



ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕНОБЕТОНОВ НА ОСНОВЕ ЗОЛОШЛАКОВЫХ ОТХОДОВ ЗУЕВСКОЙ ТЭС

Анна Николаевна Лищенко

*Донбасская национальная академия строительства и архитектуры,
ДНР, Макеевка, Россия, a.n.lisichenko@donnasa.ru*

Аннотация. В работе рассмотрены способы использования золы-уноса и шлака Зуевской ТЭС, а также выявлена перспектива использования их в производстве неавтоклавного пенобетона. Рассмотрена возможность применения золошлаковых отходов ТЭС в качестве частичной замены портландцемента. Приведены результаты исследования влияния добавок золы-уноса и шлака ТЭС от массы смеси с портландцементом на физико-механические свойства пенобетонов марок по средней плотности П400–П800. Изучено влияние содержания добавок золошлаковых отходов ТЭС на прочность и среднюю плотность пенобетонов. Добавки золы-уноса и шлака ТЭС к портландцементу снижают среднюю плотность, повышают прочность и пористость вяжущей матрицы, что будет благоприятно влиять на теплозащитные свойства пенобетонов на их основе. Доказано, что золошлаковые отходы тепловых электростанций можно эффективно использовать в технологии производства изделий из неавтоклавного пенобетона. Установлено, что на основе такого сырья как зола-уноса и шлак возможно получать пенобетоны прочностью не менее 1,25–5,75 МПа.

Ключевые слова: пенобетон, шлак и зола-уноса ТЭС, пористость, механические свойства, текучесть

Для цитирования: Лищенко А. Н. Исследование пенобетонов на основе золошлаковых отходов Зуевской ТЭС // *Современное промышленное и гражданское строительство*. 2024. Т. 20, № 4. С. 189–195. doi: 10.71536/spgs.2024.v20n4.3. edn: arpjcx.

Original article

INVESTIGATION OF FOAM CONCRETE BASED ON ASH AND SLAG WASTE OF THE ZUEVSKAYA TPP

Anna N. Lischenko

*Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture,
DPR, Makeevka, Russia, a.n.lisichenko@donnasa.ru*

Abstract. The paper considers the ways of using fly ash and slag from the Zuyevskaya TPP, and also identifies the prospect of using them in the production of non-autoclaved foam concrete. The possibility of using ash and slag waste from thermal power plants as a partial replacement for Portland cement is considered. The results of the study of the effect of fly ash and TPP slag additives from the mass of the mixture with Portland cement on the physical and mechanical properties of foam concrete grades with an average density of P400–P800 are presented. The influence of the content of additives of ash and slag waste of thermal power plants on the strength and average density of foam concrete has been studied. Additives of fly ash and slag of thermal power plants to Portland cement reduce the average density, increase the strength and porosity of the binder matrix, which will favorably affect the thermal protection properties of foam concrete based on them. It is proved that ash and slag waste from thermal power plants can be effectively used in the production technology of products made of non-autoclaved foam concrete. It has been established that on the basis of such raw materials as fly ash and slag, it is possible to obtain foam concrete with a strength of at least 1,25–5,75 MPa.



Keywords: foam concrete, slag and fly ash of thermal power plants, porosity, mechanical properties, fluidity

For citation: Lischenko A. N. Investigation of foam concrete based on ash and slag waste of the Zuevskaya TPP. *Modern Industrial and Civil Construction*. 2024;20(4):189–195. (In Russ.). doi: 110.71536/spgs.2024.v20n4.2. edn: arpjcx.

Актуальность темы

Тепловые электростанции являются лидерами среди промышленных предприятий по количеству вырабатываемых производственных отходов. При сжигании твердых видов топлива образуются шлаки и золы, ежегодный выход которых находится в пределах 70–90 млн т. Среднестатистическая тепловая электростанция производит около 600 тыс. тонн отходов в год, которые занимают огромные территории плодородных земель. По статистике, даже на самых современных ТЭС с новейшим оборудованием образуется от 50 до 200 граммов золы на 1 кВт·ч электроэнергии. На содержание золошлаковых отвалов накопивших колоссальные объемы отходов требуются значительные энергетические и финансовые затраты [1].

Золы и шлаки ТЭС относятся к группе материалов обладающих специфическими свойствами, приобретенными во время термической обработки, что позволяет их эффективно применять при производстве широкого спектра строительных материалов. Это многократно подтверждено на практике и многочисленными научными исследованиями и разработками [2, 3, 6]. Высокая химическая активность золошлаковых отходов ТЭС по сравнению с материалами, не прошедшими высокотемпературной обработки, позволяет в значительной мере снизить энергетические затраты в дальнейшем, при использовании отходов в качестве сырья в процессе производства строительных материалов и изделий. Содержание остатков несгоревшего топлива в золошлаках позволяет их эффективно использовать в технологии обжиговых строительных материалов [1, 4–5].

На основе зол и шлаков ТЭС можно изготавливать практически все строительные материалы, изделия и конструкции, используемые в промышленном, гражданском, сельскохозяйственном строительстве, а также при возведении гидротехнических сооружений и в дорожном строительстве. Однако масштаб применения

золошлаковых отходов ТЭС в строительстве остается минимальным – примерно 3 % годового выпуска.

Максимальное использование зол и шлаков тепловых электростанций необходимо не только в целях экономии, но и для решения экологических проблем. Использование зол и шлаков ТЭС позволит оптимизировать расходы на добычу сырья, обеспечить рациональное использование топливно-энергетических ресурсов предприятия, реализовать концепцию безотходного производства. Кроме того, данный подход будет способствовать постепенному освобождению территорий сельскохозяйственного назначения и снижению финансовых затрат связанных с содержанием золоотвалов. Ликвидация золошлаковых отвалов положительно влияет на качество атмосферного воздуха. На территории отвалов воздух загрязнен частицами пыли, которые разносятся ветром на значительное расстояние, что негативно сказывается на состоянии здоровья людей и окружающей среды.

Наши исследования [2, 3], а также научные труды многих ученых [1, 4–6] свидетельствуют о широком спектре применения зол и шлаков в различных областях строительства. Отходы теплоэлектростанций могут быть рассмотрены как возможность для рационального использования природных ресурсов и стабильный источник сырья при производстве строительных материалов.

Твердое топливо сжигаемое на теплоэлектростанциях используется в виде кусков и угольной пыли. Зола-уноса и шлак ТЭС являются продуктами высокотемпературной (до 1 200–1 700 °С) обработки минеральной части углей и представляют собой несгоревшие остатки топлива. На мелких предприятиях используют кусковое топливо, основная же масса золошлаковых отходов производится тепловыми электростанциями работающими на пылевидном топливе.

Шлак образуется в результате слипания размягченных частиц золы в объеме топки или на её стенках и накапливается в шлаковом бункере

под топкой. Размер зерен шлака 1–50 мм. Зола-уноса представляющая собой мельчайшие частицы (менее 1 мм), уносится из топки вместе с дымовыми газами и улавливается при их очистке в циклонах и электрофильтрах.

Более 80 % минеральной части углей преобразуются в золу, а до 20 % – в шлак. Поэтому зола-уноса ТЭС представляет наибольший интерес для использования в производстве строительных материалов.

Состав и структура золы формируется под воздействием множества взаимосвязанных факторов. К ним относятся: тип сжигаемого топлива и его морфологические особенности, тонкость помола в процессе его подготовки, зольность топлива, химический состав минеральной части топлива, температура в зоне горения, время пребывания частиц в этой зоне и другие факторы. При высоком содержании карбонатов в исходном топливе воздействие высоких температур во время горения приводит к образованию силикатов, алюминатов и ферритов кальция – минералов, способных к гидратации. Такие золы при затворении водой способны к схватыванию и самостоятельному твердению, поскольку обычно содержат окись кальция и окись магния в свободном состоянии [7].

Применение зол и шлаков тепловых электростанций для производства ячеистых бетонов считается одним из перспективных направлений в использовании энергетических отходов.

Так как основной составляющей золы является стекловидное вещество, а не кристаллический кварц, как в песке, то зола значительно более активна и её применение в качестве кремнеземистого компонента эффективнее.

Вследствие того, что частицы золы отличаются развитой внутренней пористостью, ячеистые золобетоны при прочих равных условиях характеризуются меньшей плотностью по сравнению с подобными бетонами на песке.

Эффективность использования золошлаковых отходов ТЭС в производстве ячеистых бетонов на основе цементных вяжущих обусловлена их высокой дисперсностью, активностью по отношению к продуктам гидратации цемента, низкой плотностью и незначительным водопоглощением. С другой стороны, замена кварцевого песка, традиционно используемого в производстве ячеистых бетонов, золошлаковыми

отходами принципиально изменяет реологические характеристики пенобетонной массы [8, 9].

Пенобетонные смеси, приготовляемые по традиционным технологиям, характеризуются высоким водоцементным отношением и низкой вязкостью. Смеси той же плотности с использованием золошлаковых отходов выгодно отличаются от традиционных пониженным водосодержанием и, как следствие, высокой структурной прочностью. Это обусловлено формой и характером поверхности частиц, их большим энергетическим потенциалом, а также высоким пластифицирующим эффектом, оказываемым пенообразователем. Снижение значения водоцементного отношения способствует повышению прочности затвердевшего пенобетона без увеличения его средней плотности и теплопроводности [9].

Цель научной работы

Целью исследования является оценка эффективности применения золошлаковых отходов Зуевской ТЭС в технологии приготовления пенобетонов с примерной средней плотностью 400–800 кг/м³.

Основной материал

В исследованиях использовались: портландцемент марки 500 (Амвросиевский цементный комбинат «Донцемент»), зола-уноса сухого отбора с полным проходом через сито 0,08 мм и молотый шлак с остатком на сите 0,08 мм 7,8 % (Зуевская ТЭС, Донецкая обл.). Химический состав отходов приведен в табл. 1.

Для поризации бетонов использовался пенообразователь ПО-6. Бетонные смеси готовились в одну стадию в скоростном смесителе при следующем порядке введения компонентов «вода + пенообразователь, 2–3 минуты перемешивания + сухая смесь компонентов, 2–3 минуты перемешивания». Согласно [9] регулирование средней плотности бетонов производилось изменением текучести смесей и расходом пенообразователя.

Прочность и средняя плотность пенобетонов исследовались на образцах-кубах с ребром 10 см. Образцы твердели 28 суток в нормальных условиях при температуре 20 °С.

В исследованиях использовались пенобетоны, составы которых приведены в таблице 2.

Таблица 1. Химический состав золы-уноса и шлака ТЭС

Вид отхода	Содержание оксидов, % массы							ППП сверх 100 %
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	RO	R ₂ O	SO ₃	
зола-уноса	55,6	18,9	13	1,7	2,6	1,3	0,9	5,1
шлак	56,8	21,1	2,1	14,3	2,9	1,5	0,8	0

Таблица 2. Составы и текучесть смесей, физико-механические свойства пенобетонов

№ шп	Состав бетонов, % массы			В/Т смеси	Текучесть смеси, см	Средняя плотность, кг/м ³	Прочность при сжатии, МПа, в возрасте	
	цемент	шлак	зола				7 сут	28 сут
1	100	–	–	0,6	34	420	0,7	0,95
2				0,55	26	635	1,4	2,37
3				0,5	18	825	3,12	4,23
4	80	20	–	0,6	34	402	0,85	1,25
5				0,55	26	610	2,72	3,51
6				0,5	18	810	4,68	5,75
7	80	–	20	0,6	34	390	0,72	1,06
8				0,55	26	585	2,05	2,92
9				0,5	18	787	3,8	4,96

Анализ результатов исследований, приведенных в таблице 2, показывает, что введение золы-уноса и шлака ТЭС в смесь позволяет получить пенобетон, характеризующийся широким диапазоном физико-механических свойств: средняя плотность 400–800 кг/м³, прочность при сжатии от 1,25 до 5,75 МПа, теплопроводность 0,13–0,17 Вт/(м·°С).

Полученные экспериментальные данные подтверждают возможность производства пенобетонов на основе исследованного техногенного сырья отвечающих требованиям по средней плотности и прочности для использования в промышленном и гражданском строительстве.

Технология изготовления изделий из пенобетона на основе золошлаковых отходов Зуевской ТЭС, позволяет решить ряд важных экономических и экологических проблем:

- за счет исключения из состава пенобетона кварцевого песка, а также замены части цемента снижается себестоимость готовой продукции;
- значительное снижение расходов на строительство новых и обслуживание существующих золоотвалов;
- сокращение расхода энергии на процесс формирования структуры и прочности пенобетона без автоклавной обработки;

– за счет утилизации пылевидных отходов, минимизируется негативное воздействие золоотвалов на окружающую среду и сельскохозяйственные угодья на прилегающих территориях.

Выводы

Исследовано влияние добавок золы-уноса и шлака Зуевской ТЭС на физико-механические свойства пенобетонов марок по средней плотности П400–П800. На основании результатов исследования физико-механических свойств установлено, что пенобетоны на основе золошлаковых отходов ТЭС обладают высокими показателями прочности 1,25–5,75 МПа. Определено, что наибольший прирост прочности пенобетона получен на оптимальном составе смеси с содержанием золошлаковых отходов 20 % от массы цемента.

Установлена эффективность использования золошлаковых отходов ТЭС в производстве стеновых изделий из конструктивно-теплоизоляционных и теплоизоляционных бетонов, что позволит расширить сырьевую базу производства и решить экологические проблемы утилизации золошлаковых отходов.

Список источников

1. Данилович, И. Ю. Использование топливных шлаков и зол для производства строительных материалов : учебное пособие для СПТУ / И. Ю. Данилович, Н. А. Сканави. – Москва : Высшая школа, 1988. – 72 с. – ISBN 5-06-001280-8. – Текст : непосредственный.
2. Ефремов, А. Н. Влияние добавок шлака и золы-унос ТЭС на жаростойкие свойства портландцементных пенобетонов / А. Н. Ефремов, А. Н. Лищенко. – Текст : непосредственный // Вісник Донбаської національної академії будівництва і архітектури. – 2011. – Випуск 2011-1(87) Сучасні будівельні матеріали. – С. 112–115.
3. Ефремов, А. Н. Влияние мелкого керамзитового заполнителя на жаростойкие свойства портландцементных пенобетонов / А. Н. Ефремов, А. Н. Лищенко. – Текст : непосредственный // Вісник Донбаської національної академії будівництва і архітектури. – 2012. – Випуск 2012-1(93) Сучасні будівельні матеріали. – С. 221–224.
4. Мартыненко, В. А. Ячеистые и поризованные легкие бетоны / В. А. Мартыненко. – Днепропетровск : Пороги, 2002. – 172 с. – Текст : непосредственный.
5. Горлов, Ю. П. Технология теплоизоляционных материалов / Ю. П. Горлов, А. П. Меркин, А. А. Устенко. – Москва : Стройиздат, 1980. – 399 с. – Текст : непосредственный.
6. Сыркин, О. О. Исследование пенобетонов с продуктами переработки золошлаковых материалов северской ТЭЦ / О. О. Сыркин, А. Б. Шешенко ; научный руководитель А. И. Кудряков. – Текст : непосредственный // Перспективы развития фундаментальных наук : сборник научных трудов XIV Международной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, 25–28 апреля 2017 г., Томск : в 7 томах : том 6 «Строительство и архитектура». – Томск : Издательство ТПУ, 2017. – С. 17–19.
7. Сычев, М. М. Твердение вяжущих веществ / М. М. Сычев. – Ленинград : Стройиздат (Ленинградское отделение), 1974. – 80 с. – Текст : непосредственный.
8. ГОСТ 25485-2019. Бетоны ячеистые. Общие технические условия. = Cellular concrete. General specifications : межгосударственный стандарт : издание официальное : утвержден и введен в действие приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 16 июля 2019 г. № 390-ст : взамен ГОСТ 25485-89 : дата введения 2020-01-01 / разработан Научно-исследовательским, проектно-конструкторским и технологическим институтом бетона и железобетона им. А. А. Гвоздева (НИИЖБ им. А. А. Гвоздева) Акционерного общества «Научно-исследовательский центр «Строительство» (АО «НИЦ «Строительство»). – Москва : Стандартинформ, 2019. – 16 с. – Текст : непосредственный.
9. СН 277-80. Инструкция по изготовлению изделий из ячеистого бетона : издание официальное :

References

1. Danilovich, I. Yu.; Skanavi, N. A. Use of fuel slags and ashes for the production of building materials : a textbook for vocational schools. – Moscow : Higher School, 1988. – 72 p. – ISBN 5-06-001280-8. – Text : direct. (in Russian)
2. Yefremov A. N.; Lischenko A. N. Influence of slag additives and fly ash on the fire-resistant properties of portland cement stone. – Text : direct. – In: *Proceeding of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture*. – 2011. – Issue 2011-1(87) Modern building materials. – P. 112–115. (in Russian)
3. Yefremov A. N.; Lischenko A. N. The influence of fine expanded clay filler on the heat-resistant properties of portland cement foam concrete. – Text : direct. – In: *Proceeding of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture*. – 2012. – Issue 2012-1(93) Modern building materials. – P. 221–224. (in Russian)
4. Martynenko, V. A. Cellular and porous lightweight concrete. – Dnepropetrovsk : Porogi, 2002. – 172 p. – Text : direct. (in Russian)
5. Gorlov, Yu. P.; Merkin, A. P.; Ustenko, A. A. Technology of thermal insulation materials. – Moscow : Stroyizdat, 1980. – 399 p. – Text : direct. (in Russian)
6. Syrkin, O. O.; Steshenko, A. B. Study of foam concrete with products of processing of ash and slag materials of the Severskaya TPP ; scientific supervisor A. I. Kudyakov. – Text : direct. – In: *Prospects for the development of fundamental sciences : collection of scientific papers of the XIV International Conference of Students, Postgraduates and Young Scientists, April 25–28, 2017, Tomsk* : in 7 volumes : volume 6 «Construction and Architecture». – Tomsk : TPU Publishing House, 2017. – P. 17–19. (in Russian)
7. Sychev, M. M. Hardening of binders. – Leningrad : Stroyizdat (Leningrad branch), 1974. – 80 p. – Text : direct. (in Russian)
8. GOST 25485-2019. Cellular concrete. General specifications : interstate standard : official edition : approved and put into effect by order of the Federal Agency for Technical Regulation and Metrology dated July 16, 2019 № 390-st : instead GOST 25485-89 : date of introduction 2020-01-01 / developed by the A. A. Gvozdev Research, Design and Technological Institute of Concrete and Reinforced Concrete (A. A. Gvozdev Research Institute of Concrete and Reinforced Concrete) of Joint-Stock «Company Research Center «Construction» (JSC «Research «Center Construction»). – Moscow : Standartinform, 2019. – 16 p. – Text : direct. (in Russian)
9. SN 277-80. Instructions for the manufacture of products from cellular concrete : official publication : approved by the Resolution of the USSR State Construction Committee dated February 7, 1980 № 9 : instead SN 277-70 : date of introduction 2020-12-07 / prepared by the Research Institute of Reinforced Concrete of the USSR Gosstroy. –

- утверждена постановлением Государственного комитета СССР по делам строительства от 7 февраля 1980 г. № 9 : взамен СН 277-70 : дата введения 2020-12-07 / подготовлена НИИЖБ Госстроя СССР. – Москва : ГУП ЦПП, 2001. – 47 с. – Текст : непосредственный.
10. Донченко, О. М. Конструкции наружных стен гражданских зданий из пенобетона / О. М. Донченко, И. А. Дегтев, Ю. С. Пириев. – Текст : непосредственный // Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова. – 2003. – № 4. – С. 78–84.
 11. Пинскер, В. А. Состояние и проблемы производства и применения ячеистых бетонов / В. А. Пинскер. – Текст : непосредственный // Ячеистые бетоны в современном строительстве : сборник докладов Международной научно-практической конференции, 21–23 апреля 2004 г., Санкт-Петербург. – Санкт-Петербург : СПбГАСУ, 2004. – С. 1–5.
 12. Казаков, Ю. Н. Малоэтажные градостроительные комплексы с энергосберегающими строительными системами и ячеистыми бетонами / Ю. Н. Казаков. – Текст : непосредственный // Строительное материаловедение – теория и практика : сборник трудов Всероссийской научно-практической конференции, 2006 г., Москва. – Москва : СИП РИА, 2006. – С. 346–351.
 13. Ухова, Т. А. Перспективы развития производства и применения ячеистых бетонов / Т. А. Ухова. – Текст : непосредственный // Строительные материалы : научно-технический и производственный журнал. – 2005. – № 1. – С. 18–20.
 14. Glasle, J. State-of-the-art technology for making autoclaved aerated concrete / J. Glasle. – Текст : непосредственный // BFT. – 2004. – № 12. – P. 10–21.
 15. Применение зол и золошлаковых отходов в строительстве / Н. И. Ватин, Д. В. Петросов, А. И. Калачев, П. Лахтинен. – Текст : непосредственный // Инженерно-строительный журнал. – 2011. – № 4. – С. 16–22.
 16. The effect of pozzolanas on the tricalcium aluminate hydration / M. Collepardi, G. Baldini, M. Pauri, M. Corradi. – Текст : непосредственный // Cement and Concrete Research. – 1978. – Volume 8, Issue 6. – P. 741–752.
 17. Bawden, K. T. Potential uses of cellular light-weight concrete / K. T. Bawden. – Текст : непосредственный // N. Z. Concrete Construction. – 1995. – Volume 39, № 6. – P. 19–21.
 18. Использование золошлаковых отходов в качестве дополнительного цементирующего материала / Танг Ван Лам, Нго Суан Хунг, Б. И. Булгаков [и др.]. – DOI: 10.12737/article_5b6d58455b5832.12667511. – Текст : электронный // Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова. – 2018. – № 8. – С. 19–27. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ispolzovanie-zoloshlakovyh-othodov-v-kachestve-dopolnitelnogo-tsementiruyuschego-materiala/viewer> (дата обращения: 02.11.2024).
 19. Kearsley, E. P. The use of foamcrete for affordable development in third world countries / E. P. Kearsley. – Moscow : GUP TsPP, 2001. – 47 p. – Text : direct. (in Russian)
 20. Donchenko, O. M.; Degtyarev, I. A.; Piriev, Yu. S. External wall structures of civil buildings made of foam concrete. – Text : direct. – In: *Bulletin of BSTU named after V. G. Shukhov*. – 2003. – № 4. – P. 78–84. (in Russian)
 11. Pinsker, V. A. Status and problems of production and application of cellular concrete. – Text : direct. – In: *Cellular concrete in modern construction* : collection of reports of the International scientific and practical conference, April 21–23, 2004, St. Petersburg. – St. Petersburg : SPbGASU, 2004. – P. 1–5. (in Russian)
 12. Kazakov, Yu. N. Low-rise urban development complexes with energy-saving construction systems and cellular concrete. – Text : direct. – In: *Construction materials science – theory and practice* : collection of works of the All-Russian scientific and practical conference, Moscow, 2006. – Moscow : SIP RIA, 2006. – P. 346–351. (in Russian)
 13. Ukhova, T. A. Prospects for the development of production and application of cellular concrete. – Text : direct. – In: *Construction materials* : scientific, technical and production journal. – 2005. – № 1. – P. 18–20. (in Russian)
 14. Glasle, J. State-of-the-art technology for making autoclaved aerated concrete. – Text : direct. – In: *BFT*. – 2004. – № 12. – P. 10–21.
 15. Vatin, N. I.; Petrosov, D. V.; Kalachev, A. I.; Lahtinen, P. Use of ashes and ash-and-slag wastes in construction. – Text : direct. – In: *Magazine of Civil Engineering*. – 2011. – № 4. – P. 16–22. (in Russian)
 16. Collepardi, M.; Baldini, G.; Pauri, M.; Corradi, M. The effect of pozzolanas on the tricalcium aluminate hydration. – Text : direct. – In: *Cement and Concrete Research*. – 1978. – Volume 8, Issue 6. – P. 741–752.
 17. Bawden, K. T. Potential uses of cellular light-weight concrete. – Text : direct. – In: *N. Z. Concrete Construction*. – 1995. – Volume 39, № 6. – P. 19–21.
 18. Lam Tang Van; Hung Ngo Xuan; Bulgakov, B. I. [et. al.]. Use of ash and slag waste as a supplementary cementing material. – Text : electronic. – In: *Bulletin of BSTU named after V. G. Shukhov*. – 2018. – № 8. – C. 19–27. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ispolzovanie-zoloshlakovyh-othodov-v-kachestve-dopolnitelnogo-tsementiruyuschego-materiala/viewer> (date of access: 02.11.2024). – DOI: 10.12737/article_5b6d58455b5832.12667511. (in Russian)
 19. Kearsley, E. P. The use of foamcrete for affordable development in third world countries. – Text : direct. – In: *Concrete in the service of mankind: Appropriate concrete technology*. – 2006. – Volume 3. – P. 232–243.
 20. Kearsley, E. P.; Wainwright, P. J. Porosity and Permeability of foamed concrete. – Text : direct. – In: *Cement and Concrete research*. – 2001. – Volume 31. – P. 805–812.

Текст : непосредственный // Concrete in the service of mankind : Appropriate concrete technology. – 2006. – Volume 3. – P. 232–243.

20. Kearsley, E. P. Porosity and Permeability of foamed concrete / E. P. Kearsley, P. J. Wainwright. – Текст : непосредственный // Cement and Concrete research. – 2001. – Volume 31. – P. 805–812.

Информация об авторе

Лищенко Анна Николаевна – кандидат технических наук, доцент кафедры технологий строительных конструкций, изделий и материалов Донбасской национальной академии строительства и архитектуры, ДНР, Макеевка, Россия. Научные интересы: вяжущие и бетоны на основе промышленных отходов, жаростойкие и огнеупорные бетоны.

Information about the author

Lischenko Anna N. – Ph. D. (Eng.), Associate Professor, Technologies of Building Structures, Products and Materials Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture, DPR, Makeevka, Russia. Scientific interests: binders and concretes on the basis of industrial waste, refractory concretes.

Статья поступила в редакцию 05.11.2024; одобрена после рецензирования 25.11.2024; принята к публикации 29.11.2024.

The article was submitted 05.11.2024; approved after reviewing 25.11.2024; accepted for publication 29.11.2024.