



ЦЕМЕНТЫ С МИНЕРАЛЬНОЙ ДОБАВКОЙ НА ОСНОВЕ ЗОЛОШЛАКОВЫХ ОТХОДОВ ТЭС

Наталья Николаевна Лахтарина¹, Николай Михайлович Зайченко²,
Сергей Викторович Лахтарина³

^{1,2,3} Донбасская национальная академия строительства и архитектуры, ДНР, Макеевка, Россия
¹n.n.lakhtarina@donnasa.ru, ²n.m.zaichenko@donnasa.ru, ³s.v.lakhtarina@donnasa.ru

Аннотация. Выполнен рентгенофазовый, химический и гранулометрический анализ золошлаковых отходов из отвалов Зуевской ТЭС. Исследованы свойства минеральных вяжущих веществ с частичной заменой портландцемента в количестве 10, 15, 20 % минеральной добавкой, полученной путем помола шлаковой составляющей золошлаковой смеси либо отсева зольной составляющей золошлаковой смеси. Установлено, что при частичной замене портландцемента дисперсными золошлаковыми отходами наблюдается замедление кинетики роста предела прочности при сжатии цементного камня в раннем возрасте на 6–19 % в зависимости от количества минеральной добавки. Показатели предела прочности при сжатии камня вяжущего в возрасте 28 суток твердения при нормальных условиях с частичной заменой минеральной добавкой на основе молотого шлака увеличиваются на 2–7 % в сравнении с контрольным составом.

Ключевые слова: цементный камень, минеральная добавка, золошлаковая смесь, рентгенофазовый анализ

Для цитирования: Лахтарина Н. Н., Зайченко Н. М., Лахтарина С. В. Цементы с минеральной добавкой на основе золошлаковых отходов ТЭС // *Современное промышленное и гражданское строительство*. 2024. Т. 20, № 3. С. 163–169. doi: 10.71536/spgs.2024.v20n3.5. edn: iyzrfr.

Original article

CEMENTS WITH A MINERAL ADDITIVE BASED ON ASH AND SLAG WASTES OF THERMAL POWER PLANT

Natalia N. Lakhtarina¹, Nikolai M. Zaichenko², Sergei V. Lakhtarina³

^{1,2,3} Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture, DPR, Makeevka, Russia
¹n.n.lakhtarina@donnasa.ru, ²n.m.zaichenko@donnasa.ru, ³s.v.lakhtarina@donnasa.ru

Abstract. X-ray phase, chemical and granulometric analysis of ash and slag wastes of the dumps of Zuyevskaya Power Plant was performed. The properties of mineral binders with partial replacement of Portland cement in the amount of 10, 15, 20 % with mineral additive obtained by grinding the slag component of the ash and slag mixture or screening the ash component of the ash and slag mixture were investigated. The authors have found that the partial replacement of Portland cement with ash and slag wastes slows down the kinetics of the compressive strength growth of cement pastes in early age hardening by 6–19 % depending on the amount of mineral additive. The indicators of the compressive strength of cement pastes in the age of 28 days of hardening under normal conditions with the partial replacement of mineral additive based on ground slag increase relative to the control formulation by 2–7 %.

Keywords: cement paste, mineral additive, ash and slag mixture, X-ray phase analysis

For citation: Lakhtarina N. N., Zaichenko N. M., Lakhtarina S. V. Cements with a mineral additive based on ash and slag wastes of Thermal Power Plant. *Modern Industrial and Civil Construction*. 2024;20(3):163–169. (In Russ.). doi: 10.71536/spgs.2024.v20n3.5. edn: iyzrfr.



Актуальность темы

Увеличение темпов строительного-монтажных работ, в том числе, для обеспечения качественным жильем населения приводит к необходимости большего производства минеральных вяжущих веществ для бетонов. Производство портландцемента занимает третье место по энергоемкости, уступая лишь производству стали и алюминия. При производстве тонны портландцемента в атмосферу выбрасывается более тонны углекислого газа (CO_2), в основном за счет технологического процесса обжига портландцементного клинкера, при высоких температурах – декарбонизации известняка и сгорания топлива.

Применение промышленных отходов при частичной замене портландцемента в бетонах, способствует сокращению потребления как природных, так и энергетических ресурсов при производстве цемента, а также обеспечивает снижение выбросов парниковых газов, повышая экологическую безопасность, что, в целом, соответствует принципам устойчивого развития отрасли строительства.

На территории Донецкой Народной Республики основной объем промышленных отходов представлен различными отвалами отходов металлургической и угледобывающей промышленности. Промышленные отходы энергетического сектора образуются на тепловых электростанциях при сжигании твердого топлива, в зависимости от вида сжигаемого топлива, технологических режимов сжигания, способа сбора, хранения, и разделяются согласно [1] на:

- золы-уноса, которые образуются в результате сжигания углей в пылевидном состоянии и улавливаются электрофильтрами или другими устройствами;
- топливные шлаки, образующиеся при сжигании угля слоевым и камерным (пылевидным) способами, после чего происходит их осаждение в нижней части топки и грануляция полученного расплава водой;
- золошлаковая смесь формируется при совместном мокром удалении уловленной обеспыливающими устройствами золы-уноса и топливных шлаков, образующихся в котле.

Широкое использование в цементной отрасли в мировой практике получили в основном исследования влияния отходов в виде золы-уноса тепловых электростанций [2–8].

Применение золы-уноса тепловых электростанций в составе бетона взамен части цемента уменьшает тепловыделение при гидратации цемента, оказывает минимальное влияние на модуль упругости бетона, снижает проницаемость и диффузионную способность хлоридов и, следовательно, увеличивает удельное сопротивление бетона воздействию ионов хлора, тем самым, повышая его долговечность, для обеспечения эксплуатационной надежности на протяжении всего срока службы конструкции [4]. Исследования [5] показывают, что бетон, при введении 20 % золы-уноса в качестве частичной замены цемента, характеризуется более высоким показателем морозостойкости. В то же время, дальнейшее увеличение содержания золы-уноса до 50 % приводит к снижению морозостойкости бетона. Введение золы-уноса приводит к повышению предела прочности бетона при сжатии и к более высокой прочности при изгибе, как в марочном возрасте, так и в течение 90 суток при относительно низком содержании цемента по сравнению с бетоном, не содержащим добавки золы [6].

С другой стороны, учитывая различный состав угля и параметры его сжигания в топках, качество золы-уноса может значительно отличаться как по физическим характеристикам: гранулометрическому составу, удельной поверхности, форме частиц, так и по химико-минералогическому составу: содержанию стеклофазы, несгоревшего углерода, щелочных оксидов и сульфатов, даже в пределах одного золоотвала. Такие вариации свойств золы-уноса могут оказывать несоизмеримое влияние на кинетику гидратации вяжущего вещества [7], значительно ухудшать показатели качества как бетонной смеси, так и затвердевшего бетона [8]. Кроме того, при использовании золы-уноса с высоким содержанием несгоревшего угля снижается эффективность химических добавок, в частности воздухововлекающих добавок, пластификаторов и суперпластификаторов [9].

Возможность применения золошлаковых отходов ТЭС непосредственно из отвалов в мировой научной практике в основном базируется за счет использования шлаковой составляющей в качестве заполнителей для бетонов [10], а золы составляющей – в качестве активной минеральной добавки в цементном бетоне [11] либо прекурсора в технологии щелочеактивированных

вяжущих материалов [11–12]. При этом, для придания характеристик, обеспечивающие эксплуатационные свойства бетонов, требуется дополнительная предварительная обработка подобных компонентов [13]. Следует, однако, отметить, что ключевой проблемой при утилизации золы гидроудаления является ухудшение качества материала во время хранения – несоответствие требованиям нормативной документации для использования в бетоне, поэтому требуется ее обогащение [14].

Как отмечено ранее, пуццолановая активность золы-уноса во многом определяется содержанием реакционной алюмосиликатной стеклофазы. В этом случае, в качестве минеральной добавки, обладающей более высокой пуццолановой активностью, чем зола-уноса, следует рассматривать шлаковую составляющую. Как известно, шлак образуется из огненно-жидкого силикатного расплава минеральной части топлива, характерной особенностью которого является низкая кристаллизационная способность, склонность к переохлаждению и переходу в стеклообразное состояние, что связано с быстрым нарастанием вязкости расплава при понижении температуры [15]. Как результат, преобладающей фазой шлаков ТЭС является аморфное силикатное стекло, которое в тонкоизмельченном состоянии должно проявлять высокую пуццолановую активность. В то же время сведения о применении размолотых шлаков ТЭС в качестве пуццолановой добавки цементных бетонов ограничены.

Цель статьи

Целью исследований является установление возможности замены части портландцемента отвальными золошлаковыми отходами ТЭС в качестве минеральной добавки и определение влияния на основные свойства полученных вяжущих систем.

Основной материал

Для выполнения экспериментальных исследований в качестве исходных компонентов применялись следующие материалы:

- вяжущее – портландцемент первого типа (ПЦ) ЦЕМ I 42,5 Н Амвросиевского цементного завода, ООО «ПИК-Цемент» ДНР, соответствующий требованиям ГОСТ 31108-2020;

- золошлаковая смесь из отвалов Зуевской ТЭС ГУП ДНР «Энергия Донбасса».

Все исследования проводились по стандартным методикам.

Из золошлакового отвала были отобраны пять проб. Исследован гранулометрический состав отобранных проб. Анализ полученных результатов показывает, что гранулометрический состав золошлаковых отходов достаточно стабилен. Так, согласно ГОСТ 25592-2019 «Смеси золошлаковые тепловых электростанций для бетонов. Технические условия», в пробах золошлакового материала из отвала Зуевской ТЭС содержится:

- крупные включения в виде шлаковой составляющей ЗШС (зерна размером свыше 5 мм) – 32 %;
- дисперсный материал в виде шлаковой и зольной составляющих (фракция от 0,315 до 5 мм) – 38 %;
- тонкодисперсный материал на основе зольной составляющей (фракция менее 0,315 мм) – 30 %.

Выполнен рентгенофазовый анализ образцов золошлаковой смеси всех фракций (рисунок а, б, в), размолотых до порошков с размером частиц менее 80 мкм: условия съемки дифрактограмм (одинаковые для всех образцов): медное излучение с длиной волны $\lambda = 0,154178$ нм при ускоряющем напряжении 27 кВ и токе 15 μ А; щели для съемки 0,5×4×0,25 мм (0,5 – вертикальная коллимационная щель; 4 – горизонтальная коллимационная щель; 0,25 – щель на детекторе). Съемка дифрактограмм осуществлялась в пошаговом режиме ($2\theta = 10 - 80^\circ$ с шагом 0,1 и временем экспозиции 5 с). Расшифровку рентгенограмм осуществляли в соответствии со справочными данными [16, 17].

По результатам РФА установлено, что составляющие золошлаковой смеси компоненты минералогически в основном представлены кварцем, полевым шпатом, гематитом и муллитом. В то же время, тонкоразмолотый материал на основе шлаковой составляющей ЗШС (кривая а) более остеклован, чем материал из смеси шлаковой и зольной составляющих (кривая б) и зольной составляющей (кривая в).

Химический анализ золошлаковых отходов Зуевской ТЭС показывает, что большая часть состоит из оксидов кремния, алюминия и железа, а также оксида кальция в нормируемых показателях для кислых зол (таблица 1).

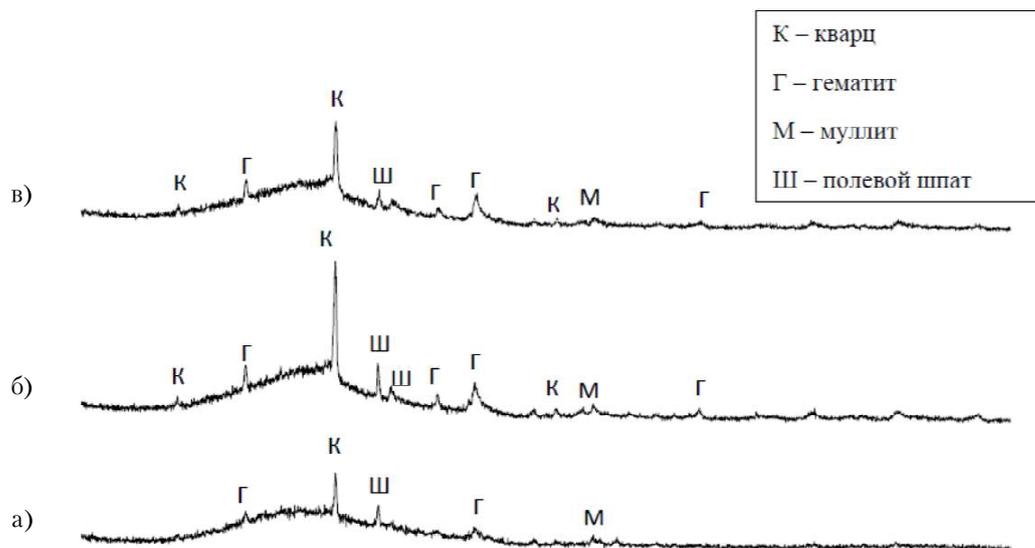


Рисунок. Рентгенограммы образцов ЗШС Зуевской ТЭС: а) крупный заполнитель на основе шлаковой составляющей ЗШС; б) мелкий заполнитель на основе шлаковой и зольной составляющих; в) минеральная добавка для бетона на основе зольной составляющей.

Таблица 1 – Содержание химических оксидов в ЗШС

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	P ₂ O ₅	K ₂ O	Na ₂ O	TiO ₂	ППП
53,44	23,40	8,31	1,66	1,35	0,17	0,26	2,87	0,62	0,98	6,92

Далее крупный заполнитель на основе шлаковой составляющей ЗШС был измельчен до размеров минеральной добавки на основе зольных составляющих для использования в качестве частичной замены портландцемента.

Разработаны составы минеральных вяжущих веществ (таблица 2) с частичной заменой портландцемента в количестве 10, 15, 20 % минеральными добавками на основе молотого крупного заполнителя шлаковой составляющей ЗШС (составы № 2–4) и минеральной добавкой, полученной рассевом золошлаковой смеси (составы № 5–7).

Результаты экспериментов и выводы

Установлено, что замена части портландцемента добавкой золошлаковой смеси, как на основе молотого крупного заполнителя шлаковой составляющей ЗШС (составы № 2–4), так и минеральной добавкой, полученной рассевом золошлаковой смеси (составы № 5–7) не оказывает

существенного влияния на показатели водопотребности цементного теста, для достижения нормальной густоты относительно контрольного состава. Показатели водопотребности цементного теста находятся в пределах 25–27 %.

При частичной замене портландцемента золошлаковыми отходами Зуевской ТЭС, как на основе молотого крупного заполнителя шлаковой составляющей, так и минеральной добавкой, полученной рассевом золошлаковой смеси в случае в количестве 10–20 % наблюдается замедление кинетики роста предела прочности при сжатии цементного камня в возрасте 7 суток твердения в нормальных условиях на 6–19 %, что, вероятнее всего, связано с уменьшением скорости гидратации вяжущих.

Показатели же предела прочности при сжатии камня вяжущего в возрасте 28 суток твердения с частичной заменой минеральной добавкой на основе молотого крупного заполнителя шлаковой составляющей ЗШС (составы 2–4) увеличиваются относительно контрольного состава

Таблица 2 – Составы и свойства вяжущих

№	Расход компонентов, %				Свойства	
	Цемент, %	Минеральная добавка (молотый шлак ТЭС)	Минеральная добавка (золошлаковая смесь ТЭС)	Вода, %	Предел прочности при сжатии, МПа	
					–7 суток НТ*	–28 суток НТ*
1 (К)	100	–	–	25	46,9	56,5
2	90	10	–	26	44,1	60,5
3	85	15	–	26	38,8	56,2
4	80	20	–	27	38,2	57,4
5	90	–	10	26	42,1	53,8
6	85	–	15	27	37,2	52,2
7	80	–	20	27	38,3	53,9

*Примечание: НТ – нормальные условия твердения.

на 2–7 %, что скорее всего связано с протеканием пуццолановой реакции с образованием гидроалюмосиликатов кальция. Прочность образцов камня вяжущего в возрасте 28 суток с частичной заменой цемента на минеральную добавку, полученную рассевом золошлаковой смеси (составы № 5–7) относительно контрольного состава

уменьшается незначительно – на 5–7%. Это скорее всего объясняется уменьшением протекания пуццолановых реакций кристаллической структурой минеральных компонентов золошлаковой смеси.

В дальнейшем необходимо исследовать степень гидратации цементного вяжущего с частичной заменой золошлаковыми отходами ТЭС.

Список источников

1. Применение зол и золошлаковых отходов в строительстве / Н. И. Ватин, Д. В. Петросов, А. И. Калачев [и др.]. – Текст : непосредственный // Инженерно-строительный журнал. – 2011. – № 4(22). – С. 16–21.
2. Physical, chemical, and geotechnical properties of coal fly ash: A global review / A. Bhatt, S. Priyadarshini, A. A. Mohanakrishnan [et al.]. – Текст : непосредственный // Case Studies in Construction Materials. – Volume 11. – 2019. – P. 1–11.
3. A comprehensive review on the applications of coal fly ash / Z. T. Yao, X. S. Ji, P. K. Sarker [et al.]. – Текст : непосредственный // Earth-Science Reviews. – Volume 141. – 2015. – P. 105–121.
4. Masad, E. Implementation of High Performance Concrete in Washington State / E. Masad, L. James. – Washington : Washington Transportation Center (TRAC), 2001. – 130 p. – Текст : непосредственный.
5. Nasser, K. W. Resistance of fly ash concrete to freezing and thawing / K.W. Nasser, P. S. H. Lai. – Текст : непосредственный // Fly Ash, Silica Fume, Slag and Natural Pozzolans in Concrete : Proceedings of the 4th International Conference, 3–8 May 1992, Istanbul, Turkey. – American Concrete Institute : Farmington Hills, 1993. – P. 205–226.

References

1. Vatin, N. I.; Petrosov, D. V.; Kalachev, A. I. [et al.]. Use of ashes and ash-and-slag wastes in construction. – Text : direct. – In: *Magazine of Civil Engineering*. – 2011. – № 4(22). – P. 16–21. (in Russian)
2. Bhatt, A.; Priyadarshini, S.; Mohanakrishnan, A. A. [et al.]. Physical, chemical, and geotechnical properties of coal fly ash: A global. – Text : direct. – In: *Case Studies in Construction Materials*. – Volume 11. – 2019. – P. 1–11.
3. Yao, Z. T.; Ji, X. S.; Sarker, P. K. [et al.]. A comprehensive review on the applications of coal fly ash. – Text : direct. – In: *Earth-Science Reviews*. – Volume 141. – 2015. – P. 105–121.
4. Masad, E.; James, L. Implementation of High Performance Concrete in Washington State. – Washington : Washington Transportation Center (TRAC), 2001. – 130 p. – Text : direct.
5. Nasser, K. W.; Lai, P. S. H. Resistance of fly ash concrete to freezing and thawing. – Text : direct. – In: *Fly Ash, Silica Fume, Slag and Natural Pozzolans in Concrete* : Proceedings of the 4th International Conference, 3–8 May 1992, Istanbul, Turkey. – American Concrete Institute : Farmington Hills, 1993. – P. 205–226.
6. Tikalsky, Paul J.; Carrasquillo, P. M.; Carrasquillo, R. L. Strength and Durability Considerations

6. Tikalsky, Paul J. Strength and Durability Considerations Affecting Mix Proportioning of Concrete Containing Fly Ash / Paul J. Tikalsky, P. M. Carrasquillo, R. L. Carrasquillo. – Текст : непосредственный // *Aci Materials Journal (American Concrete Institute)*. – 1988. – Volume 85, Issue 6. – P. 505–511.
7. Consistency of fly ash quality for making high volume fly ash concrete / A. Antoni, A. K. Widiyanto, J. L. Wiranegara [et al.]. – DOI: <https://doi.org/10.1113/jt.v79.11870>. – Текст : электронный // *Advanced on Technology in Material and Environmental Engineering*. – 2017. – Volume 79, № 7–2. – P. 13–20. – URL: <https://journals.utm.my/jurnalteknologi/article/view/11870/6260> (дата обращения: 10.08.2024).
8. Deep learning to predict the hydration and performance of fly ash-containing cementitious binders / T. Han, R. Bhat, S. A. Ponduru [et al.]. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2023.107093>. – Текст : электронный // *Cement and Concrete Research*. – 2023. – Volume 165. – P. 1–12. – URL: <http://works.bepress.com/hongyan-ma/132/> (дата обращения: 25.08.2024). – ISSN 0008-8846.
9. Giergiczny, Z. Fly ash and slag / Z. Giergiczny. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2019.105826>. – Текст : электронный // *Cement and Concrete Research*. – 2019. – Volume 124. – P. 1–15. – URL: <https://www.scihub.ru/10.1016/j.cemconres.2019.105826> (дата обращения: 18.07.2024).
10. Рекомендации по применению в бетонах золы, шлака и золошлаковой смеси тепловых электростанций / НИИЖБ Госстроя СССР. – Москва : Стройиздат, 1986. – 80 с. – Текст : непосредственный.
11. Зайченко, Н. М. Свойства обогащенной золы ТЭС для высокофункциональных бетонов / Н. М. Зайченко, И. Ю. Петрик, В. Н. Губарь. – Текст : электронный // *Современное промышленное и гражданское строительство*. – 2022. – Том 18, № 4. – С. 157–165. – URL: https://donnasa.ru/publish_house/journals/spgs/2022-4/st_03_zaiченко_petrik_gubar.pdf (дата обращения: 29.07.2024). – ISSN 1993-3495.12.
12. Mathew, B. J. Strength, economic and sustainability characteristics of coal ash-GGBS based geopolymer concrete / B. J. Mathew, M. Sudhakar, C. Natarajan. – Текст : непосредственный // *International Journal of Computational Engineering Research*. – 2013. – Volume 3. – P. 207–212.
13. Лищенко, А. Н. Исследование щелочных жаростойких бетонов на основе золошлаковых отходов Зуевской ТЭС / А. Н. Лищенко. – Текст : электронный // *Современное промышленное и гражданское строительство*. – 2023. – Том 19, № 2. – С. 61–70. – URL: https://donnasa.ru/publish_house/journals/spgs/2023-2/st_03_lischenko.pdf (дата обращения: 01.09.2024). – ISSN 1993-3495.
14. Innovative processing of stockpile fly ash : Working Draft Report / M. J. McCarthy, M. R. Jones, T. A. Hope [et al.]. – Scotland : University of Dundee, 2019. – 228 p. – Текст : непосредственный.
- Affecting Mix Proportioning of Concrete Containing Fly Ash. – Text : direct. – In: *Aci Materials Journal (American Concrete Institute)*. – Volume 85, Issue 6. – 1988. – P. 505–511.
7. Antoni, A.; Widiyanto, A. K.; Wiranegara, J. L. [et al.]. Consistency of fly ash quality for making high volume fly ash. – Text : electronic. – In: *Advanced on Technology in Material and Environmental Engineering*. – 2017. – Volume 79, № 7–2. – P. 13–20. – URL: <https://journals.utm.my/jurnalteknologi/article/view/11870/6260> (date of access: 10.08.2024). – DOI: <https://doi.org/10.1113/jt.v79.11870>.
8. Han, T.; Bhat, R.; Ponduru, S. A. [et al.]. Deep learning to predict the hydration and performance of fly ash-containing cementitious binders. – Text : electronic. – In: *Cement and Concrete Research*. – 2023. – Volume 165. – P. 1–12. – URL: <http://works.bepress.com/hongyan-ma/132/> (date of access: 25.08.2024). – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2023.107093>. – ISSN 0008-8846.
9. Giergiczny, Z. Fly ash and slag. – Text : electronic. – In: *Cement and Concrete Research*. – 2019. – Volume 124. – P. 1–15. – URL: <https://www.sci-hub.ru/10.1016/j.cemconres.2019.105826> (date of access: 18.07.2024). – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2019.105826>.
10. Recommendations for the use of ash, slag and ash-slag mixture from thermal power plants in concrete / Research Institute of Reinforced Concrete of the USSR Gosstroy. – Moscow : Stroyizdat, 1986. – 80 p. – Text : direct. (in Russian)
11. Zaichenko, N. M.; Petrik, I. Yu.; Gubar, V. N. Properties of Enriched Thermal Power Plant Ash from for High-Performance Concretes. – Text : electronic. – In: *Modern Industrial and Civil Construction*. – 2022. – Volume 18, № 4. – P. 157–165. – URL: https://donnasa.ru/publish_house/journals/spgs/2022-4/st_03_zaiченко_petrik_gubar.pdf (date of access: 29.08.2024). – ISSN 1993-3495. (in Russian)
12. Mathew, B. J.; Sudhakar, M.; Natarajan, C. Strength, economic and sustainability characteristics of coal ash – GGBS based geopolymer concrete. – Text : direct. – In: *International Journal of Computational Engineering Research*. – 2013. – Volume 3. – P. 207–212.
13. Lischenko, A. N. Investigation of Alkaline Heat-Resistant Concrete Based on Ash and Slag Waste of the Zuevskaya TPP. – Text : electronic. – In: *Modern Industrial and Civil Construction*. – 2023. – Volume 19, № 2. – P. 61–70. – URL: https://donnasa.ru/publish_house/journals/spgs/2023-2/st_03_lischenko.pdf (date of access: 01.09.2024). – ISSN 1993-3495. (in Russian)
14. McCarthy, M. J.; Jones, M. R.; Hope, T. A. [et al.]. Innovative processing of stockpile fly ash : Working Draft Report. – Scotland : University of Dundee, 2019. – 228 p. – Text : direct.
15. Rabukhin, A. I.; Savelyev, V. G. Physical chemistry of refractory non-metallic and silicate compounds. – Moscow : Infra-M, 2004. – 304 p. – Text : direct. (in Russian)

15. Рабухин, А. И. Физическая химия тугоплавких неметаллических и силикатных соединений / А. И. Рабухин, В. Г. Савельев. – Москва : Инфра-М, 2004. – 304 с. – Текст : непосредственный.
16. Горшков, В. С. Методы физико-химического анализа вяжущих веществ / В. С. Горшков, В. В. Тимашев, В. Г. Савельев. – Москва : Высшая школа, 1981. – 335 с. – Текст : непосредственный.
17. Тейлор, Х. Химия цемента / Х. Тейлор ; [перевод с английского А. И. Бойкова, Т. В. Кузнецова]. – Москва : Мир, 1996. – 560 с. – Текст : непосредственный.
16. Gorshkov, V. S.; Timashev, V. V.; Savelyev, V. G. Methods of physicochemical analysis of binders. – Moscow : Higher School, 1981. – 335 p. – Text : direct. (in Russian)
17. Taylor, H. Cement Chemistry [translated from English by A. I. Boykova, T. V. Kuznetsova]. – Moscow : Mir, 1996. – 560 p. – Text : direct. (in Russian)

Информация об авторах

Лахтарина Наталья Николаевна – ассистент кафедры технологий строительных конструкций, изделий и материалов Донбасской национальной академии строительства и архитектуры, ДНР, Макеевка, Россия. Научные интересы: сухие строительные смеси для ремонта и восстановления железобетонных конструкций.

Зайченко Николай Михайлович – доктор технических наук, профессор; ректор Донбасской национальной академии строительства и архитектуры, ДНР, Макеевка, Россия. Научные интересы: высокопрочные и особо высокопрочные бетоны на основе модифицированных дисперсных компонентов бетона.

Лахтарина Сергей Викторович – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой технологий строительных конструкций, изделий и материалов Донбасской национальной академии строительства и архитектуры, ДНР, Макеевка, Россия. Научные интересы: легкие высокопрочные бетоны.

Information about the authors

Lakhtarina Natalia N. – Assistant, Technologies of Building Structures, Products and Materials Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture, DPR, Makeevka, Russia. Scientific interests: dry mixes for repair and restoration of reinforced concrete structures.

Zaichenko Nikolai M. – D. Sc. (Eng.), Professor; Rector Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture, DPR, Makeevka, Russia. Scientific interests: high strength and high-performance concretes on the base of modified fillers.

Lakhtarina Sergei V. – Ph. D. (Eng.), Associate Professor, Head of the Technologies of Building Structures, Products and Materials Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture, DPR, Makeevka, Russia. Scientific interests: lightweight high-strength concrete.

Статья поступила в редакцию 23.09.2024; одобрена после рецензирования 21.10.2024; принята к публикации 25.10.2024.

The article was submitted 23.09.2024; approved after reviewing 21.10.2024; accepted for publication 25.10.2024.