ВЕСТНИК
ДОНБАССКОЙ НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ СТРОИТЕЛЬСТВА И АРХИТЕКТУРЫ

ISSN 2519-2817 online
Современные строительные материалы
Выпуск 2021-1(147)

УДК 666.9.017

Е. В. ЕГОРОВА, Е. Т. БОРОДАЙ, К. А. КОРЧАГИНА, М. Н. ВОДОЛАД, М. Э. ВОРОНЕНКО
ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

САМОУПЛОТНЯЮЩИЙСЯ БЕТОН С КОМПЛЕКСНОЙ ДОБАВКОЙ НА ОСНОВЕ ОТХОДОВ ПРОМЫШЛЕННОСТИ ДОНБАССА

Аннотация. В работе исследовано влияние комплексной добавки, состоящей из модификатора вязкости и суперпластификатора на реологические свойства самоуплотняющихся бетонных смесей и физико-механические свойства таких бетонов. В качестве минерального наполнителя применяли золошлаковую смесь Зуевской ТЭС. Все изученные составы бетонных смесей имеют довольно высокие значения подвижности. Установлено, что использование в качестве минерального наполнителя золошлаковой смеси и введение комплексной добавки в состав самоуплотняющихся бетонов увеличивает прочностные характеристики как в ранние, так и в более поздние сроки твердения. Следовательно, не отмечено несовместимости использованного модификатора вязкости и суперпластификатора и их совместного отрицательного влияния на изученные свойства самоуплотняющихся бетонных смесей и бетонов. Можно рекомендовать применять самоуплотняющиеся бетонные смеси изученных составов для изготовления неармированных или малоармированных бетонных конструкций.

Ключевые слова: самоуплотняющийся бетон, подвижность, прочность, модификатор вязкости, суперпластификатор.

АКТУАЛЬНОСТЬ ТЕМЫ

При строительстве современных зданий и сооружений в последнее время все шире применяются высокотехнологичные бетонные смеси, способные без применения какого-либо внешнего механического воздействия заполнять опалубку (форму), в том числе густоармированную и со сложной геометрией, сохраняя при этом связность, однородность и нормативную плотность – самоуплотняющиеся бетоны (СУБ). Наряду с высокой удобоукладываемостью такие бетоны характеризуются быстрыми темпами набора прочности, высокими физико-механическими характеристиками, что позволяет отнести их к классу «высокофункциональных бетонов» (High Performance Concretes). Это обеспечивается за счет применения комплексов модификаторов, включающих, как правило, эффективные разжижители, модификаторы вязкости, активные минеральные добавки (наполнители), ускорители твердения. При этом применение таких добавок, как поликарбоксилатные суперпластификаторы, микрокремнезем, метакаолин и др., приводит к значительному удорожанию самоуплотняющихся бетонов в сравнении с обычными. Кроме того, особенности состава и структуры самоуплотняющихся бетонов обусловливают возможность проявления и ряда недостатков: повышенные усадка и ползучесть, пониженный модуль упругости, опасность термического трещинообразования в массивных конструкциях, снижение морозостойкости. В связи с этим использование в составах таких бетонов отходов промышленности Донбасса обеспечит получение бетонных смесей и бетонов с нормируемыми показателями качества и невысокой себестоимостью.

Решающую роль в развитие технологии высокоподвижных бетонных смесей сыграли сформированные в результате многочисленных исследований и подтвержденные практикой научные основы модифицирования бетонов полифункциональными добавками-модификаторами [1, 2]. Оптимальное сочетание добавок-модификаторов, а при необходимости совмещение с ними других органических и минеральных материалов, позволяет направленно управлять реологическими свойствами бетонных смесей, модифицировать структуру цементного камня на микроуровне так, чтобы придать свойства, обеспечивающие высокую эксплуатационную надежность бетонных конструкций [3, 4].

© Е. В. Егорова, Е. Т. Бородай, К. А. Корчагина, М. Н. Водолад, М. Э. Вороненко, 2021

Создание самоуплотняющегося бетона прежде всего связано с разработкой японскими учеными [5, 6] и внедрением в практику нового поколения суперпластификаторов на основе полиакрилатов и поликарбоксилатов.

Основные компоненты самоуплотняющегося бетона те же, что используются при производстве обычного бетона. Отличие лишь в их соотношении, а также в использовании специальных добавок, которые, собственно, и придают бетону способность к самоуплотнению. В то же время для достижения высоких технологических и эксплуатационных характеристик самоуплотняющихся бетонов предъявляются более жесткие требования к производственным материалам.

Прочность самоуплотняющегося бетона обеспечивается каркасом заполнителей, склеенных цементной пастой в затвердевшем состоянии, в то время как технологические свойства смесей обеспечиваются цементной пастой в свежеприготовленном состоянии.

Таким образом, самоуплотняющиеся бетоны обладают комплексом свойств, позволяющим отнести их к высокофункциональным бетонам и рассматривать как инновационный материал в современном строительстве. В Японии около 50 % новых железобетонных конструкций изготовляется из СУБ, в Европе на их долю приходится 7...10 % объема производимого бетона. В значительно меньшей мере получили распространение эти бетоны в странах СНГ, хотя и здесь имеются примеры успешной их реализации, в частности в России построены такие уникальные сооружения, как: монолитный ростверк пилона М-7 Русского моста во Владивостоке; фундамент под высотный многофункциональный комплекс «Лахта-центр»; опытные блоки Саяно-Шушенской и Бурейской ГЭС; здание реактора ЛАЭС-2; кольцевые коридоры реактора НВАЭС и др. [7].

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» [8].

Целью настоящей работы является исследование влияния комплексной добавки, состоящей из модификатора вязкости и суперпластификатора на реологические и физико-механические свойства самоуплотняющихся бетонных смесей и бетонов.

ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ

Для определения влияния комплексной добавки на свойства самоуплотняющихся бетонных смесей и бетонов были приготовлены составы с использованием в качестве минерального наполнителя золошлаковой смеси Зуевской ТЭС.

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.

В качестве компонентов самоуплотняющихся бетонных смесей приняты:

– портландцемент (ПЦ) ПЦ I-500 ООО «Донцемент» ($S_{уд.}$ = 357 см^2/кг; НГ = 26,2 %, R_{28} = 51,5 МПа);

– песок кварцевый (ПК) Ясиноватского карьера с Мк = 1,1 (содержание ПИГ = 3 %, насыпная плотность = 1 207 кг/м^3);

– щебень (Щ) гранитный Кальчикского карьера фракции 5...10 мм (насыпная плотность = 1 370 кг/м^3; пустотность 44,5 %);

– минеральная добавка: золошлаковая смесь (ЗШС) Зуевской ТЭС (тонкость помола (остаток на сите № 008) = 4,75 %; насыпная плотность = 881 кг/м^3);

– модификатор вязкости (МВ) Viscofluid SCC/10;

– суперпластификатор (СП) Sika ViscoCrete 5-600 NP L.

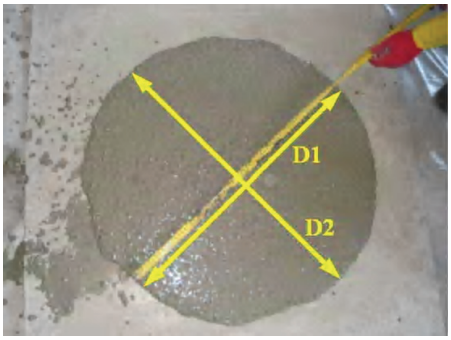
Составы бетонных смесей (на 1 м^3) приведены в таблице 1.

Показателями технологических свойств самоуплотняющихся бетонных смесей служат такие характеристики, как подвижность (текучесть), выражаемая диаметром расплыва стандартного конуса (Flow spread S, мм) и временем растекания бетонной смеси конуса до достижения диаметра 500 мм (Slump

Таблица 1 – Составы самоуплотняющихся бетонных смесей

№ состава	Компоненты бетонных смесей, кг						
	Ц	ЗШС	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 % $m_в$

flow time, T500, с) (рисунки 1, 2). При определении показателей подвижности смесей использовали мини-конус с размерами: диаметр нижнего основания 140 мм, верхнего 70 мм, высота 200 мм, объем 2 л. Результаты, полученные с применением мини-конуса, приведены к стандартным значениям с помощью поправочных коэффициентов.



$$S = \frac{d_{макс.} + d_{перп.}}{2}$$

Рисунок 1 – Определение диаметра расплыва смеси (Flow spread S, мм).

Рисунок 2 – Определение времени растекания бетонной смеси (Slump flow time, T500, с).

Физико-механические свойства бетонов определяли по стандартным методикам. Прочностные показатели бетонов определяли на образцах-кубах с размером ребра 0,07 м (предел прочности при сжатии). Образцы твердели в нормальных условиях при температуре t = 20±2 °С в течение 7, 28 и 90 суток.

Реологические свойства самоуплотняющихся бетонных смесей приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Реологические свойства самоуплотняющихся бетонных смесей

№ состава	Текучесть T_{500}, с	D_p, мм
1	7	500
2	5	550
3	5	550
4	3	570

Физико-механические характеристики самоуплотняющихся бетонов приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Физико-механические свойства бетонов

№ состава	Средняя плотность, кг/м^3	Показатели предела прочности на сжатие, МПа, в возрасте		
		7 суток	28 суток	90 суток
1	2 238	12,35	30,50	34,80
2	2 244	16,34	32,54	40,1
3	2 193	7,41	33,50	40,20
4	2 182	8,94	35,82	42,80

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ. ВЫВОДЫ

Все изученные составы бетонных смесей показали довольно высокие значения текучести по расплыву стандартного конуса. Отмечено увеличение на 13 % подвижности бетонной смеси, содержащей в своем

ISSN 2519-2817 online
Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры

составе как комплексную добавку, так и золошлаковую смесь (состав № 4), по сравнению с контрольным составом (№ 1).

Можно рекомендовать применять самоуплотняющиеся бетонные смеси составов №№ 2–4 для изготовления неармированных или малоармированных бетонных конструкций – плит перекрытий, трубопроводов, облицовки туннелей, фундаментов.

Наблюдается снижение средней плотности на 3 % образцов, содержащих в своем составе золошлаковую смесь Зуевской ТЭС. Вероятно, это связано с присутствием в золошлаковой смеси органических частиц в виде несгоревшего углерода.

По результатам исследований установлено, что введение комплексной добавки и минерального наполнителя существенно влияет на прочностные характеристики бетонов в поздние сроки твердения. Наибольший эффект отмечен для состава № 4 (рост предела прочности при сжатии в возрасте 90 суток на 23 %). Прочностные характеристики бетонов в начальные сроки твердения выше примерно на 40 % для составов №№ 1–2, не содержащих минеральную добавку. Но по достижении образцов проектного возраста 28 суток наблюдается значительный рост и выравнивание прочностных показателей составов №№ 3–4, содержащих золошлаковую смесь.

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

В дальнейшем предполагается изучить влияние комплексной добавки на показатели седиментации крупного заполнителя в составе самоуплотняющихся бетонных смесей для обеспечения их стойкости к расслоению.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Батраков, В. Г. Модификаторы бетона: новые возможности и перспективы / В. Г. Батраков. – Текст : непосредственный // Строительные материалы. – 2006. – № 10. – С. 4–7.
2. Батраков, В. Г. Модифицированные бетоны. Теория и практика / В. Г. Батраков. – [2-е изд., перераб. и доп.]. – Москва : Технопроект, 1998. – 768 с. – Текст : непосредственный.
3. Каприелов, С. С. Модифицированные бетоны нового поколения: реальность и перспектива / С. С. Каприелов, В. Г. Батраков, А. В. Шейнфельд. – Текст : непосредственный // Бетон и железобетон. – 1999. – № 6. – С. 6–10. – Библиогр.: с. 10 (12 назв.).
4. Егорова, Е. В. Самоуплотняющиеся бетоны с полифункциональным модификатором на основе отходов промышленности : специальность 05.23.05 «Строительные материалы и изделия» : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Егорова Елена Владимировна : ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». – Макеевка, 2016. – 161 с. – Библиогр.: с. 10–18. – Текст: непосредственный.
5. Research on synthesis and action mechanism of polycarboxylate superplasticizer / Hui Wu, Huiling Guo, Jiaheng Lei [и др.]. – Текст : электронный // Front. Chem. China 2. – 2007. – P. 322–325. – URL : https://doi.org/10.1007/s11458-007-0060-2 (дата обращения: 25.12.2020).
6. Ohta, A. Fluidizing Mechanism and Applications of Polycarboxylate-Based Superplasticizers / A. Ohta, T. Sugiyama, Y. Tanaka. – Текст : электронный // the Fifth CANMET/ACI International Conf., SP-173, 1997: Proc. – Rome (Italy), 1997. – P. 359–378. – URL : https://trid.trb.org/view/475927 (дата обращения: 25.12.2020).
7. Комаринский, М. В. Литые и самоуплотняющиеся бетонные смеси / М. В. Комаринский, С. И. Смирнов, Д. Е. Бурцева. – Текст : непосредственный // Строительство уникальных зданий и сооружений. – 2015. – Выпуск 11(38). – С. 106–118. – Библиогр.: с. 115 (30 назв.).
8. Зайченко, Н. М. Модифицированные цементные бетоны для устойчивого развития : учебное пособие / Н. М. Зайченко. – Саратов : Ай Пи Эр Медиа, 2018. – 474 с. – ISBN 978-5-4486-0132-3 // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. – URL : http://www.iprbookshop.ru/70268.html (дата обращения: 25.12.2020). – Режим доступа: для авторизир. пользователей. – Текст : электронный.

Получена 11.01.2021

О. В. ЄГОРОВА, К. Т. БОРОДАЙ, К. О. КОРЧАГІНА, М. М. ВОДОЛАД, М. Е. ВОРОНЕНКО

БЕТОН, ЩО САМОУЩІЛЬНЮЄТЬСЯ, З КОМПЛЕКСНОЮ ДОБАВКОЮ НА ОСНОВІ ВІДХОДІВ ПРОМИСЛОВОСТІ ДОНБАСУ

ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури»

Анотація. У роботі досліджено вплив комплексної добавки, що складається з модифікатора в'язкості і суперпластифікатора, на реологічні властивості бетонних сумішей, що самоущільнюються, та фізико-механічні властивості таких бетонів. Як мінеральний наповнювач застосовували золошлакову суміш Зуївської ТЕС. Усі вивчені склади бетонних сумішей мають досить високі значення рухливості. Встановлено, що використання як мінерального наповнювача золошлакової суміші і введення комплексної добавки до складу бетонів, що самоущільнюються, збільшує характеристики міцності як в ранні, так і в більш пізні терміни твердіння. Таким чином, не відзначено несумісності використаного модифікатора в'язкості і суперпластифікатора і їх спільного негативного впливу на вивчені властивості бетонних сумішей і бетонів, що самоущільнюються. Можна рекомендувати застосовувати бетонні суміші вивчених складів для виготовлення неармованих або малоармованих бетонних конструкцій.
Ключові слова: бетон, що самоущільнюється, рухливість, міцність, модифікатор в'язкості, суперпластифікатор.

ELENA EGOROVA, EKATERINA BORODAY, KARINA KORCHAGINA, MAXIM VODOLAD, MAXIM VORONENKO

SELF-COMPACTING CONCRETE WITH A COMPLEX ADDITIVE BASED ON INDUSTRIAL WASTE FROM DONBASS

Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

Abstract. The paper investigates the effect of a complex additive consisting of a viscosity modifier and a superplasticizer on the rheological properties of self-compacting concrete mixtures and the physical and mechanical properties of self-compacting concrete. The ash and slag mixture of Zuevskaya TPP was used as a mineral filler. All studied compositions of concrete mixes had rather high values of mobility. 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 the strength characteristics both in the early and later periods of hardening. Consequently, no incompatibility of the used viscosity modifier and superplasticizer and their joint negative effect on the studied properties of self-compacting concrete mixtures and concretes was noted. It is possible to recommend the use of self-compacting concrete mixtures of the studied compositions for the manufacture of unreinforced or low-reinforced concrete structures.
Key words: self-compacting concrete, mobility, strength, viscosity modifier, super plasticizer.

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.

Бородай Екатерина Таеровна – ассистент кафедры технологий строительных конструкций, изделий и материалов ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: усовершенствование физико-механических свойств огнеупорных вяжущих и бетонов.

Корчагина Карина Александровна – магистрант кафедры технологий строительных конструкций, изделий и материалов ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: бетоны с высокими эксплуатационными характеристиками.

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

Вороненко Максим Эдуардович – магистрант кафедры технологий строительных конструкций, изделий и материалов ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: применение химических добавок в высокофункциональных бетонах.

Єгорова Олена Володимирівна – кандидат технічних наук, доцент кафедри технологій будівельних конструкцій, виробів і матеріалів ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: бетони, що самоущільнюються.

Бородай Катерина Таєрівна – асистент кафедри технологій будівельних конструкцій, виробів і матеріалів ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: вдосконалення фізико-механічних властивостей вогнетривких в'яжучих та бетонів.

Корчагіна Карина Олександрівна – магістрант кафедри технологій будівельних конструкцій, виробів і матеріалів ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: бетони з високими експлуатаційними характеристиками.

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

Вороненко Максим Едуардович – магістрант кафедри технологій будівельних конструкцій, виробів і матеріалів ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: застосування хімічних добавок у високофункціональних бетонах.

Egorova 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.

Boroday Ekaterina – Assistant, Technologies of Building Structures, Products and Materials Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: improvement of physical and mechanical properties of refractory binders and concrete.

Korchagina Karina – master's student, Technologies of Building Structures, Products and Materials Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: high performance concrete.

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.

Voronenko Maxim – master's student, Technologies of Building Structures, Products and Materials Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: the use of chemical additives in High Performance Concretes.