

EDN: DFOLOD

УДК 666.9.017

Е. В. ЕГОРОВА, И. Ю. ПЕТРИК, Т. П. КИЦЕНКО, М. Н. ВОДОЛАД, Д. И. ВАХЛАКОВ

ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

КОРРОЗИОННАЯ СТОЙКОСТЬ САМОУПЛОТНЯЮЩЕГОСЯ БЕТОНА С КОМПЛЕКСНОЙ ДОБАВКОЙ

Аннотация. В работе исследовано влияние комплексной добавки, состоящей из модификатора вязкости и суперпластификатора, на коррозионную стойкость самоуплотняющихся бетонов. 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. Также не было отмечено несовместимости модификатора вязкости и суперпластификатора, применяемых в составе комплексной добавки, и ее отрицательного влияния на коррозионную стойкость самоуплотняющегося бетона. Следовательно, можно рекомендовать использовать разработанные составы бетонов при производстве изделий и конструкций, применяемых в дорожном строительстве, к которым предъявляются высокие требования по качеству поверхности и которые не требуют дополнительной обработки.

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

ФОРМУЛИРОВКА ПРОБЛЕМЫ

В современном строительстве при возведении бетонных и железобетонных конструкций применяются бетоны всё более высоких классов по прочности, повышаются требования к коррозионной стойкости бетона в агрессивных средах и его способности длительно защищать стальную арматуру от коррозии [1].

Коррозионная стойкость бетона определяется такими факторами, как проницаемость и химическая стойкость компонентов цементного камня к действию агрессивных сред. Так, активные минеральные добавки, в частности пуццолановые, повышают коррозионную стойкость бетона, так как снижают его проницаемость (физический фактор) и превращают значительную часть растворимого гидроксида кальция в гидросиликаты кальция (химический фактор) [2].

Дисперсность частиц пуццолановых добавок соизмерима с размерами зерен цемента и наблюдается пластифицирующий эффект, проявление которого повышается с увеличением (до оптимального) количества вводимой добавки. Образование гидросиликатов кальция обеспечивает повышение плотности и прочности цементного камня и соответственно бетона и раствора за счет вовлечения активной части добавки в формирующуюся структуру цементного камня. Вместе с этим уменьшение свободной гидроокиси кальция в структуре цементного камня способствует повышению коррозионной стойкости бетона, так как исключает образование легкорастворимых гидроксидов магния, натрия и других. Таким образом, введение активных минеральных добавок способствует не только сокращению расхода цемента, но и повышению коррозионной стойкости бетона, что свидетельствует о технической и экономической эффективности использования данных добавок в бетонах [1].

Известно, что высокий уровень эксплуатационных характеристик бетонов, подвергающихся коррозионным воздействиям, обеспечивается за счет оптимизации структуры конструктивного материала с целью устранения дефектов и неоднородностей в результате несовершенства технологического



процесса и достигается применением комплексных модификаторов [3]. Их применение приводит к образованию нерастворимых кристаллических комплексов, ликвидирующих дефектность структуры, повышая плотность, прочность, морозостойкость и коррозионную стойкость конструкций [4].

Эффективными модификаторами цементных систем являются добавки пластифицирующей группы на основе высокомолекулярных поверхностно-активных веществ, в частности поликарбоксилатные добавки, которые позволяют уменьшить количество воды затворения при сохранении заданной подвижности [3]. Поликарбоксилаты обладают разветвленной структурой и состоят из основной поликарбоксильной цепи, а также боковых полиэфирных ответвлений. Такое строение обеспечивает частицам цемента электростатическое и стерическое (пространственное) отталкивание [5].

Широкое применение в современной технологии бетона получили комплексные органоминеральные добавки. Применение комплексных органоминеральных добавок позволяет получить бетон с повышенной коррозионной стойкостью за счет формирования более плотной структуры цементного камня с низкой пористостью из-за снижения водовязущего отношения и заполнения порового пространства активными минеральными наполнителями [6].

Самоуплотняющиеся бетоны обладают комплексом свойств, позволяющим отнести их к высокофункциональным бетонам и рассматривать как инновационный материал в современном строительстве. Модифицированные самоуплотняющиеся бетоны обладают достаточно высокой коррозионной стойкостью к действию различных агрессивных сред, в том числе кислот. Также был отмечен положительный опыт применения самоуплотняющихся бетонов в дорожном строительстве, которые обеспечивают улучшение качества дорожного полотна, повышение скорости строительства, снижение энергопотребления и трудоемкости процесса, а также соответствуют основным принципам «устойчивого строительства» [7].

Однако большое влияние на свойства самоуплотняющихся смесей и бетонов может оказывать проблема совместимости применяемых в составе самоуплотняющихся бетонов модификаторов между собой и с портландцементом. Это обуславливает необходимость поиска решений по разработке составов полифункциональных модификаторов, основу которых составляют различные отходы промышленности. Полифункциональные добавки обеспечивают получение бетонных смесей и бетонов с нормируемыми показателями качества и обеспечивают долговечность конструкций различного назначения.

Целью исследования является изучение коррозионной стойкости самоуплотняющихся бетонов, содержащих в своем составе в качестве активной минеральной добавквивзамен части портландцемента золошлаковую смесь ТЭС и комплекс химических добавок – модификатор вязкости SCC-10 и суперпластификатор Sika ViscoCrete 5-600 N PL.

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).

В качестве заполнителей применяли:

- песок кварцевый (П) Ясиноватского карьера с $M_k = 1,3$ (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 Др1000);
- химические добавки – модификатор вязкости (МВ) Viscofluid SCC/10 и суперпластификатор (СП) Sika ViscoCrete 5-600 NP L.

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 $\rho_n = 881$ кг/м³).

Химико-минералогический состав представлен в таблице 1.

Коррозионная стойкость самоуплотняющегося бетона определялась по методике В. М. Москвина [8] на образцах-кубах размером $(7 \times 7 \times 7) \times 10^{-2}$ м. Было запроектировано четыре состава, которые приведены в таблице 2.

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

Таблица 2 – Составы самоуплотняющихся бетонов

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

Образцы бетона после твердения в течение суток в нормальных условиях набирали прочность в воде в течение 14 суток, и после этого их погружали в агрессивные растворы. Согласно методике [8], испытания образцов, находящихся в агрессивных растворах, проводят через 14, 70 и 126 суток.

Агрессивной средой служил 0,1н раствор HCl, т. е. моделировалась кислотная коррозия.

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

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

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.

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ. ВЫВОДЫ

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

Таблица 3 – Механические характеристики самоуплотняющихся бетонов

№ состава	Показатели предела прочности на сжатие, МПа, в возрасте					
	контрольные образцы			образцы в агрессивной среде		
	28 сут	84 сут	140 сут	28 сут	84 сут	140 сут
1	30,50	34,80	36,70	30,40	29,80	31,00
2	32,54	40,10	42,40	32,50	32,92	34,68
3	33,50	40,20	42,70	33,40	34,57	36,72
4	35,82	42,80	45,70	35,80	38,61	41,13

Анализ результатов эксперимента показал, что разработанные 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. Вероятно, она снижает проницаемость бетона и превращает значительную часть 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 0,1н растворе HCl, 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 [8].

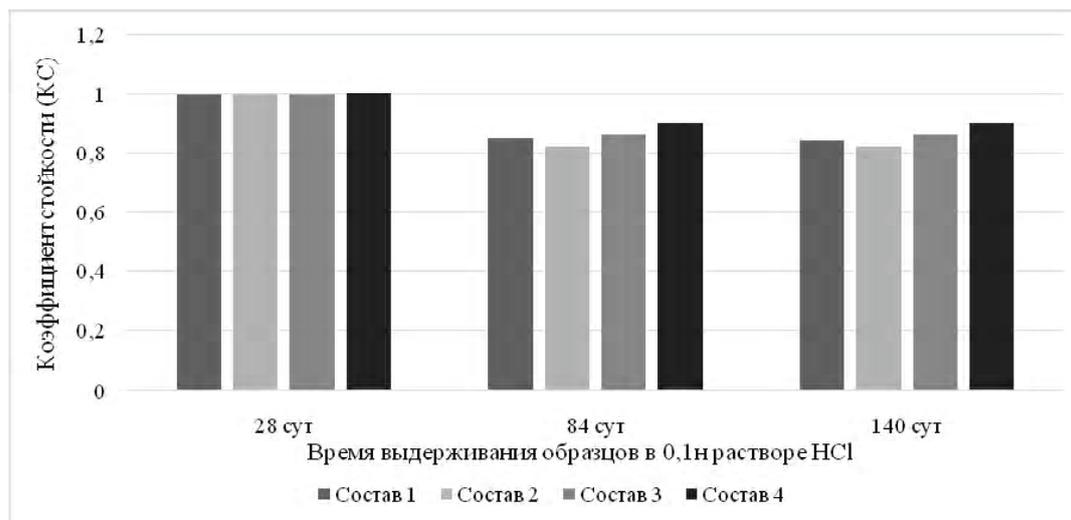


Рисунок – Коэффициент стойкости разработанных составов бетонов.

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 которые не требуют дополнительной обработки.

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

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рябов, Р. Г. Экологически рациональная технология повышения коррозионной стойкости бетонов модифицирующей добавкой из отходов горных предприятий / Р. Г. Рябов, М. В. Хмелевский, Ю. А. Воронкова. – Текст : электронный // Известия ТулГУ. Науки о Земле. – 2016. – № 3. – С. 210–216. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ekologicheski-ratsionalnaya-tehnologiya-povysheniya-korrozionnoy-stoykosti-betonov-modifitsiruyushey-dobavkoj-iz-othodov-gornyh> (дата обращения: 15.11.2022).
2. Петрик, И. Ю. Коррозионная стойкость бетона с высоким содержанием золы-уноса ТЭС / И. Ю. Петрик, В. Н. Губарь, С. В. Корниенко. – Текст : электронный // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. – 2017. – Выпуск 2017-4(126) Научно-технические достижения студентов строительного-архитектурной отрасли. – С. 103–107. – URL: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_30480491_21084878.pdf (дата публикации: 17.07.2017).
3. Суворова, А. А. Модель формирования коррозионностойких веществ при применении уплотняющих присадок / А. А. Суворова. – Текст : электронный // Инновации и инвестиции. – 2020. – № 8. – С. 168–171. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/model-formirovaniya-korrozionnostoykih-veschestv-pri-primenenii-uplotnyayuschih-prisadok> (дата обращения: 15.11.2022).
4. Исследование коррозионной стойкости модифицированного бетона в среде сточных вод / Е. Л. Королева, Е. Г. Матвеева, О. В. Науменко, Т. Н. Нырикова. – Текст : электронный // Вестник МГСУ. – 2013. – № 2. – С. 101–107. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-korrozionnoy-stoykosti-modifitsirovannogo-betona-v-srede-stochnyh-vod-1> (дата обращения: 15.11.2022).
5. Оценка эффективности применения поликарбоксилатных суперпластификаторов для производства бетона / В. Н. Тарасов, Б. В. Гусев, С. Ю. Петрунин [и др.]. – Текст : электронный // Вестник науки и образования Северо-Запада России. – 2018. – № 1. – С. 1–12. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-effektivnosti-primeneniya-polikarboksilatnyh-superplastifikatorov-dlya-proizvodstva-betona> (дата обращения: 15.11.2022).
6. Влияние органоминеральных добавок на физико-механические свойства и коррозионную стойкость цементно-песчаных растворов / Суан Хунг Нго, Танг Ван Лам, 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-mehanicheskie-svoystva-i-korrozionnuyu-stoykost-tsementno-peschanyh-rastvorov> (дата обращения: 15.11.2022).

7. Зайченко, Н. М. Модифицированные цементные бетоны для устойчивого развития : учебное пособие / Н. М. Зайченко. – Саратов : Ай Пи Эр Медиа, 2018. – 559 с. – ISBN 978-5-4486-0132-3. – Текст : электронный // IPR SMART : [сайт]. – URL: <https://www.iprbookshop.ru/70268.html> (дата обращения: 15.11.2022). – Режим доступа: для авторизир. пользователей. – DOI: <https://doi.org/10.23682/70268>.
8. Коррозия бетона и железобетона, методы их защиты / В. М. Москвин, Ф. М. Иванов, С. Н. Алексеев, Е. А. Гусев. – Москва : Стройиздат, 1980. – 536 с. – Текст : непосредственный.

Получена 10.01.2023

Принята 27.01.2023

О. В. ЄГОРОВА, І. Ю. ПЕТРИК, Т. П. КІЩЕНКО, М. М. ВОДОЛАД,
Д. І. ВАХЛАКОВ
КОРОЗІЙНА СТІЙКІСТЬ БЕТОНУ, ЩО САМОУЩІЛЬНЮЄТЬСЯ, З
КОМПЛЕКСНОЮ ДОБАВКОЮ
ДОНУ ВПО «ДОНБАСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ»

Анотація. У роботі досліджено вплив комплексної добавки, що складається з модифікатора в'язкості та суперпластифікатора, на корозійну стійкість бетонів, що самоущільнюються. Як мінеральний наповнювач застосовували золошлакову суміш Зуївської ТЕС. Встановлено, що використання як мінерального наповнювача золошлакової суміші і введення комплексної добавки до складу бетонів, що самоущільнюються, збільшує їх міцнісні характеристики як в ранні, так і в пізніші терміни твердіння. Крім цього, розроблені склади бетонів відповідають вимогам щодо зміни показників міцності після витримання зразків в агресивному середовищі. Також не було відзначено несумісності модифікатора в'язкості та суперпластифікатора, що застосовуються у складі комплексної добавки, та її негативного впливу на корозійну стійкість бетону, що самоущільнюється. Отже, можна рекомендувати застосовувати розроблені склади бетонів при виробництві виробів та конструкцій, що застосовуються у дорожньому будівництві, до яких пред'являються високі вимоги щодо якості поверхні та які не потребують додаткової обробки.

Ключові слова: самоущільнювальний бетон, міцність, модифікатор в'язкості, суперпластифікатор, золошлакова суміш, корозійна стійкість, кислотна корозія.

ELENA YEGOROVA, IRINA PETRIK, TATYANA KITSSENKO, MAXIM VODOLAD,
DMITRY VAKHLAKOV
CORROSION RESISTANCE OF SELF-COMPACTING CONCRETE WITH A
COMPLEX ADMIXTURE
Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

Abstract. In the work, the influence of a complex admixture consisting of a viscosity modifier and a superplasticizer on the corrosion resistance of self-compacting concretes 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 admixture 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. Also, there was no incompatibility of the viscosity modifier and superplasticizer used in the composition of the complex admixture, and 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 products and structures used in road construction, 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, acid corrosion.

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

Петрик Ирина Юрьевна – ассистент кафедры технологий строительных конструкций, изделий и материалов ГОУ ВПО «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 ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: цементные бетоны с заполнителями из отходов промышленности.

Водолад Максим Николаевич – магистрант кафедры технологий строительных конструкций, изделий и материалов ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: самоуплотняющиеся бетоны.

Вахлаков Дмитрий Игоревич – магистрант кафедры технологий строительных конструкций, изделий и материалов ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: использование отходов промышленности Донбасса при производстве строительных материалов.

Егорова Елена Володимирівна – кандидат технічних наук, доцент кафедри технологій будівельних конструкцій, виробів і матеріалів ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: бетони, що самоупільнюються, з поліфункціональними модифікаторами.

Петрик Ірина Юріївна – асистент кафедри технологій будівельних конструкцій, виробів і матеріалів ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: бетони із збагаченою золою-віднесення ТЕС.

Киценко Тетяна Петрівна – кандидат технічних наук, доцент кафедри технологій будівельних конструкцій, виробів і матеріалів ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: цементні бетони з заповнювачами з відходів промисловості.

Водолад Максим Миколайович – магистрант кафедри технологій будівельних конструкцій, виробів і матеріалів ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: бетони, що самоупільнюються.

Вахлаков Дмитро Ігорович – магистрант кафедри технологій будівельних конструкцій, виробів та матеріалів ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: використання відходів промисловості Донбасу при виробництві будівельних матеріалів.

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

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

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

Vodolad Maxim – master's student, Technologies of Building Structures, Products and Materials Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: self-compacting concretes.

Vakhlakov Dmitry – master's student, Technologies of Building Structures, Products and Materials Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: the use of Donbass industrial waste in the production of building materials.