

DOI: 10.12737/article_5b4f02bf93df52.30110991

¹Федюк Р.С., канд. техн. наук,¹Мочалов А.В., соискатель,²Лесовик В.С., член-корр. РААСН, д-р техн. наук, проф.,²Гридчин А.М., д-р техн. наук, проф.,³Фишер Х.-Б., Dr.-Ing.¹Дальневосточный федеральный университет²Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова³Баухаус университет Веймара

КОМПОЗИЦИОННЫЕ ВЯЖУЩИЕ И САМОУПЛОТНЯЮЩИЕСЯ ФИБРОБЕТОНЫ ДЛЯ ЗАЩИТНЫХ СООРУЖЕНИЙ

Разработано композиционное вяжущее, полученное совместным помолом (до 550–600 м²/кг): 52,5 % цемента, 31 % золы рисовой шелухи, 10,5 % кварцевого песка и отсева дробления известняка и 6 % гиперпластификатора. Выявлен характер влияния композиционного вяжущего на реологические и физико-механические характеристики самоуплотняющихся бетонных смесей и фибробетонов. Выявлено, что применение разработанного композиционного вяжущего способствует образованию более плотной микроструктуры, при этом четко различимы системы игольчатых и пластинчатых новообразований, заполняющих поры. Это способствует формированию жесткой матрицы с меньшим количеством пор, что и предопределяет повышение прочности при сжатии цементного камня. Применение композиционного вяжущего позволяет повысить физико-механические характеристики бетона, по сравнению с аналогичными составами, изготовленными с применением традиционных вяжущих. Результаты исследований реологических характеристик показали, что все смеси КВ отвечают требованиям текучести и сопротивляемости расслоению для самоуплотняющихся бетонных смесей. Полученные характеристики ударной выносливости разработанных фибробетонов позволяют применять данный материал для защитных сооружений.

Ключевые слова: композиционные вяжущие, техногенное сырье, зола рисовой шелухи, самоуплотняющиеся бетоны, фибробетоны.

Введение. Бетоны для защитных сооружений в связи с участвовавшими природными (в т. ч. глобальным изменением климата) и техногенными (в т. ч. нарастанием международной напряженности и террористическими актами) катастрофами приобретают особую значимость. Для этих бетонов необходим особый набор характеристик – прочность на сжатие, ударная выносливость, трещиностойкость, непроницаемость, удобоукладываемость.

Таким образом, представляется целесообразной разработка перспективных композиционных вяжущих с использованием отходов растениеводства для повышения эффективности самоуплотняющихся фибробетонов на их основе.

В ранее выполненных исследованиях [1–5] были разработаны теоретические основы создания композиционных вяжущих (КВ) с использованием в качестве активных кремнеземсодержащих компонентов отходов мокрой магнитной сепарации железистых кварцитов, отсевов дробления кварцитопесчанника, доменных шлаков, вулканического пепла и др. Однако, вопрос применения новых видов нанодисперсных минеральных добавок, а также принципы их совместимости для обеспечения требуемых эксплуатационных характеристик КВ изучены недостаточно.

Для расширения использования КВ в строительстве необходимо исследование композиций из портландцемента и многокомпонентных тонкодисперсных минеральных и органических добавок для получения требуемых свойств вяжущих и композитов на их основе для защитных сооружений.

В связи с вышеизложенным в работе формулируется рабочая гипотеза о том, что применение золы рисовой шелухи (ЗРШ) в сочетании с портландцементом, кварцевым песком, известняком и эффективными для базового портландцемента гиперпластификатором позволит получить композиционное вяжущее, которое повысит качество высокоподвижной бетонной смеси, в дальнейшем позволит получить высокопрочные бетоны за счет обеспечения повышенного сцепления цементного камня с заполнителем вследствие применения ЗРШ, регулирования поровой структуры, собственных и вынужденных деформаций вследствие применения КВ.

Методология. План исследований приведен на рис. 1.

Минеральный состав исходных компонентов получен путем обработки рентгенограмм методом полнопрофильного количественного анализа.

Гранулометрический состав порошкообразных материалов определяли методом лазерной гранулометрии, позволяющим непосредственно

определять размеры частиц и процент их содержания в анализируемом материале.



Рис. 1. План исследований композиционного вяжущего и бетонов на его основе

Исследование морфологических особенностей микроструктуры проводилось с помощью сканирующего электронного микроскопа Carl Zeiss CrossBeam 1540XB. Дериватограммы образцов были получены на термогравиметрическом анализаторе Shimadzu DTG-60H.

Удельная поверхность вяжущих, а также используемых минеральных добавок измерялась, согласно ГОСТ 310.2-76, с помощью прибора ПСХ-11. Нормальная плотность цементного теста определялась при помощи прибора Вика. Для исследования вязкости бетонных смесей использовали ротационный вискозиметр «НААКЕ RheoStress 600» с измерительной системой FL22 (пропеллерного типа).

Испытания самоуплотняющихся бетонных смесей (СУБС) проводили, как по ГОСТ 10181-2000 «Смеси бетонные. Методы испытаний», так и по международным нормативным документам. Сначала определялся расплыв конуса (мм) и время, затраченное на достижение расплыва стандартного конуса бетонной смеси до диаметра 500 мм (сек), то есть мера скорости.

Далее смеси подвергались следующим тестам:

1. Испытание самоуплотняющейся бетонной смеси в V-образной воронке (V-funnel test).
2. Испытание самоуплотняющейся бетонной смеси в L-образном ящике (L-box).
3. Испытание самоуплотняющейся бетонной смеси в U-образном ящике (U-box).
4. Исследование расслоения смеси с использованием колонки Static Segregation Column Mold–HC-3666.

Основная часть. При получении риса каждый год в качестве отходов складывается около

100 миллионов тонн рисовой шелухи, из которой можно синтезировать почти пятнадцать миллионов тонн аморфного кремнезема. Кроме того, с позиции защиты окружающей среды, утилизация отходов является одной из приоритетных задач. Успешной реализацией этой задачи может служить применение ЗРШ в качестве альтернативного материала при производстве бетонов.

В Институте химии ДВО РАН под руководством Л.А. Земнуховой [7-8] был получен аморфный кремнезем термическим способом и осаждением из рисовой шелухи.

Для достижения цели работы было разработано композиционное вяжущее, полученное совместным помолом следующих компонентов: 60 % цемента, 25 % золы рисовой шелухи, 5 % кварцевого песка, 5 % отсева дробления известняка, 5 % гиперпластификатора (ГП). Композиционное вяжущее измельчалось до 500–900 м²/кг. Вода добавлялась в количестве, необходимом для обеспечения одинаковой подвижности, но из расчета водовяжущего отношения не выше 0,25. Цементный камень изучался в возрасте 1,3,7,28 суток.

В качестве пластифицирующей добавки были оценены шесть наиболее распространенных на Дальнем Востоке России супер- и гиперпластификаторов. Первичные исследования были проведены только для эталонного образца, чистого ЦЕМ I. Результаты исследования текучести показаны на рис. 3. Хотя результаты для Pantarhit PC160, Melflux 5581F и Melflux 1641 F практически аналогичны, все дальнейшие эксперименты были проведены с использованием Pantarhit PC 160, ввиду более низкой стоимости данного продукта.

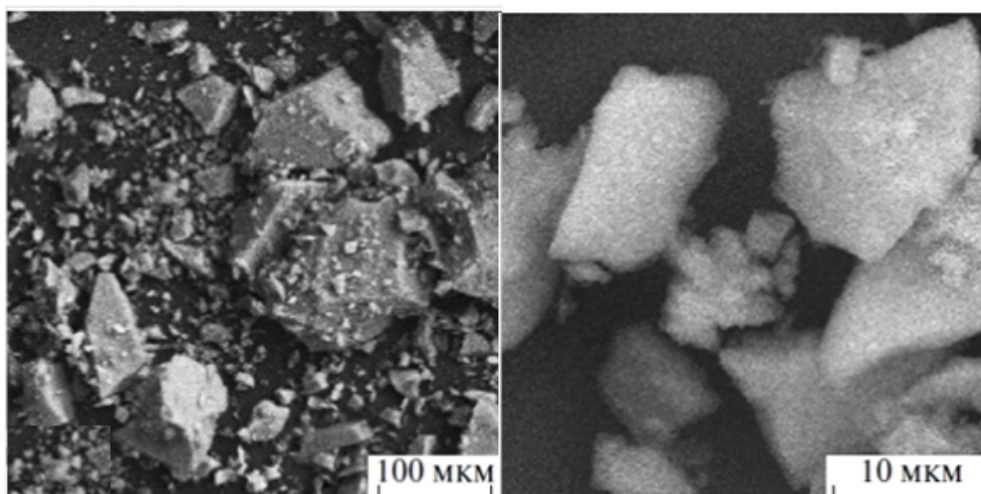


Рис. 2. Микрофотографии образцов аморфного кремнезема

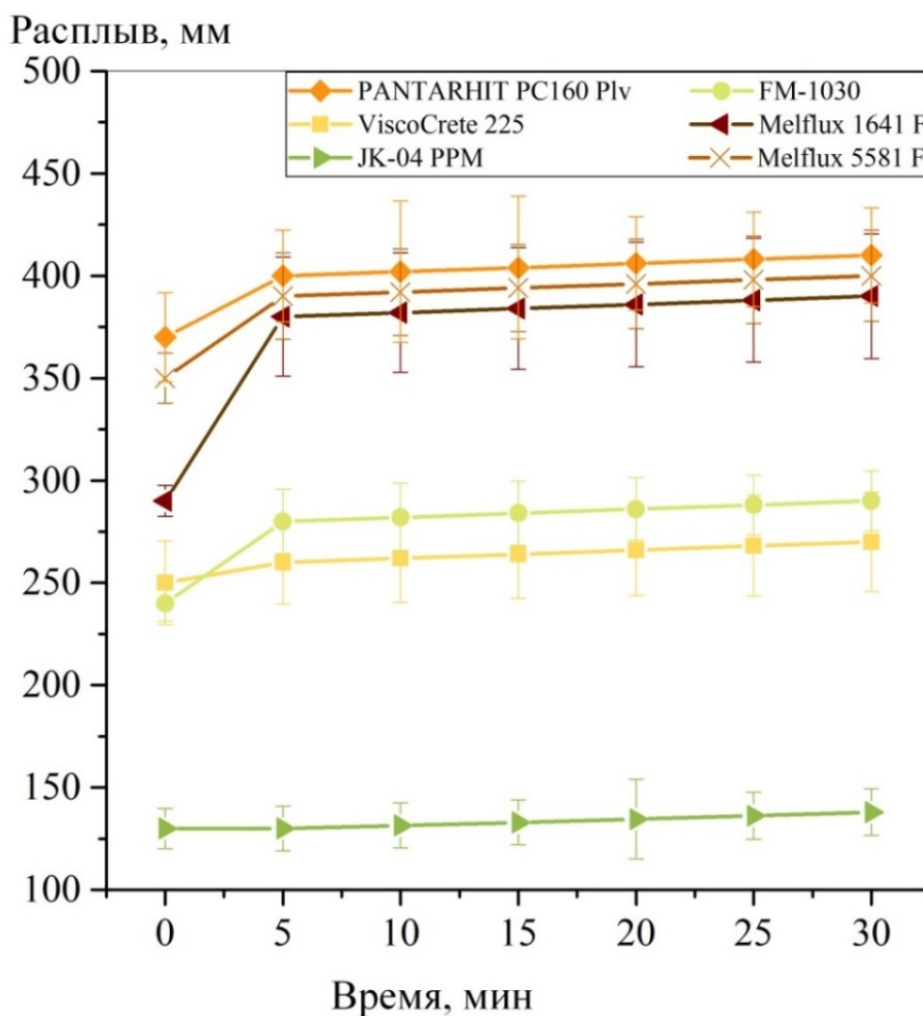


Рис. 3. Расплав цементного теста с различными гиперпластификаторами (каждая точка представляет собой среднее из шести измерений)

С целью определения максимальной эффективности действия ЗРШ на цементный камень было произведено двухфакторное варьирование: первый фактор – оптимальная дозировка (0–30 %), второй фактор – тонкость помола (500–900 м²/кг).

Установлено, наибольший рост прочности (30 %) по сравнению с контрольными образцами наблюдается в присутствии 25 % ЗРШ (рис. 4).

Далее была выявлена почти линейная зависимость требуемого времени помола КВ для достижения различной удельной поверхности в диапазоне от 280 до 900 м²/кг (рис. 5, а).

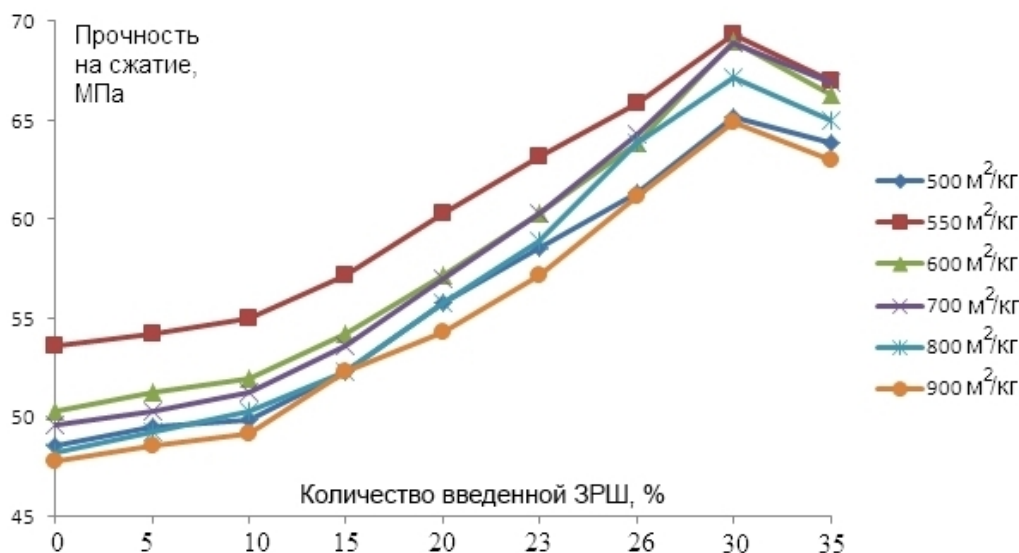


Рис. 4. Влияние золы рисовой шелухи на прочность цементного камня

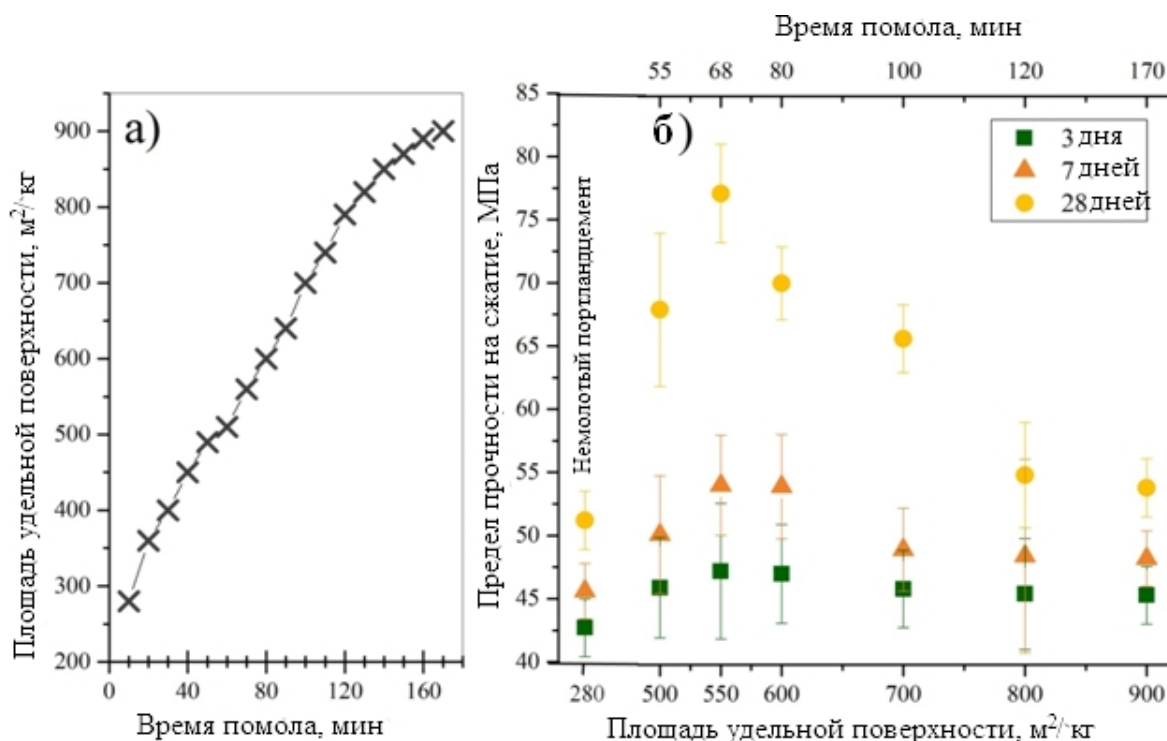


Рис. 5. Зависимость между прочностью на сжатие образцов цементного камня и площадью удельной поверхности КВ. Каждая точка представляет собой среднее из шести измерений

Очевидно, что с этими данными можно прогнозировать требуемое время измельчения для достижения определенной площади поверхности. После измельчения компонентов КВ и измерения площади поверхности, добавляли воду и измеряли прочность на сжатие в возрасте 28 дней. (рис. 5, б.) Максимальная прочность на сжатие была получена при удельной поверхности от 550 до 600 м²/кг. Дальнейшее увеличение этих показателей не приводит к росту прочности, и даже ведет к уменьшению. Это связано с превышением количества тонкодисперсных частиц,

тому что был достигнут предел действия гиперпластификатора, что нами было исследовано ранее [10]. Такое поведение наблюдалось также в изменении вязкости смеси, когда площадь поверхности частиц была выше 600 м²/кг. Ожидается, что увеличение количества гиперпластификатора приведет к созданию бетона с еще большей прочностью на сжатие.

Существенное повышение прочности композита можно объяснить более прочной микроструктурой синтезированных образцов, отсутствием микротрещин и разнообразием новообразований (рис. 6, а).

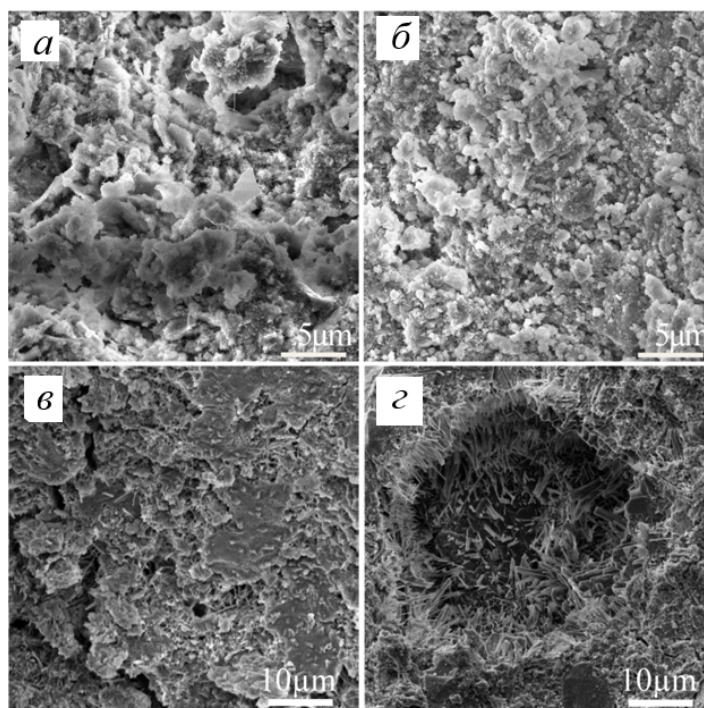


Рис. 6. Микрофотография новообразований (возраст 28 суток): чистый цементный камень (а, в) и цементный камень на разработанном КВ (б, г)

Направления последующих исследований были ориентированы на разработку составов КВ на основе портландцемента, ЗРШ, кварцевого песка, отсева дробления известняка и гиперпластификатора. С этой целью была запланирована матрица, где в качестве факторов варьирования были приняты: количество инертного наполнителя, включающего кварцевую муку и отсев

дробления известняка (7–14 % от массы КВ) и содержание гиперпластификатора (3–9 % от массы смеси КВ).

Выходным параметрам являлся показатель предела прочности при сжатии. В качестве контрольных образцов выступали цементные камни, полученные из следующих вяжущих: чистый портландцемент, портландцемент +ЗРШ, портландцемент + Pantarhit PC-160 (ПЦ+ГП) и КВ (табл. 1).

Таблица 1

Контрольные составы

Вяжущее	Нормальная густота, %	Средняя плотность, кг/м ³	Предел прочности при сжатии, МПа, в возрасте 28 сут.	Процентный прирост предела прочности при сжатии по отношению к чистому портландцементу
ЦЕМ I 42,5 Н	25,9	2269	43,89	–
ПЦ+31 % ЗРШ*	24,4	2359	69,02	57,26
ПЦ+ 6 % ГП	21,6	2431	60,63	38,14
КВ	21,5	2340	71,21	62,25

* - добавки к цементу измельчены до удельной поверхности 550 м²/кг

Анализ полученных результатов показал (табл. 2), что максимальные показатели предела прочности при сжатии характерны для цементного камня с содержанием в вяжущем 52,5 % цемента, 31 % ЗРШ, 10,5 % комплекса инертных наполнителей и 6 % гиперпластификатора. За оптимальный принимаем состав 2-2.

Исследование физико-механических свойств мелкозернистого бетона (табл. 3) показало, что применение КВ позволяет повысить

технические характеристики бетона, по сравнению с аналогичными составами, изготовленными с применением традиционных вяжущих материалов. Данный факт объясняется более плотной структурой цементного камня на разработанном композиционном вяжущем, меньшей пористостью, вследствие меньшего количества воды в бетоне. Наилучшие физико-механические характеристики показал состав 2-2. Следует отметить, что с увеличением количества золы и уменьше-

нием количества цемента для обеспечения равно- подвижности составов (ОК=10-12), необходимо

увеличивать количество введенной в бетонную смесь воды затворения.

Таблица 2

Результаты подбора оптимального состава КВ

№ п/п	Состав КВ				Норм. гу- стота, %	Средняя плот- ность, кг/м ³	редел прочности при сжатии, МПа
	ПЦ	КМ+О ДИ	ЗРШ	ГП			
1-1	58	7	32	3	22,3	2369	62,36
1-2	56	7	31	6	21,6	2372	63,96
1-3	54	7	30	9	20,3	2370	64,21
2-1	54,5	10,5	32	3	22,7	2336	67,36
2-2	52,5	10,5	31	6	21,5	2340	71,21
2-3	50,5	10,5	30	9	20,8	2346	66,39
3-1	51	14	32	3	23,0	2320	63,36
3-2	49	14	31	6	22,1	2323	64,65
3-3	47	14	30	9	22,6	2325	62,11

Таблица 3

Физико-механические характеристики мелкозернистого бетона в зависимости от состава вяжущего

Состав	Расход материалов на 1 м ³				Кубиковая прочность, МПа	Призменная прочность, МПа	Модуль упругости, ГПа
	Цемент, кг	Наполни- тели КВ, кг	Песок, кг	Вода, л			
1-2	646	508	1020	223	73,6	54,0	41,0
2-2	606	548	1020	231	82,6	65,2	55,3
3-2	565	589	1020	236	75,3	50,3	41,3
ЦЕМ I 42,5 Н	545	—	1634	218	62,9	41,8	35,2
ПЦ+31 % ЗРШ*	376	169	1634	241	71,2	52,3	44,0
ПЦ+6 % ГП	512	33	1634	182	65,3	49,2	41,2

* - зола рисовой шелухи измельчена до 550 м²/кг

Для установления оптимального процента армирования мелкозернистого сталефибробетона были заформованы образцы бетона одинакового

состава (2-2) с различным содержанием стальной и базальтовой фибры. (рис. 7)

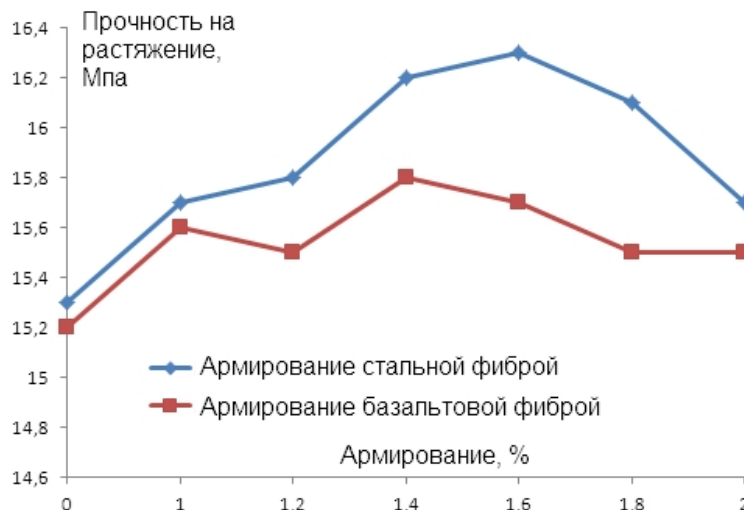


Рис. 7. Зависимость прочности на растяжение фибробетона от процента армирования различными видами фибры

Для определения удобоукладываемости все бетонные смеси были спроектированы таким образом, чтобы иметь расплыв конуса среднего диаметра 680±30 мм, который был достигнут за счет варьирования водовяжущего отношения. Здесь следует отметить, что увеличение содержа-

ния ЗРШ в смесях привело к снижению удобоукладываемости из-за более высокой удельной поверхности частиц золы, что привело к большему водопотреблению для облегчения движения и скольжения частиц друг над другом. Как указывалось, ранее, частицы ЗРШ измельчали, чтобы сделать более благоприятным материалом.

Тем не менее, в ЗРШ все еще есть некоторые неизмельченные или недостаточно измельченные частицы (см. рис. 2), которые являются чрезвычайно пористыми и агломерированными, в то время как частицы портландцемента были плотнее даже чем измельченная ЗРШ. По мере увели-

чения содержания воды увеличивается пористость, что может привести к неблагоприятному влиянию на свойства бетонной смеси (рис. 8). Кроме того, полученные данные показали, что все смеси КВ отвечают требованиям текучести и сопротивляемости расслоению согласно требованиям EFNARC.

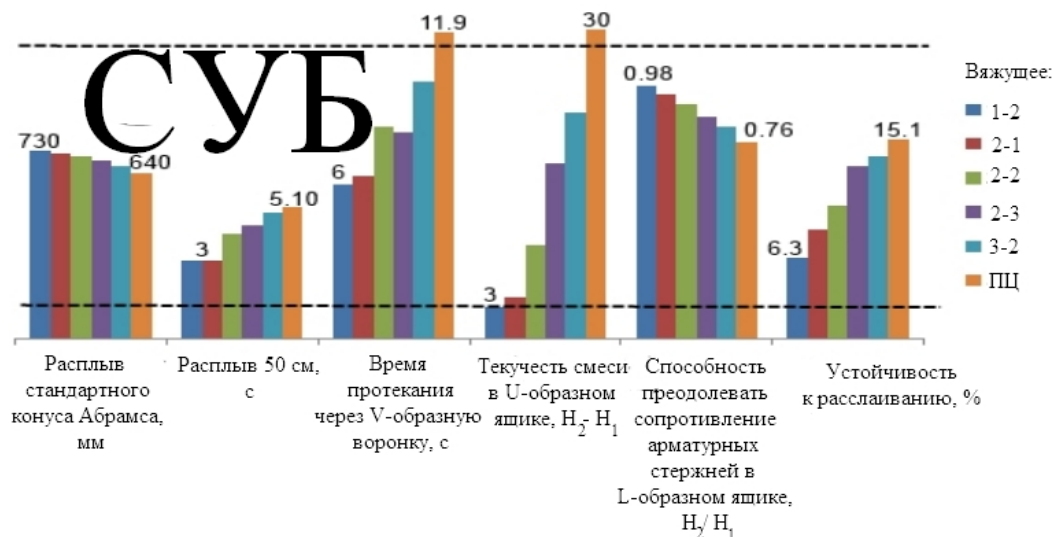


Рис. 8. Результаты исследования реологических характеристик самоуплотняющихся бетонных смесей

Для оценки стойкости фибробетона к удару были выполнены эксперименты по моделированию ударного воздействия на защитное сооружение. В качестве ударника использовался стальной цилиндр, который разгонялся в поддоне газовой пушкой калибра 20 мм с затвором диафрагменного типа. В качестве рабочего газа использовался воздух и гелий. При исследовании ударной выносливости фибробетона, армированного различными видами фибры были получены результаты, давшие 1600–1700 ударов до разрушения при 1,4–1,6 % армирования, что на 25–30 % больше по сравнению с контрольными образцами.

Выводы. Таким образом, в ходе проведения исследований было разработано композиционное вяжущее и самоуплотняющиеся фибробетоны на его основе. Применение данного композиционного вяжущего позволяет повысить эффективность самоуплотняющихся фибробетонов по различным физико-механическим и эксплуатационным характеристикам.

В частности, кубиковая прочность, призмная прочность и модуль упругости фибробетона были повышены на 50–60 %, а предел прочности на растяжение увеличен на 42 % по сравнению со стандартным железобетоном. При этом, реологические характеристики разработанных фибробетонных смесей, позволяют отнести эти смеси к классу самоуплотняющихся.

Полученные характеристики ударной выносливости разработанных фибробетонов (на 25–

30 % выше аналогичных характеристик для стандартных железобетонов) позволяют применять данный материал для защитных сооружений.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ranjbar N, Kuenzel C. Cenospheres: A review. Fuel. № 207. 2017.
2. Лесовик В.С. Геоника. Предмет и задачи. Белгород. Изд-во БГТУ. 2012. 219 с.
3. Трунов П.В., Алфимова Н.И., Лесовик В.С., Погапов В. В., Шадский Е.Е. К вопросу об использовании вулканического сырья Камчатки в качестве минеральной добавки // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2014. №4. С. 85–90
4. Гридчин А.М., Лесовик Р.В., Агеева М.С. Мелкозернистые бетоны для дорожного строительства на основе техногенного сырья. М., Белгород. Изд-во БГТУ, 2009. 104 с.
5. Lesovik R.V., Ageeva M.S., Shakarna M. Efficient binding using composite tuffs of the middle east // World Applied Sciences Journal. 2013. Т. 24. № 10. С. 1286–1290.
6. Баландин В.В. Установка для исследования процессов высокоскоростного соударения // Проблемы прочности и пластичности. №75 (3). 2013. С. 232–237.
7. Земнухова Л.А., Панасенко А.Е., Цой Е.А., Федорищева Г.А., Шапкин Н.П., Артемьянов А.П., Майоров В.Ю. Состав и строение образцов аморфного кремнезема // Неорганические материалы. Т. 50. № 1. 2014. С. 82–89.

8. Земнухова Л.А., Бабушкина Т.А., Климова Т.П., Холмейдик А.Н. Пористая структура образцов аморфного кремнезёма разного происхождения по данным ЯМР ^1H // Журнал прикладной химии. 2010. Т. 83. № 2. С. 203–206.

9. Земнухова Л.А., Егоров А.Г., Федорищева Г.А. и др. Свойства аморфного кремнезема, полученного из отходов переработки риса и овса // Неорганические материалы. 2006. Т. 42. № 1. С. 27–32.

10. Федюк Р.С. Повышение непроницаемости фибробетонов на композиционном вяжущем: дисс. ...к.т.н. Улан-Удэ, 2016.

11. Федюк Р.С., Смоляков А.К., Тимохин Р.А. Строительные материалы для войсковой фортификации // XVIII Всероссийская научно-практическая конференция молодых ученых, аспирантов и студентов в г. Нерюнгри, с международным участием, посвященной 25-летию со дня образования Технического института (филиала) СВФУ Материалы конференции. Секции 1-3. 2017. С. 109–113.

Информация об авторах

Федюк Роман Сергеевич, кандидат технических наук, доцент Отдела подготовки инженерных войск Учебного военного центра при ДВФУ.

E-mail: roman44@yandex.ru

Дальневосточный Федеральный университет
690001, г. Владивосток, ул. Экипажная, 18

Мочалов Александр Викторович, соискатель.

E-mail: roman44@yandex.ru

Дальневосточный Федеральный университет
690001, г. Владивосток, ул. Экипажная, 18

Лесовик Валерий Станиславович, доктор технических наук, профессор.

E-mail: naukavs@mail.ru

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.
Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Гридчин Анатолий Митрофанович, доктор технических наук, профессор.

E-mail: prezident@intbel.ru

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.
Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Фишер Ханс-Бертрам, доктор-инженер.

E-mail: hans-bertram.fischer@uni-weimar.de

Баухауз-Университет Ваймар.
Германия, 899423, Веймар, Geschwister-Scholl-Straße 8.

Поступила в апреле 2018 г.

© Федюк Р.С., Мочалов А.В., Лесовик В.С., Гридчин А.М., Фишер Х.-Б., 2018

R.S. Fedyuk, A.V. Mochalov, V.S. Lesovik, A.M. Gridchin, H.-B. Fisher COMPOSITE BONDING AND SELF-FITTING FIBROBETONS FOR PROTECTIVE FACILITIES

A composite binder was prepared, obtained by joint grinding (up to 550–600 m²/kg): 52.5 % of cement, 31 % of rice husks, 10.5 % of quartz sand and screening of limestone and 6 % of hyperplasticizer. The nature of the effect of composite binder on the rheological and physico-mechanical characteristics of self-compacting concrete mixtures and fiber-reinforced concrete has been revealed. It has been revealed that the use of the developed composite binder promotes the formation of a denser microstructure, while the needle and lamellar neoplasms filling the pores are clearly distinguishable. This contributes to the formation of a rigid matrix with a smaller number of pores, which predetermines the increase in strength when compressing cement stone. The use of composite binder allows to increase physical and mechanical characteristics of concrete, in comparison with similar compositions made with the use of traditional binders. The results of studies of rheological characteristics showed that all mixtures of HF meet the requirements of fluidity and resistance to delamination for self-compacting concrete mixtures. The obtained characteristics of shock endurance of the developed fiber-reinforced concrete allow using this material for protective structures.

Keywords: composite astringents, technogenic raw materials, rice husks, self-compacting concretes, fiber-reinforced concrete.

REFERENCES

1. Ranjbar N., Kuenzel C. Cenospheres: A review. *Fuel*. № 207. 2017.
2. Lesovik V.S. *Geonics. Subject and tasks*. Belgorod: BGTU. 2012, 213 p.
3. Trunov P.V., Alfimova N.I., Lesovik V.S., Potapov V.V., Shadsky E.E. On the use of volcanic raw materials of Kamchatka as a mineral additive. *Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov*, 2014, no. 4, pp. 85–90.
4. Gridchin A.M., Lesovik R.V., Ageeva M.S. *Melkozernistye betony dlya dorozhnogo stroitel'stva na osnove tekhnogenogo syr'ya : monografiya*. M., Belgorod. Izd-vo BGTU, 2009. 104 p.
5. Lesovik R.V., Ageeva M.S., Shakarna M. Efficient binding using composite tuffs of the middle east. *World Applied Sciences Journal*, 2013, vol. 24, no. 10, pp. 1286–1290.
6. Balandin V.V. A setup for investigating the processes of high-velocity collision. *Problems of Strength and Plasticity*, 2013, no.75 (3), pp. 232–237.
7. Zemnukhova L.A., Panasenko A.E., Tsoy E.A., Fedorischeva G.A., Shapkin N.P., Artemyanov A.P., Mayorov V.Yu. Composition and structure of samples of amorphous silica. *Inorganic materials*, 2014, vol. 50, no. 1, pp. 82–89.
8. Zemnukhova L.A., Babushkina T.A., Klimova T.P., Kholomedik A.N. Porous structure of samples of amorphous silica of different origin according to NMR 1H. *Journal of Applied Chemistry*, 2010, vol. 83, no. 2, pp. 203–206.
9. Zemnukhova L.A., Egorov A.G., Fedorischeva G.A. et al. Properties of Amorphous Silica, Obtained from Waste from Processing Rice and Oat. *Inorganic Materials*, 2006, vol. 42, no. 1, pp. 27–32.
10. Fediuk R.S. Increase of impermeability of fiber-reinforced concrete on composite binder: diss. Ph.D. Ulan-Ude, 2016.
11. Fediuk R.S., Smoliakov A.K., Timokhin R.A. Building materials for military fortification // XVIII All-Russian scientific-practical conference of young scientists, graduate students and students in Neryungri, with international participation, dedicated to the 25th anniversary of the formation of the Technical Institute (branch) NEFU Conference proceedings. Sections 1-3. 2017, pp. 109–113.

Information about the author

Roman S. Fediuk, PhD, Assistant professor.
E-mail: roman44@yandex.ru
Far Eastern Federal University.
Russia, 690001, Vladivostok, st. Crew, 18.

Alexander V. Mochalov, applicant.
E-mail: roman44@yandex.ru
Far Eastern Federal University.
Russia, 690001, Vladivostok, st. Crew, 18

Valery S. Lesovik, DSc, Professor.
E-mail: naukavs@mail.ru
Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov.
Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Anatoly M. Gridchin, DSc, Professor
E-mail: prezident@intbel.ru
Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov.
Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Hans-Bertram Fischer, Dr.-Ingenieur
E-mail: hans-bertram.fischer@uni-weimar.de
Bauhaus-Universität Weimar.
Germany, 899423, Weimar, Geschwister-Scholl-Straße 8.

Received in April 2018

Для цитирования:

Федюк Р.С., Мочалов А.В., Лесовик В.С., Гридчин А.М., Фишер Х.-Б. Композиционные вяжущие и самоуплотняющиеся фибробетоны для защитных сооружений // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2018. №7. С. 71–76. DOI: 10.12737/article_5b4f02bf93df52.30110991.

For citation:

Fedyuk R.S., Mochalov A.V., Lesovik V.S., Gridchin A.M., Fisher H.-B. Composite bonding and self-fitting fibrobetons for protective facilities. *Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov*, 2018, no.7, pp. 71–76. DOI: 10.12737/article_5b4f02bf93df52.30110991.