

УДК 666.946.1

Е. В. ЕГОРОВА, С. В. ЛАХТАРИНА, В. Г. ВЕШНЕВСКАЯ, И. В. АСОЕВ
ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

САМОУПЛОТНЯЮЩИЙСЯ БЕТОН С ПОЛИФУНКЦИОНАЛЬНЫМ МОДИФИКАТОРОМ

Аннотация. Приведены данные о влиянии содержания полифункционального модификатора, состоящего из микрокремнезема Стахановского завода ферросплавов, диспергированного в среде суперпластификатора на основе полиметиленафталинсульфоната и щелочного активатора твердения вяжущего – гидроксида натрия на реологические свойства бетонных смесей и прочностные свойства бетона. Показано, что щелочной активатор в составе полифункционального модификатора позволяет осуществить частичную замену портландцемента молотым доменным гранулированным шлаком, повышая при этом прочность бетона при сжатии как в ранние, так и поздние сроки твердения. Установлено, что бетонная смесь с полифункциональным модификатором характеризуется более высокой удобоукладываемостью (подвижностью) и стойкостью к сегрегации.

Ключевые слова: самоуплотняющийся бетон, полифункциональный модификатор, удобоукладываемость (подвижность), стойкость к сегрегации, предел прочности при сжатии.

ВВЕДЕНИЕ

Определяющими особенностями самоуплотняющихся бетонных смесей является их высокая удобоукладываемость, сочетающая две противоположные по своей природе характеристики: низкое предельное напряжение сдвигу, которое предопределяет высокую текучесть смеси, и повышенную вязкость, обеспечивающую стабильность и связность смеси [1]. Согласно данным [2], предельное напряжение сдвигу СУБ (менее 60 Па) значительно меньше, чем у обычного бетона (100...1 000 Па), в то же время пластическая вязкость практически одинакова (20...200 Па·с). Решение этой комплексной задачи обеспечивает:

- заполняющую способность (filling ability) – способность СУБ при неограниченной текучести полностью заполнять все пустоты в опалубке под действием собственного веса;
- способность к преодолению препятствий (passing ability) – способность СУБ преодолевать препятствие в виде узких сечений опалубки и формовочной оснастки, промежутки между стержнями арматуры без расслоения или блокирования крупного заполнителя;
- сопротивление сегрегации (resistance to segregation) – способность СУБ оставаться однородной по составу без расслоения при транспортировке и формовании.

Заполняющая способность обеспечивается повышенной деформируемостью цементной пасты, что достигается применением эффективных суперпластификаторов, оптимальным водовязущим отношением, использованием минеральных добавок (наполнителей) с непрерывной гранулометрией [3–4]. При этом дисперсные частицы размером менее 90 мкм в количестве 500...600 кг/м³ обеспечивают стойкость бетонной смеси к расслоению [3–6].

В то же время, остаются не полностью решенными проблемы, связанные с деформационными характеристиками самоуплотняющихся бетонов – повышенной усадкой и ползучестью, пониженным модулем упругости. Большое влияние на свойства смесей и бетонов может оказывать проблема совместимости применяемых в составе СУБ модификаторов между собой и с портландцементом. Кроме того, стоимость основных добавок – суперпластификаторов на основе поликарбоксилатных эфиров, а также микрокремнезема, остается достаточно высокой. Это обуславливает необходимость

поиска решений по разработке составов полифункциональных модификаторов, основу которых составляют различные отходы промышленности, обеспечивающие получение бетонных смесей и бетонов с нормируемыми показателями качества.

Целью работы является оценка влияния полифункционального модификатора на реологические свойства бетонных смесей и прочностные свойства бетона.

ХАРАКТЕРИСТИКА ИСХОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ И МЕТОДОВ ИССЛЕДОВАНИЯ

При проведении экспериментов использованы следующие материалы:

- портландцемент ПЦ I-500 Н производства ПАО «Хайдельберг Цемент Украина» (г. Амвросиевка);
 - молотый доменный гранулированный шлак (ДГШ) Донецкого металлургического завода;
 - микрокремнезем из шламонакопителей Стахановского завода ферросплавов;
 - песок кварцевый Краснолиманского месторождения;
 - щебень гранитный Кальчикского карьера фракции 5...20 мм ($D = 20$ мм);
 - натр едкий технический (ГОСТ 2263-79);
 - суперпластификатор (на основе полиметиленафталинсульфоната: С-3 (ТУ 2481-001-51831493-00)).
- Составы бетонных смесей приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Составы самоуплотняющихся бетонных смесей

Смесь	Содержание компонентов, кг·м ⁻³							
	ПЦ	Заполнитель		МК	ДГШ	СП	NaOH	В/В
		П	Щ					
СУБ-1	442	885	796	33,5	0	6,64	0	0,48
СУБ-2	287		746		155		6,65	

Технологические свойства самоуплотняющихся бетонных смесей определены в соответствии с Европейскими директивами по самоуплотняющимся бетонам [4].

Для оценки способности СУБ преодолевать препятствия (passing ability) использовали L-образный ящик («L-box») с длиной основания 700 мм, в конструкции которого имеется открывающаяся задвижка и три вертикальных арматурных стержня. Оценку стойкости бетонной смеси к сегрегации проводили по показателю равномерности распределения заполнителя в трехсекционной цилиндрической форме общей высотой 450 мм, высотой секции 150 мм и диаметром 150 мм, разделяемой на секции двумя задвижками.

Физико-механические свойства бетонов определяли по стандартным методикам. Прочностные показатели бетонов определяли на образцах-кубах с размером ребра 0,07 м.

Диспергирование агрегированного микрокремнезема осуществлялось в лабораторной бисерной мельнице. Разновидности бисерных мельниц обеспечивают тонину помола от 6 нм до 200 мкм.

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ И ОБСУЖДЕНИЕ

Сравнительные испытания бетонных смесей контрольного состава (СУБ-1) и с полифункциональным модификатором (СУБ-2) (таблица 1) показывают, что текучесть смеси СУБ-2 на 11 % выше, чем СУБ-1 (таблица 2).

Таблица 2 – Реологические свойства самоуплотняющихся бетонных смесей

Смесь	Свойства			
	D_p , мм	T_{500} , с	$PA=H_2/H_1$	SR, %
СУБ-1	538	2,0	0,86	13,7
СУБ-2	565	2,0	0,82	9,5

В соответствии с Европейским руководством по самоуплотняющимся бетонам [4] исследуемый состав СУБ с полифункциональным модификатором относится к следующим классам: SF1 (подвижность, мм), VS1/VF1 (T_{500} , с), PA2 (проникающая способность), SR2 (стойкость к сегрегации, %).

Органоминеральные добавки, введенные в цементную систему в виде композиций (смесей), предпочтительнее в сравнении с каждой из них в отдельности. Их сочетание с суперпластификаторами при оптимизации гранулометрического состава заполнителей позволяет получить высокопрочные

самоуплотняющиеся бетоны (более 70 МПа), при этом характеризующиеся достаточной вязкостью для предотвращения расслоения смеси и седиментации крупного заполнителя [7].

Сравнительные испытания бетонов контрольного состава (СУБ-1) и с полифункциональным модификатором (СУБ-2) показывают, что щелочной активатор в составе полифункционального модификатора позволяет осуществить частичную замену (35 %) портландцемента молотым доменным гранулированным шлаком, повышая при этом прочность бетона при сжатии как в ранние, так и поздние сроки твердения (таблица 3). При этом отмечено также повышение модуля упругости и усадки бетона при высушивании.

Таблица 3 – Свойства самоуплотняющихся бетонов

Смесь	Свойства				
	Прочность при сжатии, МПа, сут.			E _b (90 сут.), ГПа	ε _{сд} , мм/м
	3	28	90		
СУБ-1	12,2	25,7	36,4	40,2	0,58
СУБ-2	21,4	32,4	45,8	42,3	0,64

ВЫВОДЫ

Установлено, что в соответствии с Европейским руководством по самоуплотняющимся бетонам исследуемые составы СУБ с полифункциональным модификатором относятся к следующим классам: SF1 (подвижность, мм), VS1/VF1 (Т500, с), PA2 (проникающая способность), SR2 (стойкость к сегрегации, %). Сравнительные испытания бетонов контрольного состава и с полифункциональным модификатором показывают, что щелочной активатор в составе полифункционального модификатора позволяет осуществить частичную замену (35%) портландцемента молотым доменным гранулированным шлаком, повышая при этом прочность бетона при сжатии как в ранние, так и поздние сроки твердения. При этом отмечено также повышение модуля упругости и усадки бетона при высушивании.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Łazniewska-Piekarczyk, B. The influence of selected new generation admix-tures on the workability, air-voids parameters and frost-resistance of self compacting concrete [Текст] / B. Łazniewska-Piekarczyk // Construction and Building Materials. – 2012. – Vol. 31. – P. 310–319.
2. Wallevik, O. H. Rheology – a scientific approach to develop Self compacting concrete [Текст] / O. H. Wallevik // The 3rd Intern. Symp.on Self-compacting Concrete / [O. H. Wallevik, I. Nielsson, ed.]. – Bagneux, France : RILEM Publications S.A.R.L., 2003. – P. 23–31.
3. Okamura, H. Mix Design for Self-Compacting Concrete [Текст] / H. Okamura, K. Ozawa // Concrete Library of JSCE. – 1995. – No. 25. – P. 107–120.
4. The European Guidelines for Self-Compacting Concrete [Текст] : Specification, Production and Use The European Precast Concrete Organisation [et al.]. – [S. l.] : SCC European Project Group, 2005. – 63 p.
5. Ahmed, S. A. R. Review article on Self-Compacting Concrete [Текст] / Sabry Abdel Raheem Ahmed. – [S. l.] : Civil Engineering Department, Faculty of Engineering Altahadi University, 2003. – 52 p.
6. Properties of self-compacting concrete with slag fine aggregates [Текст] / M. Shoya, S. Sugita, Y. Tsukinaga, M. Aba, K. Tokuhasi // Creating with Concrete : Proceedings of the Intern. Conf. Dundee / Eds: R. K. Dhir, N. A. Henderson. – London : Thomas Telford, 1999. – P. 121–130.
7. Батудаева, А. В. Высокопрочные модифицированные бетоны из самовыравнивающихся смесей [Текст] / А. В. Батудаева, Г. С. Кардунян, С. С. Каприелов // Бетон и железобетон. – 2005. – № 4. – С. 14–18.

Получено 04.01.2017

О. В. ЕГОРОВА, С. В. ЛАХТАРИНА, В. Г. ВЕШНЕВСЬКА, И. В. АСОЕВ
 БЕТОН, ЩО САМОУЩІЛЬНЮЄТЬСЯ, З ПОЛІФУНКЦІОНАЛЬНИМ
 МОДИФІКАТОРОМ
 ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури»

Анотація. Наведено дані щодо впливу вмісту поліфункціонального модифікатора, що складається з мікрокремнезему Стахановського заводу феросплавів, диспергованого в середовищі

суперпластификатора на основе полиметиленафталинсульфонату і лужного активатора твердіння в'язучого – гідроксиду натрію на реологічні властивості бетонних сумішей та міцність бетону. Показано, що лужний активатор в складі поліфункціонального модифікатора дозволяє здійснити часткову заміну портландцементу меленим доменним гранульованим шлаком, підвищуючи при цьому міцність бетону при стисканні як в ранні, так і пізні терміни твердіння. Встановлено, що бетонна суміш з поліфункціональним модифікатором характеризується більш високою рухливістю і стійкістю до сегрегації.

Ключові слова: бетон, що самоущільнюється, поліфункціональний модифікатор, легкоукладальність (рухливість), стійкість до сегрегації, межа міцності при стисканні.

ELENA YEGOROVA, SERHII LAKHTARYNA, VICTORIA VESHNEVSKAYA,
ISO ASOYEV
SELF-COMPACTING CONCRETE WITH A MULTIFUNCTIONAL MODIFIER
Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

Abstract. It has been given the data of the influence of the multifunctional modifier content consisting of microsilica Stakhanov Ferroalloy factory dispersed in the superplasticizing admix environment based on polynaphthalene sulfonate, alkali activator and curing the binder – sodium hydroxide on the rheological properties of concrete mixtures and mechanical properties of the concrete was. It has been shown that the alkaline activator as part of multifunctional modifier allows partial replacement of Portland cement with ground granulated blast furnace slag, while increasing the compressive strength of concrete in the early and later stages of hardening. It has been found out that the concrete mix with a multifunctional modifier has higher workability (flow ability) and resistance to segregation.

Key words: self-compacting concrete, multifunctional modifier, workability (flowability), resistance to segregation, limit of compressive strength.

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.

Лахтарина Сергей Викторович – кандидат технических наук, доцент кафедры технологий строительных конструкций, изделий и материалов ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: конструкционные легкие бетоны с повышенным коэффициентом конструктивного качества.

Вешневская Виктория Геннадьевна – кандидат технических наук, доцент кафедры технологий строительных конструкций, изделий и материалов ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: неразрушающий контроль бетона строительных конструкций.

Асоев Исо Валерьевич – магистрант кафедры технологий строительных конструкций, изделий и материалов ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: свойства модифицированных бетонов.

Егорова Елена 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, з поліфункціональними модифікаторами.

Лахтарина Сергій Вікторович – кандидат технічних наук, доцент кафедри технологій будівельних конструкцій, виробів і матеріалів ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: конструкційні легкі бетони з підвищеним коефіцієнтом конструктивної якості.

Вешневська Вікторія Геннадіївна – кандидат технічних наук, доцент кафедри технологій будівельних конструкцій, виробів і матеріалів ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: неруйнівний контроль бетону будівельних конструкцій.

Асоев Ісо Валерійович – магистрант кафедри технологій будівельних конструкцій, виробів і матеріалів ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: властивості модифікованих бетонів.

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 concrete with multifunctional modifiers.

Lakhtaryna Serhii – Ph.D. (Eng.), Associate Professor, Technologies of Building Structures, Products and Materials Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: structural lightweight concrete with increased coefficient of the constructive quality.

Veshnevskaya Victoria – Ph.D. (Eng.), Associate Professor, Technologies of Building Structures, Products and Materials Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: non-destructive inspection of concrete building structures.

Asoyev Iso – master's student, Technologies of Building Structures, Products and Materials Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: properties of modified concrete.