляла 11 %, что объясняется хранением на складе, расположенном в прибрежном районе. Поэтому, во избежание комкования перед использованием их необходимо высушить и потом измельчить в тонкий порошок.

Были проведены экспериментальные исследования влияния добавления ЗО ТЭС Вунг Анг на прочность цементно-песчаного камня различного возраста, результаты которых оценивали с помо-

щью индекса активности. При этом, в качестве сырьевых компонентов были использованы портландцемент класса ЦЕМ II 42,5Н производства завода «Бут Сон» (СРВ) и стандартный песок Института строительной науки и технологии (СРВ) с модулем крупности 3,0.

Перед введением в цементно-песчаный раствор зольные остатки ТЭС Вунг Анг высушивали и измельчали в тонкий порошок с помощью лабораторного смесителя.

Индекс активности минеральных добавок (I_R , %) представляет собой отношение прочности на сжатие образцов из цементно-песчаных растворов, содержащих эти добавки взамен части портландцемента ($R_{доб}$), к прочности на сжатие контрольных бездобавочных цементно-песчаных образцов ($R_{кон}$) [17]. Индекс активности рассчитывали по формуле (2):

$$I_R = \frac{R_{доб}}{R_{кон}} \times 100\% \quad (2)$$

Экспериментальные образцы изготавливали из цементно-песчано-зольных растворов при соотношениях Ц : П = 1 : 3, В/Ц = 0,5 и ЗО/Ц = 0 ÷ 0,5 в соответствии с требованиями стандарта ГОСТ 30744 - 2001 [18]. Из каждого растворного состава формовали по 3 балочки размером 40×40×160 мм (рис. 4), которые после твердения в нормальных условиях испытывали на изгиб, а затем их половинки – на сжатие (рис. 5). Полученные результаты испытаний использовали для расчёта индексов активности по прочности на сжатие (табл. 4 и рис. 6).



Рис. 4. Экспериментальные образцы из цементно-песчаных растворов



Рис. 5. Определение прочности образцов на сжатие

Таблица 4

Прочность образцов на сжатие в зависимости от количества ЗО ТЭС Вунг Анг, введённого взамен части вяжущего

Возраст твердения образцов	Прочность на сжатие, МПа					Индекс активности по прочности на сжатие, %			
	0 %	20 %	30 %	40 %	50 %	20 %	30 %	40 %	50 %
1 сут.	18,4	13,0	10,0	8,4	5,4	70,7	54,3	45,7	29,3
3 сут.	32,9	26,0	22,6	17,0	15,3	79,0	68,7	51,7	46,5
7 сут.	42,7	35,3	29,2	24,5	21,6	82,6	68,4	57,4	50,6
14 сут.	45,5	38,4	32,7	27,8	22,1	84,4	70,8	61,1	48,6
28 сут.	52,0	45,1	39,4	33,0	23,5	86,7	75,6	63,5	53,5

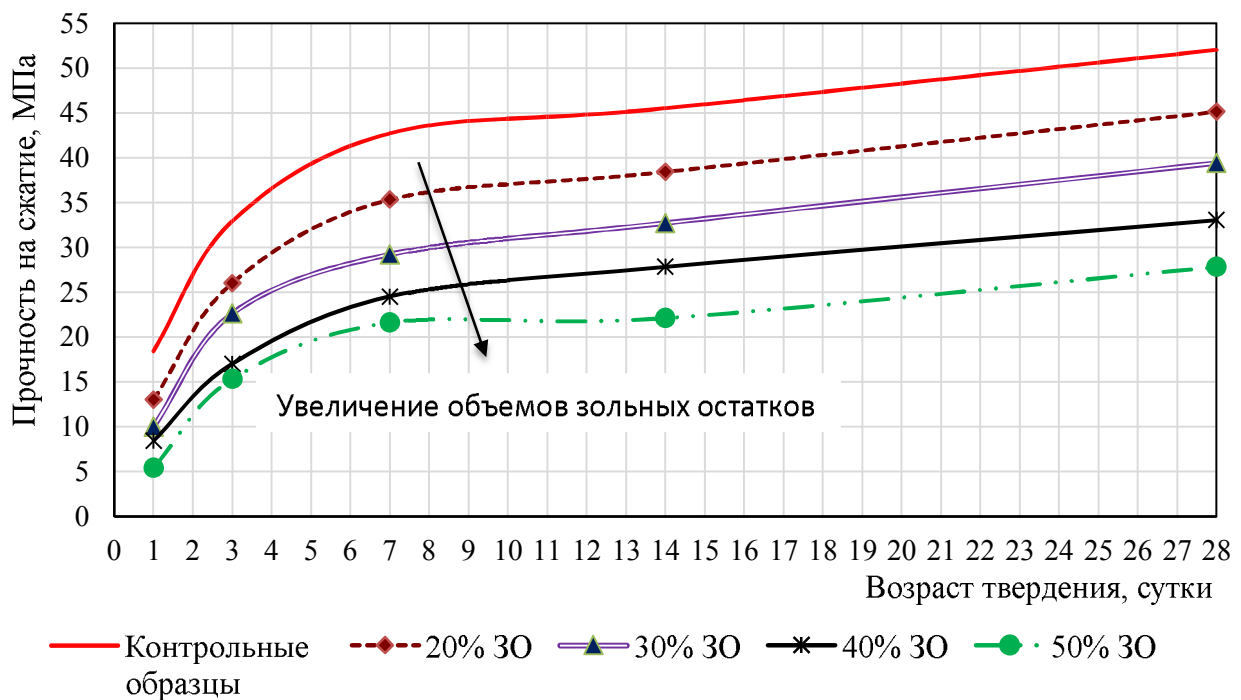


Рис. 6. Влияние замены части вяжущего зольными остатками ТЭС Вунг Анг на прочность цементно-песчаного камня на сжатие

Из приведённых в табл. 4 индексов активности, рассчитанных на основе экспериментально полученных результатов испытаний, следует, что повышение содержания зольных остатков взамен части вяжущего приводит к закономерному снижению прочностных показателей цементно-песчаных образцов вне зависимости от срока их твердения и тем сильнее, чем в большем количестве произведена такая замена. Эта закономерность объясняется тем, что зёрна золошлаковых остатков в отличие от зёрен цементного клинкера в обычных условиях не проявляют гидравлической активности и не вступают в реакцию гидратации с увеличением объёма. Поэтому, при замене части вяжущего зольными остатками растёт пористость образующегося цементно-песчаного камня, приводящая к снижению его прочности. По этой причине, в стандарте ASTM C618:15 количество тонкодисперсных активных минеральных добавок, вводимых в бетонные смеси взамен части клинкера, в основном, для снижения стоимости бетона, ограничено 25 % [19].

Выводы. На основе полученных экспериментальных результатов можно сделать следующие выводы:

1. Зольные остатки ТЭС Вунг Анг обладают высокой активностью и характеризуются низким содержанием веществ, вредных для цементов, бетонов и строительных растворов (несгоревшего углерода, SO_3 , серы, оксидов щелочных металлов).

2. Данные зольные остатки могут иметь следующее применение в производстве строительных материалов:

- в качестве добавок, заменяющих часть вяжущего (до 20÷30 %) при производстве цементов с минеральными добавками;

- в качестве тонкодисперсных активных минеральных добавок, заменяющих часть цемента (до 30 %) в технологии бетонов и строительных растворов. Причём, в больших количествах зольные остатки могут быть использованы в комбинации с другими добавками, такими как микрокремнезем и суперпластификаторы с це-

лью создания комплексных органо-минеральных модифицирующих систем для современных бетонов;

- с целью замены зольными остатками дорогих импортируемых добавок для строительных растворов (микрокремнезема, титанового порошка и др.).

3. В процессе хранения зольных остатков ТЭС Вунг Анг на складах следует стремиться к обеспечению их минимального влагосодержания, чтобы избежать образование комков, а также рекомендовать потребителям контролировать их влажность.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Збигнев Гергичны. Зола уноса в составе цемента и бетона. V Международная конференция «Золошлаки ТЭС – удаление, транспорт, переработка, складирование». 24–25.04.2014. М., 41 с.
2. Ватин Н.И., Петросов Д.В., Калачев А.И., Лахтинен П. Применение зол и золошлаковых отходов в строительстве // Инженерно-строительный журнал. 2011. №4. С. 16–21.
3. Bùi Danh Đại. Phụ gia khoáng hoạt tính cao cho bê tông chất lượng cao. Trường Đại học Xây Dựng - Hà Nội. 2010, tr.70. (Буй Дань Дай. Высокоактивные минеральные добавки для высококачественного бетона. Сборник лекций для аспирантов специальности «Строительные материалы» Ханойского строительного университета. Ханой. 2010, 70 с.).
4. Michael Thomas. Optimizing the Use of Fly Ash in Concrete. Portland cement Association. Washington. 2007, 24 p.
5. 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.
6. Phạm Chí Cường. Xử lý chất thải trong ngành công nghiệp Thép Việt Nam, Tạp chí Khoa học Việt Nam số 10, 06/2012. Tr. 52-54. (Фам Чи Куонг. Использование отходов металлургической промышленности во Вьетнаме // Журнал науки Вьетнама. 2012. №6(10). С. 52–54).
7. Фам Тоан Дык. Повышение эксплуатационных свойств гидротехнических бетонов путём модификации их структуры комплексной добавкой // Дис... к.т.н., М., 2007, 144 с.
8. Цыганков А.П., Балацкий О.Ф., Сенин В.Н. Технический прогресс - химия - окружающая среда. М.: Химия, 1979. 296 с.
9. Trịnh Hồng Tùng. Sử dụng phế thải phế liệu để sản xuất Vật liệu Xây dựng, Bài giảng dành cho Cao học ngành Vật liệu Xây dựng, Trường Đại học Xây Dựng, Hà Nội. 2010, 25 tr. (Тхин Гон Тунг. Использование промышленных отходов для
- производства строительных материалов. Сборник лекций для аспирантов специальности «Строительные материалы» Ханойского строительного университета. Ханой. 2010, 25 с.).
10. Чан Тхи Тху Ха. Цементный бетон на карбонатном заполнителе и кремнеземсодержащих наполнителях (для условий Вьетнама) // Автореф. Дис... к.т.н., М., 2006, 20 с.
11. 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.
12. Уфимцев В.М., Капустин Ф.Л., Пьячев В.А. Проблемы использования техногенного сырья в производстве цемента // Цемент и его применение. 2009. № 6. С. 86–90.
13. Энтин Э.Б., Стржалковская Н.В. Еще раз о золах-уноса ТЭС для производства цемента // Цемент и его применение. 2009. № 2. С. 106–111.
14. Văn Phòng chính Phủ. Ý kiến kết luận của phó thủ tướng hoàng trung hải về tình hình thực hiện chương trình vật liệu xây không nung và giải pháp xử lý, sử dụng tro, xỉ, thạch cao của nhà máy nhiệt điện, hóa chất, Thông báo số: 218/TB-VPCP; Hà Nội, 17/06/2013, 3 tr. (Правительственное бюро. Выводы премьер-министра по реализации производственной программы утилизации негоревших материалов и использования золы, шлака и гипса - отходов работы тепловых электростанций и химических заводов. Объявление № 218/TB-VPCP, Ханой, 17/06/2013, 3 с.).
15. Tăng Văn Lâm. Nghiên cứu sử dụng phế thải xỉ luyện kim của nhà máy Gang thép-TN dùng làm phụ gia chế tạo bê tông trong công trình xây dựng tại Thái Nguyên. Đề tài cấp trường, mã số T2010/04. 2010. ĐН Kỹ thuật Công nghiệp-TN, tr. 95. (Танг Ван Лам. Исследование возможности использования активных шлаков металлургического завода провинции Тхайнгуена для производства бетона. Шифр T.2010/04. Тхайнгуенский технико-промышленный университет. 2010, 95 с.).
16. TCVN 10302:2014. Phụ gia hoạt tính tro bay dùng cho bê tông, vữa xây và xi măng. Tiêu chuẩn xây dựng Việt Nam, NXB Xây dựng, Hà Nội, 2014, 9 tr. (ГОСТ 10302: 2014. Активные добавки золы - уноса для производства бетона, строительного раствора и цемента. Строительные стандарты Вьетнама. Изд. Строительство. Ханой, 2014, 9 с.).
17. TCVN 6882:2001. Phụ gia khoáng cho xi măng. Tiêu chuẩn xây dựng Việt Nam, NXB Xây dựng, Hà Nội, 2001, 9 tr. (ГОСТ 6882:2001. Активные добавки для цемента. Строительные стандарты Вьетнама. Изд. Строительство. Ханой, 2001, 9 с.).

18. ГОСТ 30744-2001. «Цементы. Методы испытаний с использованием полифракционного песка». М.: Изд. Стандарты. 2001, 35 с.

19. ASTM C 618:15. Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete, 5 p.

Tang Van Lam, Bulgakov B.I., Alexandrova O.V., Larsen O.A.

POSSIBILITY OF USING BOTTOM ASH FOR MANUFACTURING BUILDING MATERIALS IN VIETNAM

Industrial waste, including fuel, is the cause of the main problems of soil, water and air pollution of the environment. The ash residues, as a by-product of burning coal and brown coal dust due to the activity index, small particle size and chemical and phase composition are widely used as additives in the production of cements, concretes and mortars. Competent use of ash residues contributes to solving environmental problems, improving the operational properties of building materials and increasing the economic efficiency of their production.

Adding ash residues to concrete and mortar reduces the consumption of cement and increases their corrosion resistance by binding free calcium hydroxide to less soluble compounds, as well as saving natural non-renewable raw materials.

Key words: *industrial wastes, environmental pollution, fly ash, ash residues, cement-sand stone, compressive strength, activity index.*

Танг Ван Лам, аспирант кафедры «Технологии вяжущих веществ и бетонов».

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет.

Адрес: Россия, 129337, г. Москва, ул. Ярославское шоссе, д. 26.

E-mail: lamvantang@gmail.com

Булгаков Борис Игоревич, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Технологии вяжущих веществ и бетонов».

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет.

Адрес: Россия, 129337, г. Москва, ул. Ярославское шоссе, д. 26.

E-mail: fakultetst@mail.ru

Александрова Ольга Владимировна, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Технологии вяжущих веществ и бетонов».

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет.

Адрес: Россия, 129337, г. Москва, ул. Ярославское шоссе, д. 26.

E-mail: aleks_olvl@mail.ru

Ларсен Оксана Александровна, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Технологии вяжущих веществ и бетонов».

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет.

Адрес: Россия, 129337, г. Москва, ул. Ярославское шоссе, д. 26.

E-mail: larsen.oksana@mail.ru