



ИССЛЕДОВАНИЕ КОРРОЗИОННОЙ СТОЙКОСТИ САМОУПЛОТНЯЮЩЕГОСЯ БЕТОНА С КОМПЛЕКСНОЙ ДОБАВКОЙ

Е. В. Егорова¹, И. Ю. Петрик², Т. П. Кищенко³, И. С. Аксенов⁴, А. А. Маракова⁵

ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»,

Российская Федерация, Донецкая Народная Республика,

286123, г. о. Макеевский, г. Макеевка, ул. Державина, д. 2.

E-mail: ¹ e.v.egorova@donnasa.ru, ² i.y.petrik@donnasa.ru, ³ t.p.kitsenko@donnasa.ru,

⁴ aksenov.i.s-psmik-50@donnasa.ru, ⁵ marakova.a.a-psmik-51@donnasa.ru

Получена 10 ноября 2023; принята 24 ноября 2023.

Аннотация. В работе исследовано влияние комплексной добавки, состоящей из модификатора вязкости и суперпластификатора, на стойкость самоуплотняющихся бетонов к воздействию коррозии второго типа. В качестве минерального наполнителя применяли золошлаковую смесь Зуевской ТЭС. Установлено, что использование в качестве минерального наполнителя золошлаковой смеси и введение комплексной добавки в состав самоуплотняющихся бетонов увеличивает их прочностные характеристики как в ранние, так и в более поздние сроки твердения. Кроме этого, разработанные составы бетонов отвечают требованиям по изменению прочностных показателей после выдерживания образцов в агрессивной среде. Не было отмечено несовместимости модификатора вязкости и суперпластификатора, применяемых в составе комплексной добавки, а так же ее отрицательного влияния на коррозионную стойкость самоуплотняющегося бетона. Следовательно, можно рекомендовать применять разработанные составы бетонов при производстве широкой номенклатуры изделий и конструкций, к которым предъявляются высокие требования по качеству поверхности и которые не требуют дополнительной ее обработки.

Ключевые слова: самоуплотняющийся бетон, прочность, модификатор вязкости, суперпластификатор, золошлаковая смесь, коррозионная стойкость, коррозия второго типа.

STUDY OF THE CORROSION RESISTANCE OF SELF-COMPACTING CONCRETE WITH A COMPLEX ADDITIVE

Elena Yegorova¹, Irina Petrik², Tatyana Kitsenko³, Igor Aksyonov⁴, Angelina Marakova⁵

FSBEI HE «Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture»,

Russian Federation, 286123, Makeevka, Derzhavin st., 2.

E-mail: ¹ e.v.egorova@donnasa.ru, ² i.y.petrik@donnasa.ru, ³ t.p.kitsenko@donnasa.ru,

⁴ aksenov.i.s-psmik-50@donnasa.ru, ⁵ marakova.a.a-psmik-51@donnasa.ru

Received 10 November 2023; accepted 24 November 2023.

Abstract. In the work, the influence of a complex additive consisting of a viscosity modifier and a superplasticizer on the resistance of self-compacting concrete to the second type of corrosion was studied. The ash and slag mixture of the Zuevskaya TPP was used as a mineral filler. It has been established that the use of an ash-and-slag mixture as a mineral filler and the introduction of a complex additive into the composition of self-compacting concretes increases their strength characteristics both in the early and later periods of hardening. In addition, the developed concrete compositions meet the requirements for changing the strength characteristics after keeping the samples in an aggressive environment. There was no



incompatibility of the viscosity modifier and superplasticizer used in the composition of the complex additive, as well as its negative effect on the corrosion resistance of self-compacting concrete. Therefore, it can be recommended to use the developed concrete compositions in the production of a wide range of products and structures, which are subject to high requirements for surface quality and do not require additional processing.

Keywords: self-compacting concrete, strength, viscosity modifier, superplasticizer, ash and slag mixture, corrosion resistance, second type corrosion.

Формулировка проблемы

Появление новых масштабных проектов в сфере строительства повысило требования к бетонам. Одним неперенным условием строительства является сокращение времени и трудозатрат на уплотнение бетонной смеси. В капитальном строительстве и при реконструкции объектов стало необходимым использовать большой объем самоуплотняющихся бетонов (Self-Compacting Concrete (SCC)) [1]. В научной и нормативной литературе можно найти множество определений самоуплотняющегося бетона, но все они характеризуют его одинаково: это бетон, способный без воздействия на него дополнительной внешней энергии самостоятельно под собственным весом растекаться, сохраняя свою однородность, а также гарантируя полное уплотнение, заполнение опалубочной формы и инкапсуляцию всех арматурных стержней и закладных деталей [2].

Применение самоуплотняющегося бетона имеет большое количество преимуществ: практически отсутствуют дефекты, вызванные неправильным уплотнением бетонной массы; монтаж конструкцией сложной геометрической формы; наилучшая связь самоуплотняющегося бетона с арматурой; смесь обладает шумо- и виброизоляционными свойствами, а также пониженным отношением к водонепроницаемости [3].

Однако особенности состава самоуплотняющегося бетона могут вызвать также ряд недостатков: высокую усадку, низкий модуль упругости, риск образования тепловых трещин в массивных конструкциях, снижение морозостойкости и коррозионной стойкости. В связи с этим приобретают актуальность исследования составов полифункциональных модификаторов на базе промышленных отходов [4].

Так, для повышения прочности, коррозионной и трещиностойкости материала, управления реологией высокоподвижных бетонных смесей

применяют микро- и ультрадисперсный наполнитель (например, зола-уноса), а также химические модификаторы [1].

Применение золы-уноса в составе бетона за счет ее пуццолановой активности позволяет связать $\text{Ca}(\text{OH})_2$ в низкоосновные гидросиликаты кальция, что положительно сказывается на коррозионной стойкости бетонов [5]. Также известно что зола-уноса обладает рядом свойств, в основе которых лежат молекулярные процессы и явления в поверхностном слое твердой частицы ультрадисперсного материала, обладающего высоким соотношением площади поверхностного молекулярного слоя к общему объему частицы. Тонкодисперсные частицы золы заполняют объем между «грубодисперсными» частицами цемента. При этом образуются многочисленные коагуляционные контакты, а также сокращается объем свободной воды, которая определяет текучесть системы и ее тиксотропность. Сокращение объема свободной воды и заполнение пространства между кристаллогидратами ведет к уменьшению капиллярной пористости цементного камня с одновременным увеличением количества гелевых пор [6].

Применение химических модификаторов в составе бетона позволяет значительно улучшить его физико-механические характеристики. Так, суперпластификаторы на основе эфиров поликарбоксилатов прикрепляются к поверхности цементного зерна в основном точно и свободной поверхности флоккулы цемента достаточно для доступа воды и протекания реакции гидратации [7]. При минимальных дозировках поликарбоксилатных суперпластификаторов обеспечивается высокая разжижающая способность, нерасслаиваемость бетонных смесей и их высокие эксплуатационные характеристики. Использование таких добавок позволяет целенаправленно регулировать процессы структурообразования

и создавать высококачественные композиционные материалы различного назначения, обеспечивая повышение технологических показателей бетонных смесей и улучшение строительно-технических свойств готовых изделий [8].

Широкое применение в современной технологии бетона получили комплексные добавки. Введение в состав бетона комплексных добавок приводит к формированию более плотной структуры цементного камня с низкой общей и открытой пористостью из-за снижения водовязущего отношения и заполнения порового пространства тонкодисперсными активными минеральными наполнителями, связывающими портландит в менее растворимые низкоосновные гидросиликаты кальция [9].

Цель исследования

Цель исследования – изучение коррозионной стойкости самоуплотняющихся бетонов, содержащих в своем составе в качестве активной минеральной добавки взамен части портландцемента золошлаковую смесь ТЭС и комплекс химических добавок – модификатор вязкости SCC–10 и суперпластификатор Sika ViscoCrete 5–600 NP L.

Основной материал

В качестве вяжущего вещества для приготовления бетонных смесей применяли портландцемент (ПЦ) ЦЕМ I 52,5 Н Амвросиевского цементного завода ООО «ПИК-Цемент» (активность $R_{ц} = 52,5$ МПа, $S_{уд.} = 357$ м²/кг; НГ = 26,2 %).

В качестве заполнителей применяли:

- песок кварцевый (П) Ясиноватского карьера с $M_{к} = 1,3$ (содержание ПИГ = 3 %, насыпная плотность $\rho_0 = 1\,207$ кг/м³);
- щебень гранитный (Щ) Тельмановского месторождения (фракции 5–10 мм, 10–20 мм; марка по дробимости Др 1 000).

Также были использованы следующие химические добавки – модификатор вязкости (МВ) Viscofluid SCC/10 и суперпластификатор (СП) Sika ViscoCrete 5–600 NP L.

Химические добавки SCC–10 и Sika ViscoCrete 5–600 NP L предоставлены филиалом ООО «Зика» (Sika Russia, г. Краснодар, РФ), в рамках договора № 18/6–12 от «23» октября 2018 г. о сотрудничестве и совместной деятельности, заключенного между ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры» и филиалом ООО «Зика».

Бетоны с модификаторами вязкости, по сравнению с бетонами порошкового типа, требуют большего расхода суперпластификаторов, более высокого значения В/В отношения для обеспечения требований по заполняющей (проникающей) способности. Возможны проблемы несовместимости модификаторов вязкости с суперпластификаторами.

Viscofluid SCC/10 используется в бетонных смесях для увеличения вязкости смеси, увеличивая ее стабильность, однородность, сопротивление сегрегации и водоотделению. Sika ViscoCrete 5–600 NP L обладает высоким пластифицирующим, диспергирующим и водоредуцирующим эффектом, благодаря комплексному эффекту: поверхностной адсорбции и межмолекулярного «стерического» отталкивания [10].

В качестве минеральной составляющей использована молотая отвальная золошлаковая смесь (ЗШС) Зуевской ТЭС. Смесь предварительно высушивали и механоактивировали измельчением до тонкости помола, сравнимого с тонкостью помола цементного клинкера, при помощи лабораторной шаровой мельницы (тонкость помола (остаток на сите № 008) = 4,75 %; насыпная плотность $\rho_{н} = 881$ кг/м³).

Химико-минералогический состав представлен в таблице 1.

Коррозионная стойкость самоуплотняющегося бетона определялась по методике В. М. Москвина [11] на образцах-кубах размером $(7 \times 7 \times 7) \times 10^{-2}$ м. Было запроектировано четыре состава, которые приведены в таблице 2.

Образцы бетона после твердения в течение суток в нормальных условиях набирали прочность в воде в течение 14 суток, и после этого их

Таблица 1. Химико-минералогический состав золошлаковой смеси Зуевской ТЭС

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	CaO	MgO	TiO ₂	Na ₂ O	P ₂ O ₅	SO ₃	BaO	MnO	ZrO ₂	SrO	Cr ₂ O ₃	NiO	Co ₃ O ₄	ZnO	CuO
57,19	25,05	8,94	3,09	1,79	1,45	1,05	0,67	0,27	0,18	0,08	0,07	0,04	0,04	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01

погружали в агрессивные растворы. Согласно методике [11], испытания образцов, находящихся в агрессивных растворах, проводят через 14, 70 и 126 суток.

Агрессивными средами служили 0,1н раствор HCl, 5 %-ный раствор NaCl, т. е. моделировалась коррозия второго типа.

Прочность является основной характеристикой бетона, поэтому в качестве критерия оценки коррозионной стойкости бетона был принят коэффициент стойкости (КС):

$$КС = \frac{R_{сж}^{агр}}{R_{сж}^{конт}} \geq 0,8, \quad [1]$$

где $R_{сж}^{агр}$ – предел прочности на сжатие образцов, хранившихся в агрессивной среде, МПа;

$R_{сж}^{конт}$ – предел прочности на сжатие образцов перед погружением в агрессивную среду, МПа.

Прочность бетонов определяли по стандартным методикам согласно ГОСТ 10180-2012 «Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам» [12].

Результаты экспериментальных исследований. Выводы

Механические характеристики самоуплотняющихся бетонов в условиях нормального твердения и в агрессивной среде приведены в таблице 3. На рисунке 1 и 2 представлены значения коэффициента стойкости разработанных составов бетонов.

Анализ результатов эксперимента показал, что все исследованные составы самоуплотняющегося бетона показали значение коэффициента стойкости выше, чем 0,8. Также отмечено, что образцы, в которых содержится золошлаковая смесь Зуевской ТЭС взамен части портландцемента, имеют коэффициент стойкости выше, чем образцы без использования минеральной добавки. Можно предположить, что минеральная добавка повышает коррозионную стойкость бетона при длительном контакте с агрессивной средой.

Эффект повышения коррозионной стойкости зависит от пуццолановой активности минеральных компонентов в составе вяжущего. Использование золошлаковой смеси Зуевской ТЭС

Таблица 2. Составы самоуплотняющихся бетонов

№ состава	Компоненты бетонных смесей, кг (на 1м ³)						
	ПЦ	ЗПС	Щ	П	В	МВ	СП
1	442	–	885	796	287	–	1 % m _в
2	442	–	885	796	287	1 % m _в	1 % m _в
3	287	155	885	796	287	–	1 % m _в
4	287	155	885	796	287	1 % m _в	1 % m _в

Таблица 3. Механические характеристики самоуплотняющихся бетонов

№ п/п	Показатель		№ состава			
			1	2	3	4
1	Предел прочности на сжатие контрольных образцов, МПа, в возрасте	28 сут.	30,50	32,54	33,50	35,82
2		84 сут.	34,80	40,10	40,20	42,80
3		140 сут.	36,70	42,40	42,70	45,70
4	Предел прочности на сжатие образцов в 0,1н растворе HCl, МПа, в возрасте	28 сут.	30,40	32,50	33,40	35,80
5		84 сут.	29,80	32,92	34,57	38,61
6		140 сут.	31,00	34,68	36,72	41,13
7	Предел прочности на сжатие образцов в 5 %-ном растворе NaCl, МПа, в возрасте	28 сут.	30,48	32,52	33,49	35,82
8		84 сут.	30,45	33,28	35,00	39,26
9		140 сут.	31,87	37,70	38,43	41,36

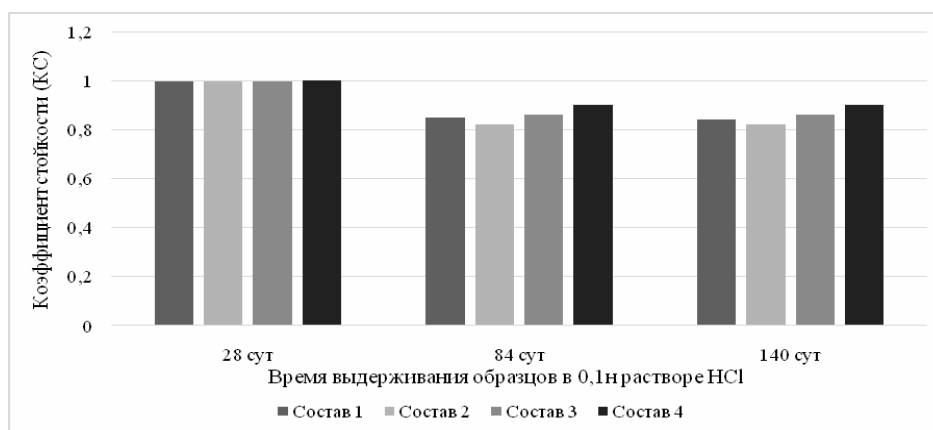


Рисунок 1 – Коэффициент стойкости разработанных составов бетонов в 0,1N растворе HCl.

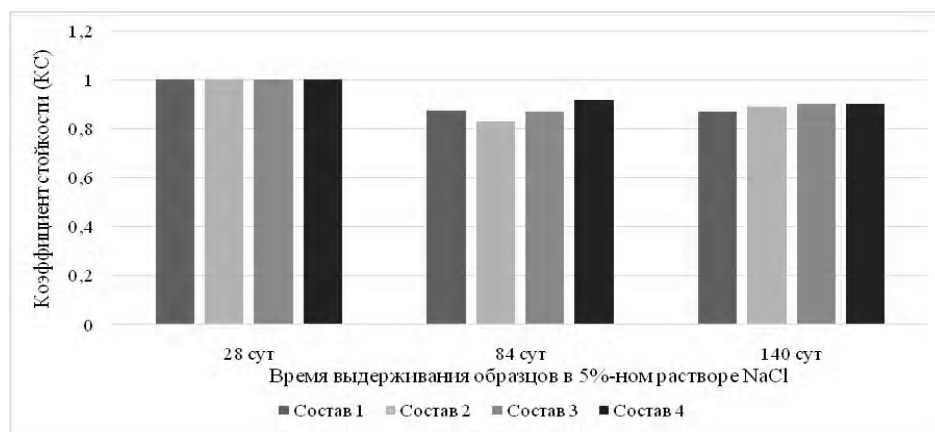


Рисунок 2 – Коэффициент стойкости разработанных составов бетонов в 5%-ном растворе NaCl.

снижает пористость бетона за счет повышения степени гидратации цемента и заполнения порового пространства дисперсными новообразованиями, колющими капиллярные поры бетона [13]. Вероятно, снижение проницаемости бетона происходит за счет превращения значительной части растворимого гидроксида кальция в гидросиликаты кальция.

Еще одним дополнительным критерием стойкости бетона служит внешний вид образцов, подвергавшихся воздействию агрессивной среды. В результате визуальной оценки образцов, которые 126 суток находились в 0,1N растворе HCl и 5%-ном растворе NaCl, были отмечены такие внешние признаки коррозии, как слабое поверхностное разрушение бетона и шелушение поверхности, что, для разработанных составов бетонов, позволяет отнести данную среду к слабоагрессивной [12].

Самоуплотняющийся бетон составов № 3 и № 4 можно рекомендовать к использованию при производстве изделий и конструкций, применяемых в дорожном строительстве, к которым предъявляются высокие требования по качеству поверхности и не требующие дополнительной ее обработки, а также для конструкций, используемых для возведения подвальных и полуподвальных частей зданий и сооружений и гидротехнического строительства.

Таким образом, по полученным данным можно сделать вывод о положительном влиянии совместной работы комплексной добавки, состоящей из модификатора вязкости, пластификатора и золошлаковой смеси на стойкость самоуплотняющихся бетонов к воздействию коррозии второго типа. Для разработанных составов бетонов не отмечено несовместимости данного модификатора вязкости и суперпластификатора.

Литература

1. Отечественный опыт производства и применения самоуплотняющегося бетона / В. Р. Фаликман, В. В. Денискин, О. О. Калашников [и др.]. – Текст : электронный // Национальная ассоциация ученых. – 2015. – № 2–3(7). – С. 68–73. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/otechestvennyy-opyt-proizvodstva-i-primeneniya-samouplotnyayu-schegosya-betona> (дата обращения: 15.04.2023).
2. Мозгалева, К. М. Самоуплотняющиеся бетоны: возможности применения и свойства / К. М. Мозгалева, С. Г. Головнев. – Текст : электронный // Академический вестник УралНИИПроект РААСН. – 2011. – № 4. – С. 70–74. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/samouplotnyayuschiesya-betony-vozmozhnosti-primeneniya-isvoystva> (дата обращения: 15.04.2023).
3. Городецкий, И. Ю. Особенности использования самоуплотняющегося бетона / И. Ю. Городецкий, В. М. Сердюченко. – Текст : электронный // The Scientific Heritage. – 2021. – № 72–2. – С. 3–5. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/osobennosti-ispolzovaniya-samouplotnyayuschegosya-betona> (дата обращения: 17.04.2023).
4. Самоуплотняющийся бетон с использованием добавок-модификаторов / Е. Ж. Кусайнов, С. Б. Жумабек, К. Ш. Арынгазин [и др.]. – Текст : электронный // Наука и техника Казахстана. – 2022. – № 2. – С. 95–103. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/samouplotnyayuschiesya-beton-s-ispolzovaniem-dobavok-modifikatorov> (дата обращения: 17.04.2023).
5. Высококачественные самоуплотняющиеся бетоны с использованием отходов сжигания угля / Ю. М. Баженов, В. В. Воронин, Л. А. Алимов [и др.]. – Текст : электронный // Вестник МГСУ. – 2017. – № 12(111). – С. 1385–1391. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vysokokachestvennye-samouplotnyayuschiesya-betony-s-ispolzovaniem-othodov-szhiganiya-uglya> (дата обращения: 20.04.2023).
6. Нгуен Динь Чинь, Динь Чинь. Высокопрочные бетоны с комплексным применением золы рисовой шелухи, золы-уноса и суперпластификаторов / Нгуен Динь Чинь Динь Чинь, Нгуен Тхе Винь Тхе Винь, Ю. М. Баженов. – Текст : электронный // Вестник МГСУ. – 2012. – № 1. – С. 77–82. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vysokoprochnye-betony-s-kompleksnym-primeneniem-zoly-risovoy-sheluhi-zoly-unosa-i-superplastifikatorov-1> (дата обращения: 17.04.2023).
7. Боровских, И. В. Роль суперпластификатора в формировании прочности мелкозернистого бетона / И. В. Боровских, Н. М. Морозов, А. Ф. Галлеев. – Текст : электронный // Символ науки. – 2016. – № 8–2. – С. 700–703. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/rol-superplastifikatora-v-formirovanii-prochnosti-melkozernistogo-betona> (дата обращения: 17.04.2023).
8. Оценка эффективности применения поликарбосилатных суперпластификаторов для производства бетона / В. Н. Тарасов, Б. В. Гусев, С. Ю. Петрунин [и др.]. – Текст : электронный // Вестник науки и

References

1. Falikman, V. R.; Deniskin, V. V.; Kalashnikov, O. O. [et al.]. Domestic experience in the production and application of self-compacting concrete. – Text : electronic. – In: *National Association of Scientists*. – 2015. – № 2–3(7). – P. 68–73. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/otechestvennyy-opyt-proizvodstva-i-primeneniya-samouplotnyayuschegosya-betona> (date of access: 15.04.2023). (in Russian)
2. Mozgalev, K. M.; Golovnev, S. G. Self-compacting concrete: application possibilities and properties. – Text : electronic. – In: *Academic bulletin UralNIIProekt RAASN*. – 2011. – № 4. – P. 70–74. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/samouplotnyayuschiesya-betony-vozmozhnosti-primeneniya-isvoystva> (date of access: 15.04.2023). (in Russian)
3. Gorodetsky, I. Yu.; Serdyuchenko, V. M. Features of the use of self-compacting concrete. – Text : electronic. – In: *The Scientific Heritage*. – 2021. – № 72–2. – P. 3–5. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/osobennosti-ispolzovaniya-samouplotnyayuschegosya-betona> (date of access: 17.04.2023). (in Russian)
4. Kusainov, E. Zh.; Zhumabek, S. B.; Aryngazin, K. Sh. [et al.]. Self-compacting concrete using modifier additives. – Text : electronic. – In: *Science and technology of Kazakhstan*. – 2022. – № 2. – P. 95–103. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/osobennosti-ispolzovaniya-samouplotnyayuschegosya-betona> (date of access: 17.04.2023). (in Russian)
5. Bazhenov, Yu. M.; Voronin, V. V.; Alimov, L. A. [et al.]. High-quality self-compacting concrete using coal combustion waste. – Text : electronic. – In: *Bulletin of MGSU*. – 2017. – № 12(111). – P. 1385–1391. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vysokokachestvennye-samouplotnyayuschiesya-betony-s-ispolzovaniem-othodov-szhiganiya-uglya> (date of access: 20.04.2023). (in Russian)
6. Dinh Trinh, Nguyen Dinh Trinh; The Vinh, Nguyen The Vinh; Bazhenov, Yu. M. High-strength concrete with the integrated use of rice husk ash, fly ash and superplasticizers. – Text : electronic. – In: *Bulletin of MGSU*. – 2012. – № 1. – P. 77–82. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vysokoprochnye-betony-s-kompleksnym-primeneniem-zoly-risovoy-sheluhi-zoly-unosa-i-superplastifikatorov-1> (date of access: 17.04.2023). (in Russian)
7. Borovskikh, I. V.; Morozov, N. M.; Galleev A. F. The role of superplasticizer in the formation of the strength of fine-grained concrete. – Text : electronic. – In: *Symbol of science*. – 2016. – № 8–2. – P. 700–703. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/rol-superplastifikatora-v-formirovanii-prochnosti-melkozernistogo-betona> (date of access: 17.04.2023). (in Russian)
8. Tarasov, V. N., Gusev, B. V.; Petrunin, S. Yu. [et al.]. Assessing the effectiveness of using polycarboxylate superplasticizers for concrete production. – Text : electronic. – In: *Bulletin of science and education of the North-West of Russia*. – 2018. – № 1. – P. 1–11. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-effektivnosti-primeneniya-polikarboksilatnyh>

- образования Северо-Запада России. – 2018. – № 1. – С. 1–11. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-effektivnosti-primeneniya-polikarboksilatnyh-superplastifikatorov-dlya-proizvodstva-betona> (дата обращения: 21.05.2023).
9. Влияние органоминеральных добавок на физико-механические свойства и коррозионную стойкость цементно-песчаных растворов / Хунг Нго Суан, Ван Лам Танг, Б. И. Булгаков [и др.]. – Текст : электронный // Строительство: наука и образование. – 2020. – № 1. – С. 1–23. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-organomineralnyh-dobavok-na-fiziko-mehaniicheskie-svoystva-i-korroziionnyu-stoykost-tsementno-peschanyh-rastvorov> (дата обращения: 21.05.2023).
 10. Самоуплотняющийся бетон с комплексной добавкой на основе отходов промышленности Донбасса / Е. В. Егорова, Е. Т. Бородай, К. А. Корчагина [и др.]. – Текст : электронный // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. – 2021. – Выпуск 2021-1(147) Современные строительные материалы. – С. 74–79. – URL: [http://donnasa.ru/publish_house/journals/vestnik/2021/vestnik_2021-1\(147\).pdf](http://donnasa.ru/publish_house/journals/vestnik/2021/vestnik_2021-1(147).pdf). (дата публикации: 15.02.2021).
 11. Коррозия бетона и железобетона, методы их защиты / В. М. Москвин, Ф. М. Иванов, С. Н. Алексеев, Е. А. Гузеев. – Москва : Стройиздат, 1980. – 536 с. – Текст : непосредственный.
 12. ГОСТ 10180-2012. Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам = Concretes. Methods for strength determination using reference specimens : Межгосударственный стандарт : издание официальное : утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 27 декабря 2012 г. № 2071-ст. : введен взамен ГОСТ 10180-90 : дата введения 2013-07-01 / разработан Научно-исследовательским, проектно-конструкторским и технологическим институтом бетона и железобетона «НИИЖБ» – филиалом ФГУП «НИЦ «Строительство». – Москва : Стандартинформ, 2013 г. – 31 с. – Текст : непосредственный.
 13. Петрик, И. Ю. Морозостойкость и коррозионная стойкость тяжелого бетона с повышенным содержанием обогащенной золы ТЭС / И. Ю. Петрик, Н. М. Зайченко, В. Н. Губарь. – Текст : электронный // Современное промышленное и гражданское строительство. – 2021. – Том 17, № 4. – С. 225–234. – URL: http://donnasa.ru/publish_house/journals/spgs/20214/03_petrik_zaichenko_gubar.pdf (дата обращения: 20.04.2023)
 - superplastifikatorov-dlya-proizvodstva-betona (date of access: 21.05.2023). (in Russian)
 9. Xuan, Hung Ngo; Tang, Van Lam; Bulgakov, B. I. [et al.]. The influence of organomineral additives on the physical and mechanical properties and corrosion resistance of cement-sand mortars. – Text : electronic. – In: *Construction: science and education*. – 2020. – № 1. – P. 1–23. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-organomineralnyh-dobavok-na-fiziko-mehaniicheskie-svoystva-i-korroziionnyu-stoykost-tsementno-peschanyh-rastvorov> (date of access: 21.05.2023). (in Russian)
 10. Egorova, E. V.; Borodai, E. T.; Korchagina, K. A. [et al.]. Self-compacting concrete with a complex additive based on industrial waste from Donbass. – Text : electronic. – In: *Bulletin of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture*. – 2021. – Issue 2021-1(147) Modern building materials. – P. 74–79. – URL: [http://donnasa.ru/publish_house/journals/vestnik/2021/vestnik_2021-1\(147\).pdf](http://donnasa.ru/publish_house/journals/vestnik/2021/vestnik_2021-1(147).pdf) (date of the publication: 15.02.2021). (in Russian)
 11. Moskvina, V. M.; Ivanov, F. M.; Alekseev, S. N.; Guzeev, E. A. Corrosion of concrete and reinforced concrete, methods of their protection. – Moscow : Stroyizdat, 1980. – 536 p. – Text : direct. (in Russian)
 12. GOST 10180-2012. Concretes. Methods for strength determination using reference specimens : Interstate standard : official publication : approved and put into effect by Order of the Federal Agency for Technical Regulation and Metrology dated 27 December 2012 № 2071-st. : introduced to replace GOST 10180-90 : date of introduction 2013-07-01 / developed by the Research, Design and Technological Institute of Concrete and Reinforced Concrete «NIIZhB» – a branch of the Federal State Unitary Enterprise «National Research Center «Construction». – Moscow : Standardinform, 2013 – 31 p. – Text : direct. (in Russian)
 13. Petrik, I. Yu.; Zaichenko, N. M.; Gubar, V. N. Frost resistance and corrosion resistance of heavy concrete with a high content of enriched ash from thermal power plants. – Text : electronic. – In: *Modern industrial and civil construction*. – 2021. – Volume 17, № 4. – P. 225–234. – URL: http://donnasa.ru/publish_house/journals/spgs/20214/03_petrik_zaichenko_gubar.pdf (date of access: 20.04.2023). (in Russian)

Егорова Елена Владимировна – кандидат технических наук, доцент кафедры технологий строительных конструкций, изделий и материалов ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: самоуплотняющиеся бетоны с полифункциональными модификаторами.

Петрик Ирина Юрьевна – ассистент кафедры технологий строительных конструкций, изделий и материалов ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: бетоны с обогащенной золой-уноса ТЭС.

Киценко Татьяна Петровна – кандидат технических наук, доцент кафедры технологий строительных конструкций, изделий и материалов ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: цементные бетоны с заполнителями из отходов промышленности.

Аксенов Игорь Сергеевич – магистрант кафедры технологий строительных конструкций, изделий и материалов ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: тяжелые бетоны с использованием золошлаковых отходов ТЭС.

Маракова Ангелина Алексеевна – магистрант кафедры технологий строительных конструкций, изделий и материалов ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: тяжелые цементные бетоны с комплексной добавкой.

Yegorova Elena – Ph. D. (Eng.), Associate Professor of the Department of Technologies of Building Structures, Products and Materials FSBEI HE «Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture». Scientific interests: self-compacting concretes with multifunctional modifiers.

Petrik Irina – assistant of the Department of Technologies of Building Structures, Products and Materials FSBEI HE «Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture». Scientific interests: concrete with enriched fly ash from TPP.

Kitsenko Tatyana – Ph. D. (Eng.), Associate Professor of the Department of Technologies of Building Structures, Products and Materials FSBEI HE «Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture». Scientific interests: portland cement concretes with aggregates of industrial waste products.

Aksyonov Igor – master's student of the Department of Technologies of Building Structures, Products and Materials FSBEI HE «Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture». Scientific interests: heavy concrete with the use of ash and slag waste from thermal power plants.

Marakova Angelina – master's student of the Department of Technologies of Building Structures, Products and Materials FSBEI HE «Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture». Scientific interests: heavy cement concretes with a complex additive.