

DOI: 10.34031/2071-7318-2024-9-8-29-38

^{1,*}Лукутцова Н.П., ¹Пыкин А.А., ¹Головин С.Н., ²Дудник А.В., ²Золотухина Н.В.¹Брянский государственный инженерно-технологический университет²Бендерский политехнический филиал государственного образовательного учреждения «Приднестровский государственный университет им. Т.Г. Шевченко»

*E-mail: natluk58@mail.ru

ЭФФЕКТИВНОСТЬ СУПЕРПЛАСТИФИКАТОРОВ В МЕЛКОЗЕРНИСТОМ БЕТОНЕ С ЗОЛОШЛАКОВОЙ СМЕСЬЮ

Аннотация. Выполнена оценка эффективности нафталинформальдегидного и поликарбоксилатного суперпластификаторов в пропариваемом мелкозернистом бетоне с золошлаковой смесью Молдавской государственной районной электростанции (ЗШС МГРЭС) как добавкой-заменителем части портландцемента (10 %), образующейся от сжигания антрацита и тощего каменного угля при совместном гидроудалении золы-уноса и шлака. Представлены результаты исследований структуры и физико-химических свойств ЗШС МГРЭС (химического и гранулометрического составов, гидросиликатного и кремнеземистого модулей, коэффициента качества). Установлено, что основная масса золошлаковой смеси МГРЭС состоит из полидисперсных сферических частиц золы-уноса с гладкой остеклованной поверхностью. По содержанию оксида кальция (2,4 %) и гидросиликатному модулю (менее 1) ЗШС МГРЭС является кислой (скрыто активной), проявляющей пуццоланические свойства в условиях тепловой обработки бетона с содержанием суперпластификаторов. Выявлено, что эффективность суперпластификатора С-3 по повышению прочности на сжатие пропариваемого бетона с ЗШС МГРЭС составляет 178 % через 1 сутки, 119 % через 7 суток и 131 % через 90 суток, прочности на изгиб – 69 %, 40 % и 103 %. Суперпластификатор Master Glenium 115 обладает большей эффективностью, по сравнению с С-3, которая по повышению прочности на сжатие бетона в возрасте 1, 7 и 90 суток после пропаривания равна 174 %, 133 % и 156 %, а прочности на изгиб – 96 %, 83 % и 151 %.

Ключевые слова: мелкозернистый бетон, золошлаковая смесь, нафталинформальдегидный и поликарбоксилатный суперпластификаторы, пропаривание, прочность на сжатие и изгиб, эффективность суперпластификатора.

Введение. Тенденции развития современного бетоноведения связаны с необходимостью разработки новых ресурсосберегающих технологий получения модифицированных цементных бетонов с повышенными физико-механическими свойствами, в том числе, мелкозернистых бетонов (МЗБ) средней плотностью 2000–2600 кг/м³ на цементном вяжущем и плотном мелком заполнителе.

МЗБ широко применяются при производстве искусственных элементов мощения (плит, камней) для устройства сборных покрытий тротуаров, пешеходных площадей, садово-парковых и пешеходных дорожек, посадочных площадок на линиях общественного транспорта; при ремонте железобетонных конструкций транспортных сооружений (мостов, путепроводов, эстакад, труб и др.).

Мелкозернистые бетоны характеризуются следующими технико-экономическими преимуществами: возможностью создания высококачественной микро- и наноструктуры; повышенной тиксотропией и способностью к эффективной модификации химическими и минеральными добавками; высокой технологичностью (формуемостью, уплотняемостью различными методами:

литья, экструзии, прессования, штампования, набрызга и др.); легкой транспортируемостью, в том числе, по трубопроводам; возможностью получения новых архитектурно-конструктивных решений (тонкостенные и слоистые конструкции, изделия переменной плотности, гибридные конструкции) и применения местных сырьевых материалов природного и техногенного происхождения; более низкой себестоимостью [1–5]. Однако они имеют ряд существенных недостатков: повышенный расход цемента, пористость, усадка и ползучесть, пониженный модуль упругости, а также потребность в дефицитных высококачественных крупных и средних песках рационального гранулометрического состава, содержащих минимальное количество пылевидных и глинистых частиц.

Получение высокоэффективных мелкозернистых бетонов достигается различными технологическими приемами, среди которых использование добавок на основе вторичных минеральных ресурсов, в частности, золошлаковых смесей (ЗШС), которые образуются на тепловых электростанциях при совместном гидроудалении золы и шлака или механическим способом (пнев-

мотранспортом) в золоотвал в процессе сжигания углей в пылевидном состоянии [6–9].

Известно, что по химическому составу ЗШС подразделяются на кислые (содержание оксида кальция не более 10 %), обладающие пуццоланической активностью, и основные (СаО свыше 10 %) с вяжущими свойствами. Минерально-фазовый состав ЗШС включает неорганическую и органическую составляющие. Неорганическая составляющая представлена аморфной (стекло, аморфизированное глинистое вещество) и кристаллической фазами (слабоизмененные зерна минералов исходного топлива: кварц, полевые шпаты и др.; кристаллические новообразования: муллит, гематит, алюмосиликат кальция и др.). Стекло в ЗШС может быть силикатного, алюмосиликатного и железисто-алюмосиликатного состава.

Аморфизованное глинистое вещество типа метакаолина, аморфные оксиды SiO_2 и Al_2O_3 , алюмосиликатное стекло в составе ЗШС обладают различной пуццоланической активностью – способностью связывать гидроксид кальция в нерастворимые соединения. В связи с большой удельной поверхностью, метакаолин $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ активно реагирует с $\text{Ca}(\text{OH})_2$ при обычных температурах с образованием гидросиликатов кальция и гидрогеленита. Активность формирующихся при более высоких температурах аморфных оксидов SiO_2 и Al_2O_3 заметно меньше. Высокотемпературное спекание и плавление глинистых минералов резко снижает их удельную поверхность и, соответственно, активность, поэтому стеклофаза ЗШС малоактивна при обычных температурах [10–15].

Проблемы использования техногенного сырья, в частности, ЗШС, особенно актуальны на территориях с условиями ограниченности свободных земельных площадей, высокой плотности населения и практического отсутствия минеральных ресурсов. К таким регионам относится Приднестровская Молдавская Республика (ПМР). В ПМР функционирует Молдавская государственная районная электростанция (МГРЭС), которая обеспечивает электроэнергией Приднестровье и соседние страны (Молдову, Румынию, Болгарию). За время работы МГРЭС на каменном угле образовались отвалы из золошлаковых смесей объемом более 10 млн. тонн, занимающих свыше 270 га. Для республики, располагающей территорией в 4163 км², это немалая площадь, учитывая тот факт, что для Приднестровья сельскохозяйственная отрасль является ведущей [16].

Основным методом утилизации золошлаковых смесей МГРЭС является их сбыт сторонним организациям для использования в производстве

строительных материалов и изделий. При этом практическая реализация переработки ЗШС в ПМР может основываться на нормативно-технической документации и законодательных актах Российской Федерации, в которых приведены детальные методические рекомендации по применению ЗШС в технологии цементных бетонов.

Известно, что введение оптимального количества ЗШС в бетоны улучшает их удобоукладываемость, снижает усадку и водопроницаемость, обеспечивает требуемую прочность, морозо- и коррозионную стойкость, а также не оказывает отрицательного действия на деформации ползучести и модуль упругости. Однако прочность бетона на основе ЗШС, твердеющего в нормальных условиях в течение одного года, постепенно увеличивается и достигает 120–140 % по отношению к месячной прочности.

Для ускорения твердения изделий из данного бетона рекомендуется его пропаривание, которое способствует увеличению активности всех аморфных фаз золошлаковых смесей, в особенности спекшихся и остеклованных. Продуктами взаимодействия пуццоланового компонента ЗШС с $\text{Ca}(\text{OH})_2$ при повышенных температурах являются гидросиликаты и гидроалюмосиликаты кальция (гидрогранаты). Кроме того, потенциал ЗШС как полифункционального компонента бетонных смесей реализуется значительно полнее при использовании суперпластифицирующих добавок [17–19].

Целью работы является оценка эффективности нафталинформальдегидного и поликарбонатного суперпластификаторов (СП) в пропариваемом мелкозернистом бетоне с золошлаковой смесью МГРЭС.

Для достижения поставленной цели решались задачи по исследованию структуры, физико-химических свойств ЗШС МГРЭС (химического, гранулометрического составов; гидросиликатного, кремнеземистого модулей; коэффициента качества) и определению характера изменения прочности на сжатие и изгиб пропариваемого МЗБ с золошлаковой смесью как добавкой-заменителем части портландцемента от количества СП.

Материалы и методы. Для изготовления МЗБ применялись:

- нормальнотвердеющий портландцемент (ПЦ) типа ЦЕМ I, класса прочности 42,5, I группы эффективности при пропаривании, прочностью на сжатие после тепловой обработки более 27 МПа по ГОСТ 31108-2020 (ОАО «Белорусский цементный завод», г. Костюковичи, республика Беларусь);
- природный кварцевый мелкий песок с модулем крупности 1,47 по ГОСТ 8736-2014

(Брянская область);

– золошлаковая смесь (4-й класс, малоопасная в соответствии с федеральным классификационным каталогом отходов) от сжигания антрацита и тощего каменного угля при совместном гидроудалении золы-уноса и шлака с содержанием зольной составляющей свыше 85 % по ГОСТ 25592-2019 (МГРЭС, г. Днестровск, ПМР);

– нафталинформальдегидный суперпластификатор С-3 в форме водорастворимого порошка с pH (8 ± 1) (АО «Полипласт», Московская область);

– поликарбоксилатный суперпластификатор Master Glenium 115 в виде однородной жидкости плотностью при 20 °C 1050-1090 кг/м³ с pH (6 ± 2) (АО «Международные строительные системы», Московская область);

– вода по ГОСТ 23732-2011 (Брянская область).

Структура ЗШС исследовалась сканирующим электронным микроскопом TESCAN MIRA 3 LMU со встроенным энергодисперсионным спектрометром X-MAX 50 Oxford Instruments NanoAnalysis для электронно-зондового элементного микроанализа. Химический состав ЗШС определялся методом рентгенофлуоресцентной спектроскопии на приборе ARL OPTIM'X, а распределение по размерам и удельная поверхность частиц ЗШС – с помощью лазерной гранулометрии на анализаторе Analysette 22 NanoTec Plus.

Бетонные смеси МЗБ (марка по распылу конуса Р1) приготавливались следующим образом: загрузка в бетономеситель принудительного действия песка, взятого в массовом соотношении с ПЦ (3:1); дозирование портландцемента, ЗШС как добавки-заменителя 10 % ПЦ и 1/3 части воды с СП; добавление 2/3 части воды; тщательное перемешивание компонентов до однородной смеси.

Испытание на прочность мелкозернистого бетона с ЗШС МГРЭС, контрольного (без СП) и основного (с СП) составов проводилось на образцах-балочках размерами 40×40×160 мм через 1, 7 и 90 суток после их пропаривания по режиму (3 + 3 + 6 + 2) ч, где 3 ч – предварительная выдержка при температуре окружающего воздуха (20 ± 3) °C; 3 ч – подъем температуры; 6 ч – изотермическая выдержка при температуре 80 °C; 2 ч – снижение температуры.

Основная часть. Химический состав золошлаковых смесей, применяемых при получении цементных бетонов, нормируется по содержанию оксидов CaO, MgO, SO₃, Na₂O и K₂O. Количество оксида кальция CaO в ЗШС не должно превышать 10 % (для обеспечения равномерности

изменения объема при твердении), свободного CaO_{св} – 5 %, оксида магния MgO – 5 %; верхний предел сернистых и сернокислых соединений в пересчете на SO₃ (по требованиям сульфатостойкости) – от 3 до 6 %; суммарное содержание щелочных оксидов Na₂O и K₂O (во избежание деформаций при реакции с заполнителями) – от 1,5 до 3 %.

Критериями, определяющими пуццоланическую активность ЗШС, являются:

– модуль основности (гидросиликатный модуль) – отношение суммы основных оксидов к сумме кислотных оксидов:

$$M_o = (CaO + MgO + K_2O + Na_2O) / (SiO_2 + Al_2O_3); \quad (1)$$

– силикатный (кремнеземистый) модуль – отношение оксида кремния, вступающего в реакцию с другими оксидами, к суммарному содержанию оксидов алюминия и железа:

$$M_c = SiO_2 / (Al_2O_3 + Fe_2O_3); \quad (2)$$

– коэффициент качества – отношение оксидов, повышающих активность к оксидам, снижающим ее:

$$KK = (CaO + Al_2O_3 + MgO) / (SiO_2 + TiO_2). \quad (3)$$

Электронно-зондовый элементный микроанализ показал наличие в составе ЗШС МГРЭС свыше 23 % кремния, 47 % кислорода; до 13 % алюминия, 9 % железа, 3 % калия; менее 1 % кальция, натрия, магния, серы (рис. 1).

Методом рентгенофлуоресцентной спектроскопии установлено, что химический состав ЗШС МГРЭС представлен содержанием по массе: SiO₂ – 49,3 %; Al₂O₃ – 23,7 %; Fe₂O₃ – 10,6 %; CaO – 2,4 %; K₂O – 3,3 %; MgO – 1,3 %; TiO₂ – 0,9 %; SO₃ – 0,3 %; прочие оксиды – 7,4 %.

Гранулометрический состав ЗШС МГРЭС характеризуется одномодальным распределением частиц по размерам со средним диаметром 72 мкм. На долю частиц размерами от 0,13 до 1 мкм приходится 1,8 %; от 1 до 10 мкм – 11,5 %; от 10 до 100 мкм – 79,1 %; от 100 до 196 мкм – 7,6 % (рис. 2).

Золошлаковая смесь МГРЭС состоит из полидисперсных сферических частиц золы-уноса с гладкой остеклованной поверхностью и шлака губчатой структуры (рис. 3).

По данным химического анализа рассчитано, что гидросиликатный Mo и кремнеземистый Mc модули ЗШС МГРЭС составляют 0,1 и 1,4 соответственно, коэффициент качества KK – 0,5. При этом по содержанию оксида кальция (2,4 %) и гидросиликатному модулю, равному менее 1, золошлаковая смесь относится к кислой (по ГОСТ 25592-2019), а по удельной поверхности (170 м²/кг) – к среднedisперсной.

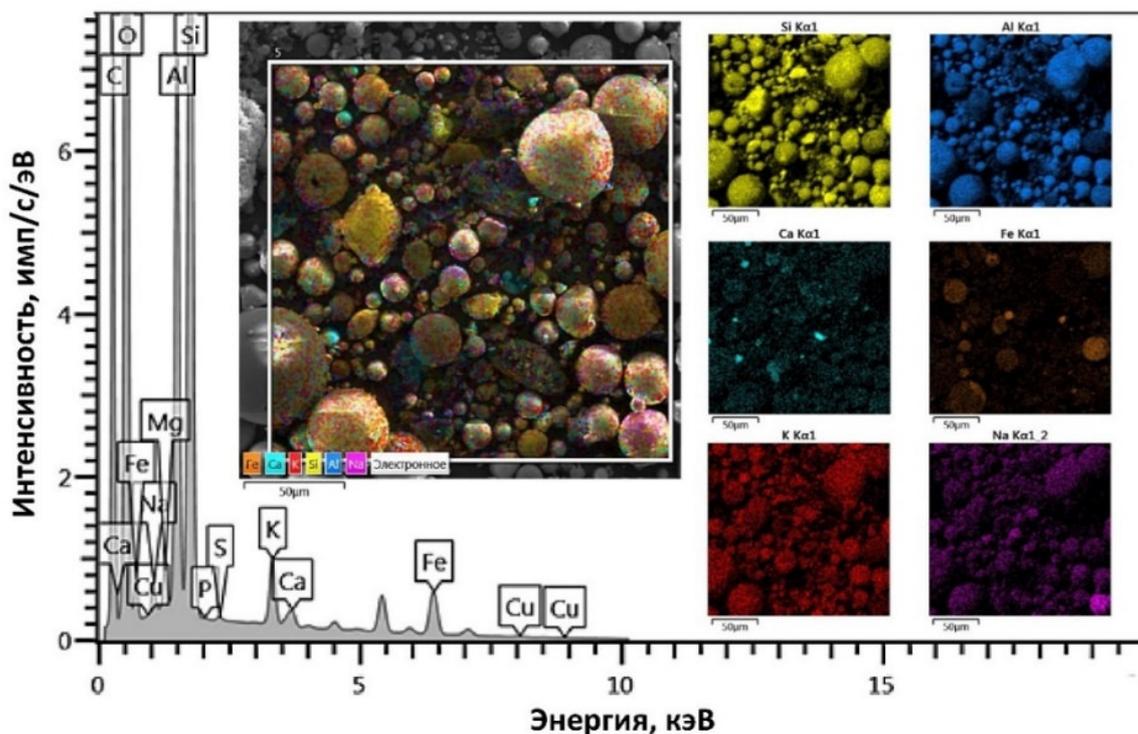


Рис. 1. Многослойная карта и суммарный спектр энергодисперсионной спектроскопии ЗПС МГРЭС

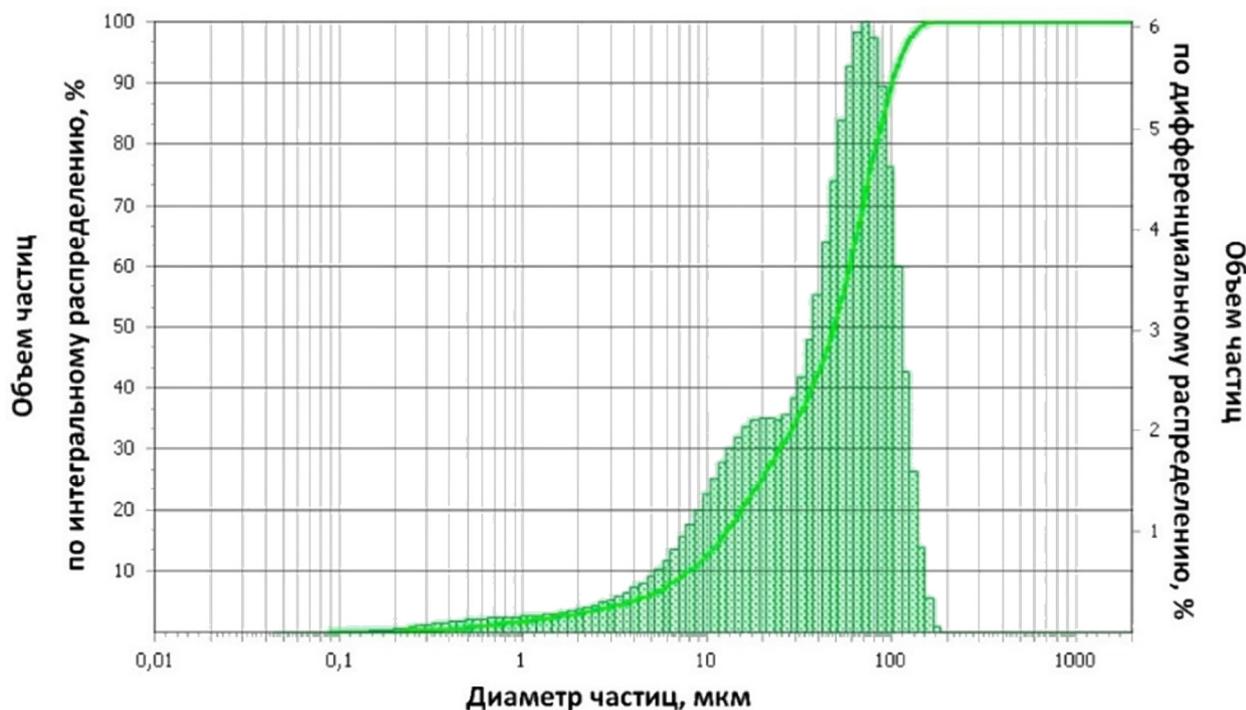


Рис. 2. Гистограмма распределения частиц ЗПС МГРЭС по размерам

Эффективность нафталинформальдегидного и поликарбоксилатного суперпластификаторов оценивалась согласно требованиям ГОСТ 30459-2008 по изменению прочности на сжатие и изгиб пропариваемого мелкозернистого бетона с золошлаковой смесью МГРЭС (добавкой-заменителем части портландцемента) при одинаковом

водоцементном отношении контрольного и основного составов:

$$\Delta R = \left| \frac{R_t^k - R_t^0}{R_t^k} \right| \cdot 100, \quad (4)$$

где R_t^k и R_t^0 – прочность МЗБ контрольного и основного составов, МПа; t – возраст МЗБ после пропаривания, сутки.

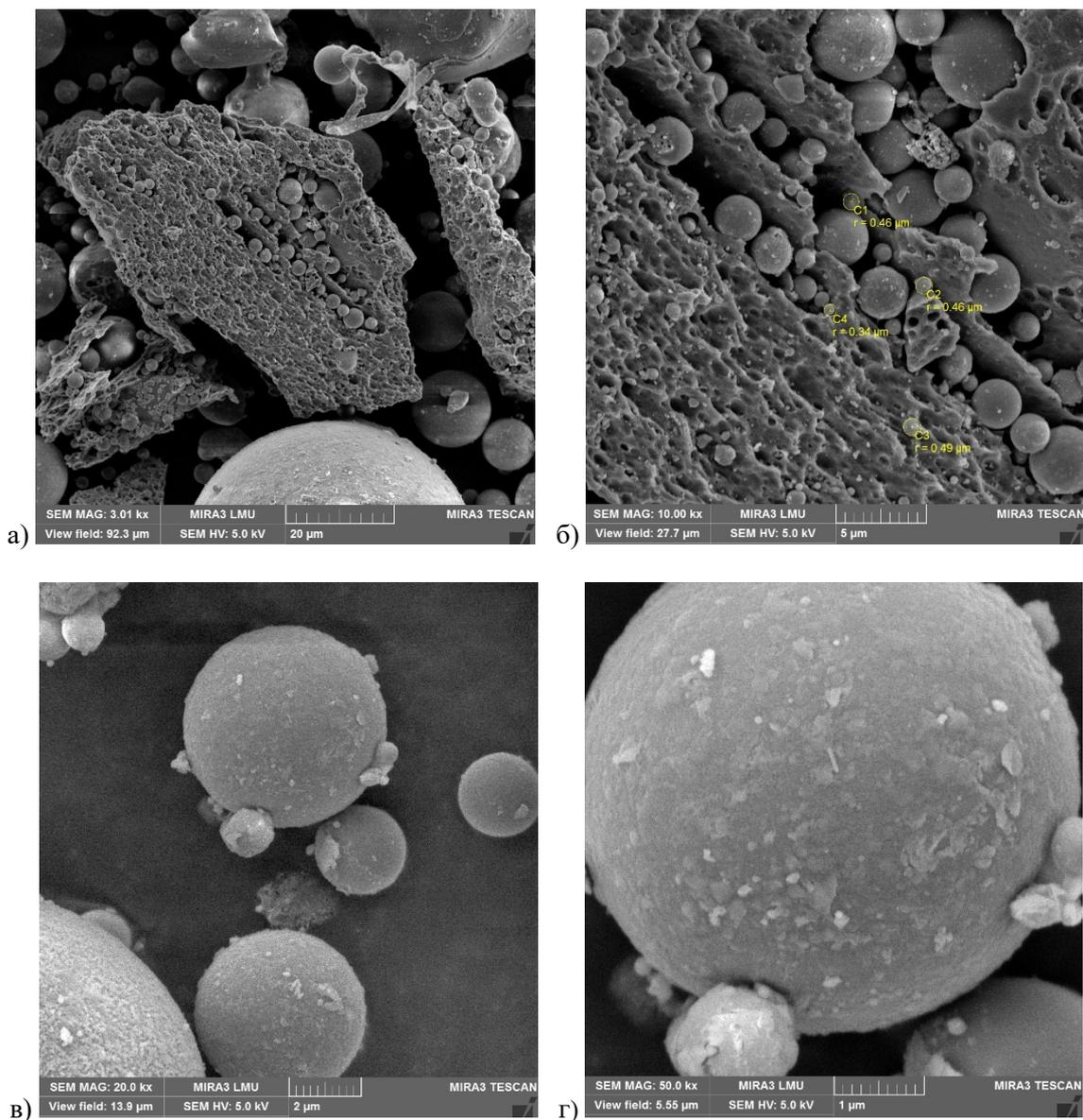


Рис. 3. Фотографии структуры ЗПС МГРЭС: а – 3000×; б – 10000×; в – 20000×; г – 50000×

Во время адсорбции нафталинформальдегидного суперпластификатора происходит перераспределение зарядов и возникновение электрического поля в области поверхностного слоя. Частицы твердой фазы приобретают одноименный заряд, количественно оцениваемый как дзета-потенциал. Поскольку СП С-3 является анионоактивным веществом, заряд поверхности частиц становится отрицательным, что приводит к их отталкиванию. В результате облегчается взаимное перемещение частиц и затрудняется их коагуляция. Молекулы СП С-3, адсорбируясь на зернах портландцемента и песка, создают на поверхности утолщенную оболочку со значительным отрицательным потенциалом и тем самым замедляют гидратацию клинкерных минералов.

В механизме действия СП Master Glenium 115 дзета-потенциал и электростатические силы

не являются определяющим фактором процесса пластификации. Он обеспечивается за счет преобладающего стерического эффекта. К отличительной особенности поликарбоксилатного суперпластификатора относится структура его молекул, в которую введены боковые полимерные цепи различной длины, создающие адсорбционную объемную оболочку вокруг частиц твердой фазы, предотвращая коагуляцию и способствуя их взаимному отталкиванию [20].

Из полученных результатов (рис. 4, 5) следует, что прочность на сжатие ($R_{сж.}$) и изгиб ($R_{изг.}$) пропариваемого мелкозернистого бетона с ЗПС МГРЭС экстремально зависит от количества суперпластификаторов и достигает максимальных значений при содержании 1 % СП С-3 или 0,5 % СП Master Glenium 115 от массы ПЦ.

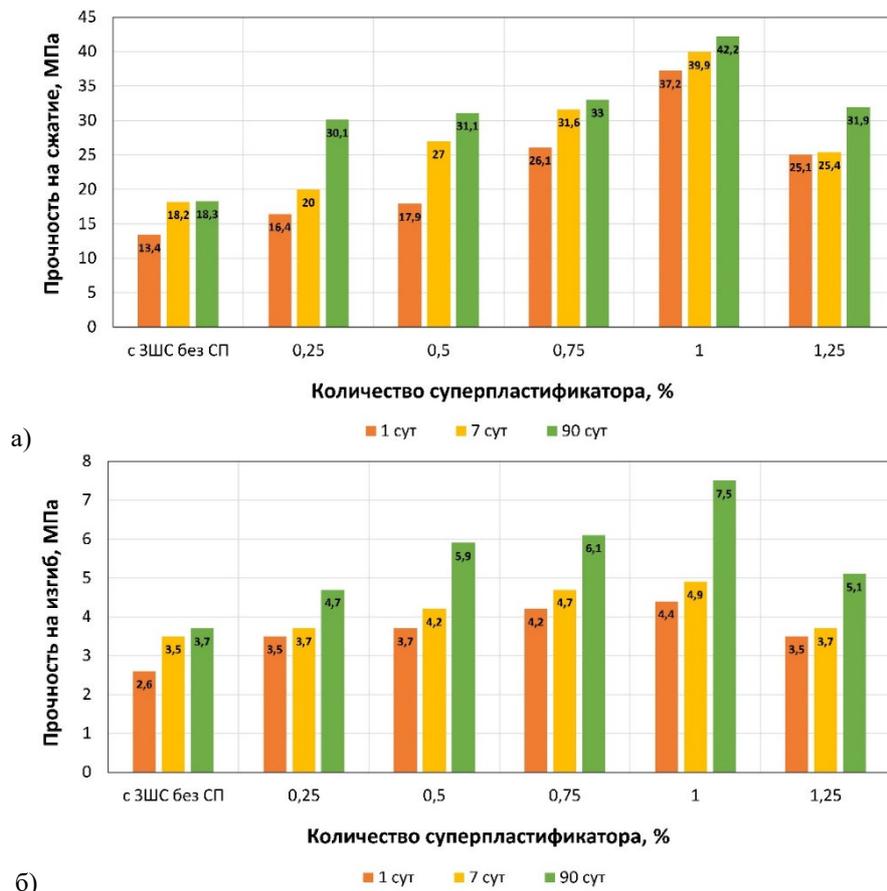


Рис. 4. Диаграммы зависимости прочности на сжатие (а) и изгиб (б) пропариваемого мелкозернистого бетона с ЗШС МРЭС от содержания нафталинформальдегидного суперпластификатора С-3

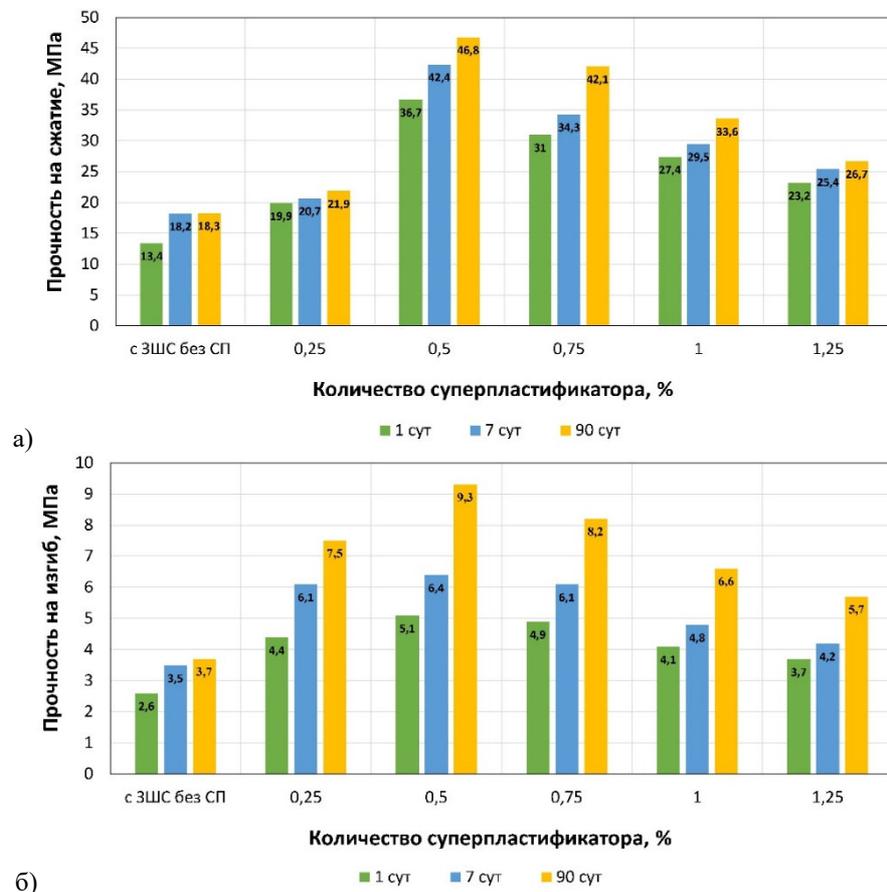


Рис. 5. Диаграммы зависимости прочности на сжатие (а) и изгиб (б) пропариваемого мелкозернистого бетона с ЗШС МРЭС от содержания поликарбоксилатного суперпластификатора Master Glenium 115

Эффективность суперпластификатора С-3 по повышению прочности на сжатие МЗБ с ЗПС МГРЭС составляет 178 % через 1 сутки, 119 % через 7 суток и 131 % через 90 суток, прочности на изгиб – 69 %, 40 % и 103 %. Суперпластификатор Master Glenium 115 обладает большей эффективностью, по сравнению с С-3, которая по повышению прочности на сжатие бетона в возрасте 1, 7 и 90 суток после пропаривания равна 174 %, 133 % и 156 %, а прочности на изгиб – 96 %, 83 % и 151 %.

Выводы

1. Показано, что золошлаковая смесь МГРЭС, применяемая как добавка-заменитель части портландцемента, по содержанию оксида кальция и гидросиликатному модулю относится к кислой (скрыто активной), проявляющей пуццоланические свойства в условиях тепловой обработки бетона с содержанием суперпластификаторов.

2. Установлено, что при использовании нафталинформальдегидного суперпластификатора С-3 в количестве 1 % от массы портландцемента его эффективность по повышению прочности на сжатие пропариваемого мелкозернистого бетона с золошлаковой смесью МГРЭС составляет 178 %, 119 %, 131 % через 1, 7, 90 суток соответственно, а прочности на изгиб – 69 %, 40 %, 103 %.

3. Выявлено, что поликарбоксилатный суперпластификатор Master Glenium 115, вводимый в количестве 0,5 %, обладает большей эффективностью, по сравнению с С-3, которая по повышению прочности на сжатие и изгиб бетона после пропаривания равна 174 % и 96 % через 1 сутки, 133 % и 83 % через 7 суток, 156 % и 151 % через 90 суток соответственно.

4. Целесообразность выполненного исследования связана с необходимостью разработки новых ресурсосберегающих технологий производства пропариваемых мелкозернистых бетонов с золошлаковыми отходами, направленных на снижение расхода портландцемента, при одновременном решении проблемы загрязнения окружающей среды.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Лесовик В.С., Федюк Р.С. Повышение эффективности малопроницаемых цементных композитов // Вестник МГСУ. 2021. Т. 16. № 10. С. 1346–1356.

2. Перцев В.Т., Халилбеков Я.З., Леденев А.А., Перова Н.С. Состав и технология комплексных добавок для бетона на основе промышленных отходов // Цемент и его применение. 2019. № 3. С. 98–101.

3. Леденев А.А., Козодаев С.П., Перцев В.Т.,

Баранов Е.В., Загоруйко Т.В., Внуков Д.Н. Механизмы действия различных видов органоминеральных добавок в цементной системе // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2021. № 9. С. 8–19.

4. Перцев В.Т., Леденев А.А., Рудаков О.Б. Физико-химические подходы к разработке эффективных органоминеральных добавок для бетона // Конденсированные среды и межфазные границы. 2018. Т. 20. № 3. С. 432–442.

5. Тараканов О.В., Акчурун Т.К., Белякова Е.А., Душко О.В. Перспективы применения комплексных органоминеральных добавок в бетонах нового поколения // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2023. № 2 (91). С. 88–98.

6. Белякова Е.А., Москвин Р.Н., Тараканов О.В., Юрова В.С. Порошковые и порошково-активированные бетоны с использованием горных пород и зол ТЭЦ. Пенза: Пензенский государственный университет архитектуры и строительства, 2022. 176 с.

7. Лукутцова Н.П., Пыкин А.А., Горностаева Е.Ю., Головин С.Н., Золотухина Н.В. Моделирование состава мелкозернистого бетона с золошлаковой смесью и суперпластификатором // Вестник Восточно-Сибирского государственного университета технологий и управления. 2022. № 2 (85). С. 71–77.

8. Бедарев В.В., Бедарев Н.В., Бедарев А.В. Применение золы ТЭС для получения высокопрочных бетонов и снижения расхода цемента // Бетон и железобетон. 2022. № 2 (610). С. 3–7.

9. Явинский А.В., Чулкова И.Л. Влияние золы гидроудаления на свойства тяжелого бетона для строительства дорожного покрытия // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2022. № 3. С. 16–24.

10. Shebli A., Khatib J., Elkordi A. Mechanical and Durability Properties of Fly Ash Geopolymer Concrete – A review // Science and Technology. 2023. Vol. 4. Pp. 5.

11. Al Biajawi M.I., Embong R., Muthusamy K., Ismail N., Obiany I.I. Recycled coal bottom ash as sustainable materials for cement replacement in cementitious Composites: A review // Construction and Building Materials. 2022. Vol. 338. 127624.

12. Alaloul W.S., Salaheen A.M., Malkawi A.B., Alzubi K., Al-Sabaei A.M., Musarat M.A. Utilizing of oil shale ash as a construction material: A systematic review // Construction and Building Materials. 2021. Vol. 299. 123844.

13. Sun J., Shen X., Tan G., Tanner J.E. Compressive strength and hydration characteristics of high-volume fly ash concrete prepared from fly ash // Journal of Thermal Analysis and Calorimetry. 2019. Vol. 136. Pp. 565–580.

14. Cruz N.C., Silva F.C., Tarelho L.A., Rodrigues S.M. Critical review of key variables affecting potential recycling applications of ash produced at large-scale biomass combustion plants // Resources, Conservation and Recycling. 2019. Vol. 150. 104427.

15. Elchalakani M., Dong M., Karrech A., Li G., Mohamed Ali M. S., Xie T., Yang B. Development of fly ash-and slag-based geopolymer concrete with calcium carbonate or microsilica // Journal of Materials in Civil Engineering. 2018. Vol. 30 (12). 04018325.

16. Бурменко Ф.Ю., Бурменко Ю.Ф., Чирвина С.Л., Юрова Т.Ф. Перспективы и возможности использования золошлакового сырья Молдавской ГРЭС // Вестник Приднестровского университета. Серия: Физико-математические и технические науки. 2019. № 3 (63). С. 165–168.

17. Херрманн Е., Рикерт Й. Свойства теста

из цементов с золой-уносом и влияние золы-уноса на взаимодействие цемента с суперпластификаторами // Цемент и его применение. 2017. № 5. С. 66–70.

18. Кожухова Н.И., Жерновский И.В., Фомина Е.В. Фазообразование в геополлимерных системах на основе золы-уноса Апатитской ТЭЦ // Строительные материалы. 2015. № 12. С. 85–88.

19. Ращупкина М.А., Явинский А.В., Чулкова И.Л. Влияние водоредуцирующих суперпластификаторов и золы гидроудаления на свойства цементного камня // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2021. № 3. С. 49–55.

20. Крамар Л.Я., Трофимов Б.Я., Черных Т.Н., Орлов А.А., Шулдяков К.В. Современные суперпластификаторы для бетонов, особенности их применения и эффективность // Строительные материалы. 2016. № 11. С. 21–25.

Информация об авторах

Лукутцова Наталья Петровна, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой производства строительных конструкций. E-mail: natluk58@mail.ru. Брянский государственный инженерно-технологический университет. Россия, 241037, Брянск, пр. Станке Дмитрова, д. 3.

Пыкин Алексей Алексеевич, кандидат технических наук, доцент кафедры производства строительных конструкций. E-mail: alexem87@yandex.ru. Брянский государственный инженерно-технологический университет. Россия, 241037, Брянск, пр. Станке Дмитрова, д. 3.

Головин Сергей Николаевич, аспирант кафедры производства строительных конструкций. E-mail: s.n.golovin@mail.ru. Брянский государственный инженерно-технологический университет. Россия, 241037, Брянск, пр. Станке Дмитрова, д. 3.

Дудник Анна Вячеславовна, старший преподаватель, заведующий кафедрой промышленного и гражданского строительства. E-mail: graur anna@mail.ru. Бендерский политехнический филиал государственного образовательного учреждения «Приднестровский государственный университет им. Т.Г. Шевченко». Приднестровская Молдавская Республика, 3200, Бендеры, ул. Бендерского Восстания, д. 7.

Золотухина Наталья Викторовна, старший преподаватель. E-mail: nvm-proekt@mail.ru. Бендерский политехнический филиал государственного образовательного учреждения «Приднестровский государственный университет им. Т.Г. Шевченко». Приднестровская Молдавская Республика, 3200, Бендеры, ул. Бендерского Восстания, д. 7.

Поступила 19.05.2024 г.

© Лукутцова Н.П., Пыкин А.А., Головин С.Н., Дудник А.В., Золотухина Н.В., 2024

^{1,*}Lukuttsova N.P., ¹Pykin A.A., ¹Golovin S.N., ²Dudnik A.V., ²Zolotukhina N.V.

¹Bryansk State Engineering Technological University

²Bendery Polytechnic Branch of the State Educational Institution

«Pridnestrovian State University named after T.G. Shevchenko»

*E-mail: natluk58@mail.ru

EFFICIENCY OF SUPERPLASTICIZERS IN FINE-GRAINED CONCRETE WITH ASH AND SLAG MIXTURE

Abstract. An assessment was made of the effectiveness of naphthalene-formaldehyde and polycarboxylate superplasticizers in steamed fine-grained concrete with an ash and slag mixture from the Moldavian State Regional Power Plant (MSRPP ASM) as an additive-substitute for part of Portland cement (10 %) formed from the combustion of anthracite and lean coal during the joint hydraulic removal of fly ash and slag. The

results of studies of the structure and physico-chemical properties of MSRPP ASM (chemical and granulometric compositions, hydrosilicate and silica modules, quality factor) are presented. It has been established that the bulk of the ash and slag mixture at MSRPP consists of polydisperse spherical fly ash particles with a smooth vitrified surface. In terms of calcium oxide content (2.4%) and hydrosilicate modulus (less than 1), MSRPP ASM is acidic (latently active), exhibiting pozzolanic properties under conditions of heat treatment of concrete containing superplasticizers. It was revealed that the effectiveness of superplasticizer S-3 in increasing the compressive strength of steamed concrete from the MSRPP ASM is 178 % after 1 day, 119 % after 7 days and 131 % after 90 days, and flexural strength – 69 %, 40% and 103%. Superplasticizer Master Glenium 115 has greater efficiency compared to C-3, which increases the compressive strength of concrete at the age of 1, 7 and 90 days after steaming by 174 %, 133 % and 156 %, and flexural strength by 96 %, 83 % and 151 %.

Keywords: fine-grained concrete, ash and slag mixture, naphthalene-formaldehyde and polycarboxylate superplasticizers, steaming, compressive and bending strength, superplasticizer efficiency.

REFERENCES

1. Lesovik V.S., Fedyuk R.S. Increasing the performances of low permeable cement composites [Povyshenie effektivnosti malopronicaemykh cementnykh kompozitov]. Vestnik MGSU (Monthly Journal on Construction and Architecture). 2021. No. 16 (10). Pp. 1346–1356. (rus)
2. Percev V.T., Halilbekov YA.Z., Ledenev A.A., Perova N.S. Composition and technology of complex additives for concrete based on industrial waste [Sostav i tekhnologiya kompleksnykh dobavok dlya betona na osnove promyshlennykh othodov]. Journal Cement and its Applications. 2019. No 3. Pp. 98–101. (rus)
3. Ledenev A.A., Kozodaev S.P., Percev V.T., Baranov E.V., Zagorujko T.V., Vnukov D.N. Mechanisms of act of various kinds of organic mineral additives in cement system [Mekhanizmy dejstviya razlichnykh vidov organomineral'nykh dobavok v cementnoj sisteme]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2021. No 9. Pp. 8–19. (rus)
4. Percev V.T., Ledenev A.A., Rudakov O.B. Physical and chemical approaches to the development of effective organomineral additives for concrete [Fiziko-himicheskie podhody k razrabotke effektivnykh organomineral'nykh dobavok dlya betona]. Condensed matter and interphases. 2018. No. 20 (3). Pp. 432–442. (rus)
5. Tarakanov O.V., Akchurin T.K., Belyakova E.A., Dushko O.V. Prospects for the use of complex organomineral additives in new generation concrete [Perspektivy primeneniya kompleksnykh organomineral'nykh dobavok v betonah novogo pokoleniya]. Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura. 2023. No. 2 (91). Pp. 88–98. (rus)
6. Belyakova E.A., Moskvina R.N., Tarakanov O.V., Yurova V.S. Powder and powder-activated concrete using rocks and thermal power plant ashes. [Poroshkovye i poroshkovo-aktivirovannye betony s ispol'zovaniem gornyh porod i zol TEC]. Penza: Penza State University of Architecture and Construction, 2022. 176 p. (rus)
7. Lukutsova N.P., Pykin A.A., Gornostaeva E.Yu., Golovin S.N., Zolotukhina N.V. Modeling of the composition of fine-grained concrete with ash and slag mixture and superplasticizer [Modelirovanie sostava melkozernistogo betona s zoloshlakovoj smes'yu i superplastifikatorom]. Vestnik Vostochno-Sibirskogo gosudarstvennogo universiteta tekhnologij i upravleniya. 2022. No. 2 (85). Pp. 71–77. (rus)
8. Bedarev V.V., Bedarev N.V., Bedarev A.V. The use of thermal power plant ash to produce high-strength concrete and reduce cement consumption [Primenenie zoly TES dlya polucheniya vysokoprotivnykh betonov i snizheniya raskhoda cementa]. Concrete and reinforced concrete. 2022. No. 2 (610). Pp. 3–7. (rus)
9. Yavinskij A.V., Chulkova I.L. The effect of pond ash on the properties of heavy concrete for road covering [Vliyanie zoly gidroudaleniya na svoystva tyazhelogo betona dlya stroitel'stva dorozhnogo pokrytiya]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2022. No 3. Pp. 16–24. (rus)
10. Shebli A., Khatib J., Elkordi A. Mechanical and Durability Properties of Fly Ash Geopolymer Concrete – A review. Science and Technology. 2023. Vol. 4. 5.
11. Al Biajawi M.I., Embong R., Muthusamy K., Ismail N., Obiany I.I. Recycled coal bottom ash as sustainable materials for cement replacement in cementitious Composites: A review. Construction and Building Materials. 2022. Vol. 338. 127624.
12. Alaloul W.S., Salaheen A.M., Malkawi A.B., Alzubi K., Al-Sabaeei A.M., Musarat M.A. Utilizing of oil shale ash as a construction material: A systematic review. Construction and Building Materials. 2021. Vol. 299. 123844.
13. Sun J., Shen X., Tan G., Tanner J.E. Compressive strength and hydration characteristics of high-volume fly ash concrete prepared from fly ash. Journal of Thermal Analysis and Calorimetry. 2019. Vol. 136. Pp. 565–580.

14. Cruz N.C., Silva F.C., Tarelho L.A., Rodrigues S.M. Critical review of key variables affecting potential recycling applications of ash produced at large-scale biomass combustion plants. *Resources, Conservation and Recycling*. 2019. Vol. 150. 104427.

15. Elchalakani M., Dong M., Karrech A., Li G., Mohamed Ali M. S., Xie T., Yang B. Development of fly ash-and slag-based geopolymer concrete with calcium carbonate or microsilica. *Journal of Materials in Civil Engineering*. 2018. Vol. 30 (12). 04018325.

16. Burmenko F.Yu., Burmenko Yu.F., Chirvina S.L., Yurova T.F. Prospects and possibilities of using of ash and slag raw materials of the Moldavian state district power station [Perspektivy i vozmozhnosti ispol'zovaniya zoloshlakovogo syr'ya Moldavskoj GRES]. *Vestnik Pridnestrovskogo universiteta. Seriya: Fiziko-matematicheskie i tekhnicheskie nauki*. 2019. No. 3 (63). Pp. 165–168. (rus)

17. Herrmann E., Rikert J. Influences of fly ash cement on properties of fresh cement paste and on cement's interactions with superplasticizer [Svoystva testa iz cementov s zolozhunosom i vliyanie zoly-

unosa na vzaimodejstvie cementa s superplastifikatorami]. *Journal Cement and its Applications*. 2017. No. 5. Pp. 66–70. (rus)

18. Kozhuhova N.I., Zhernovskij I.V., Fomina E.V. Phase formation in geo-polymer systems on the basis of fly ash of Apatity TPS [Fazoobrazovanie v geopolimernykh sistemah na osnove zoly-unosa Apatitskoj TEC]. *Construction materials*. 2015. No. 12. Pp. 85–88. (rus)

19. Rashchupkina M.A., Yavinskij A.V., Chulkova I.L. Influence of water-reducing superplasticizers and water removal ash on the properties of cement stone [Vliyanie vodoreduciruyushchih superplastifikatorov i zoly gidroudaleniya na svoystva cementnogo kamnya]. *News of higher educational institutions. Construction*. 2021. No. 3. Pp. 49–55. (rus)

20. Kramar L.Ya., Trofimov B.Ya., Chernyh T.N., Orlov A.A., Shuldyakov K.V. Modern superplasticizers for concretes, features of their application and effectiveness [Sovremennye superplastifikatory dlya betonov, osobennosti ih primeneniya i effektivnost']. *Construction materials*. 2016. No. 11. Pp. 21–25. (rus)

Information about the authors

Lukuttsova, Natal'ya P. DSc, Professor. E-mail: natluk58@mail.ru. Bryansk State Engineering Technological University. Russia, 241037, Bryansk, Stanke Dimitrova Avenue, 3.

Pykin, Aleksey A. PhD. E-mail: alexem87@yandex.ru. Bryansk State Engineering Technological University. Russia, 241037, Bryansk, Stanke Dimitrova Avenue, 3.

Golovin, Sergej N. Graduate student. E-mail: s.n.golovin@mail.ru. Bryansk State Engineering Technological University. Russia, 241037, Bryansk, Stanke Dimitrova Avenue, 3.

Dudnik, Anna V. Senior Lecturer. E-mail: graur_annya@mail.ru. Bendery Polytechnic Branch of the State Educational Institution «Pridnestrovian State University named after T.G. Shevchenko». Pridnestrovian Moldavian Republic, 3200, Bendery, st. Bendersky Uprising, 7.

Zolotuhina, Natal'ya V. Senior Lecturer. E-mail: graur_annya@mail.ru. Bendery Polytechnic Branch of the State Educational Institution «Pridnestrovian State University named after T.G. Shevchenko». Pridnestrovian Moldavian Republic, 3200, Bendery, st. Bendersky Uprising, 7.

Received 19.05.2024

Для цитирования:

Лукутцова Н.П., Пыкин А.А., Головин С.Н., Дудник А.В., Золотухина Н.В. Эффективность суперпластификаторов в мелкозернистом бетоне с золошлаковой смесью // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2024. №8. С. 29–38. DOI: 10.34031/2071-7318-2024-9-8-29-38

For citation:

Lukuttsova N.P., Pykin A.A., Golovin S.N., Dudnik A.V., Zolotukhina N.V. Efficiency of superplasticizers in fine-grained concrete with ash and slag mixture. *Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov*. 2024. No. 8. Pp. 29–38. DOI: 10.34031/2071-7318-2024-9-8-29-38