

Савич М.Л., аспирант

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

## КОМПОЗИЦИОННОЕ ВЯЖУЩЕЕ ДЛЯ ФИБРОБЕТОНА НА СЫРЬЕВЫХ РЕСУРСАХ СЕРБИИ

Msl.msl@rambler.ru

Центрально европейский регион является одним из перспективных в отношении стройиндустрии. Учитывая климатические и геологические условия, особенности сырьевой базы и геоморфологию территории, производство материалов и строительство в государствах этого региона имеют свои особенности. В Сербии в настоящее время существенно возросли объемы строительства, значительное количество зданий и сооружений нуждается в ремонте и восстановлении.

Поэтому, разработка эффективных составов фибробетонов на композиционных вяжущих, управление процессами структурообразования, гранулометрией заполнителей и синтезом гидросиликатов и гидроалюминатов кальция позволит решить проблемы строительства в Сербии.

Важное значение имеет применение органоминеральных модификаторов, получаемых на основе обычного цемента, местных сырьевых материалов, структурированных нанодисперсными частицами минеральных веществ. Их применение приводит к значительному повышению реологических характеристик формовочной смеси и строительно-технических свойств полученного фибробетона, существенно увеличивает сроки службы конструкций и их долговечность.

**Ключевые слова:** мелкозернистый фибробетон, композиционные вяжущие, наноструктурированный модификатор.

**Введение.** Композиционные вяжущие (КВ) – это продукт механохимической активации в определенных условиях портландцемента или вяжущего другого вида совместно с добавками-модификаторами, имеющими в своем составе компонент или компоненты, обеспечивающие водоредуцирующий эффект. Их получают добавлением к главному вяжущему компоненту (цементу) специальных веществ, в определенных соотношениях повышающих активность, улучшающих реологические свойства цементного теста, значительно увеличивающих прочностные показатели и другие свойства вяжущего и бетона на его основе. Приготовленное на его основе цементное тесто дает возможность получить плотнейшую структуру бетона при повышенной прочности. Снижение нормальной плотности цементного теста достигается введением в его состав пластифицирующих добавок. В результате взаимодействия добавленных компонентов с минералов цементного клинкера в процессе механохимического воздействия и измельчения материал приобретает, специфические свойства, отличающие его от обычного портландцемента [1–20 и др.]

Одним из способов повышения эксплуатационных свойств фибробетона является оптимизация его структуры и разработка методов управления структурообразованием при твердении. В работах отечественных ученых, выполненных ранее, недостаточно уделено внимание созданию в Сербии высокоэффективных добавок-модификаторов, которые на микро- и нано уровне создают высокую упорядоченность элементов структуры композиционного материала.

Мало внимания также уделяется адгезионным процессам цементного камня с фиброволокном в бетонах, и их влиянию на твердение композиционных вяжущих с применением местных материалов государства Сербия.

Разработка составов фибробетона нового поколения невозможна без получения сложных составов вяжущих веществ [21–27 и др.].

Теоретический анализ и практическая апробация позволили перейти к углубленному изучению способов оптимизации структуры и свойств цементного камня и фибробетона на сырьевых материалах Сербии, а также разработке композиционного вяжущего на их основе.

Специфика их генезиса, техногенная обработка дают эффект активизации горной породы, как потенциального сырья для производства строительных материалов. Процесс активизации приводит к увеличению степени дефектности кристаллической решетки породообразующих минералов, а также к некоторой аморфизации породы и ее структурных зерен с частичной или полной деструкцией и увеличением удельной поверхности.

Реакционная способность частиц цеолита при их деструкции значительно повышается вследствие возрастания неупорядоченности (энтропии) пространственных решеток. Аналогичное явление характерно и тонкодисперсного кварца с коррозированной поверхностью. Между тем и то, и другое явления обусловлены соответствующим генезисом пород, а производственный эффект выражается сокращением в 2–3 раза продолжительности твердения смеси при получении бетона.

С целью получения таких вяжущих был проведен ряд испытаний по следующей методике: сначала разрабатывали вяжущие композиции, состоящие из оптимального соотношения гидравлического вяжущего (цемента) и наноструктурированного модификатора (НСМ), который получали на основе сырьевых материалов месторождений Сербии.

**Методология.** Наноструктурированный модификатор был получен путем помола цеолита, отсева дробления известняка, кварцевого песка, цемента и суперпластификатора в количествах, определенных расчетом. Повышенные строительно-технические свойства мелкозернистого бетона на макроуровне обеспечивали

плотнейшей упаковкой частиц заполнителя и композиционного вяжущего. Предложенные принципы совершенствования структуры мелкозернистого бетона позволили увеличить прочность при сжатии на 35–40 %.

Характеристики цемента Type ЦЕМ I 42,5 R фирмы Хольсим в с. Поповци (Сербия) имеют близкие по значению показатели химического и минерального состава продукции ЗАО «Белгородский цемент». Поэтому для изготовления опытных образцов применяли товарный цемент ЗАО «Белгородский цемент» марки ЦЕМ I 42,5Н. Химический состав и основные строительно-технические показатели цемента с их пределами варьирования приведены в таблице 1.

Таблица 1

Химический состав цемента

Марка цемента	Химический состав, % по массе								
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	R <sub>2</sub> O	CaO <sub>св</sub>	ппп
ЦЕМ I 42,5Н	22,49	4,77	4,40	67,22	0,43	2,04	0,20	0,20	1,5

**Основная часть.** В качестве мелкого заполнителя фибробетона и компонента НСМ использовали цеолит месторождения Златокоп, расположенного в Сербии.

Цеолиты – большая группа близких по составу и свойствам минералов, водные алюмосиликаты кальция и натрия из подкласса каркасных силикатов, со стеклянными или перламутровым блеском, известных своей способностью отдавать и вновь поглощать воду в зависимости от температуры и влажности. Другим важным свойством цеолитов является способность к ионному обмену – они способны селективно выделять и вновь впитывать различные вещества, а также обменивать катионы.

Кристаллическая структура цеолитов природных и искусственных образована тетраэдри-

ческими группами SiO<sub>2/4</sub> и AlO<sub>2/4</sub>, объединенными общими вершинами в трехмерный каркас, пронизанный полостями и каналами (окнами) размером 2–15 Å.

В качестве второго компонента НСМ использовали известняк месторождения Елен До, образовавшийся в результате химической реакции, в которой выделяется нерастворимый в воде карбонат кальция:



Третьим компонентом НСМ является песок кварцевый месторождения ОкоLINE Уба. Песок крупнозернистый кварцевый (фракция 0,1-4,0 мм). Химический состав песка представлены в таблице 2.

Таблица 2

Химический состав кварцевого песка

SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	TiO <sub>2</sub>	Ka <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O
97,5–99,0	0,25–1,00	0,10–0,50	<0,15	<0,06	0,05–0,10	0,25	0,04

Результаты проведенных испытаний образцов композиционного вяжущего с НСМ показали соответствие теоретическим представлениям (табл. 3). Заполнителем служил кварцевый песок месторождения ОкоLINE Уба (Сербия). В качестве полимера использовали «Полипласт СП-1», состоящий из смеси натриевых солей продуктов конденсации нафталинсульфокислот с формальдегидом, лигносульфонатом и сульфатом натрия, удовлетворяющий требованиям ТУ 6-36-0204229-625, по своим свойствам аналогичного суперпластификатору ASTM C494 – Type A, применяемому в Сербии. Соотношение компонентов НСМ цеолит:песок:известняк – 2:1:1.

Существенное увеличение прочностных показателей объясняется высокой свободной внутренней энергией компонентов НСМ, а также более интенсивным образованием новых гидратных минералов в присутствии добавки модификатора.

Образцы данного состава с общим содержанием добавки НСМ 5 % показали наибольший прирост прочности при сжатии в 28-суточном возрасте – 34,3 %. Дальнейшее увеличение содержания НСМ не целесообразно, т.к. не приводит к значительному приросту прочности.

Состав разработанного композиционного вяжущего является предметом НОУ-НАУ.

Таким образом, определено оптимальное содержание НСМ в комплексном вяжущем и получен оптимальный состав КВ.

Таблица 3

### Прочность КВ с различным процентным содержанием НСМ

№ п/п	Состав вяжущего	Предел прочности при сжатии, МПа	Прирост прочности, %
1	Потрландцемент (Ц)	42,3	–
2	Ц+0,3 % полимера	45,1	6,6
3	Ц+0,3 % полимера +1 % НСМ	49,8	17,7
4	Ц+0,3 % полимера +3 % НСМ	56,5	33,6
5	Ц+0,3 % полимера +5 % НСМ	56,8	34,3
6	Ц+0,3 % полимера +7 % НСМ	56,9	34,5

**Выводы.** В статье рассмотрены аспекты проектирования состава и технологии изготовления композиционного вяжущего с наноструктурированным модификатором на основе исходных материалов из минерального сырья Сербии. Изложены результаты определения строительно-технических характеристик цементного камня и бетона на композиционном вяжущем с комплексной тонкодисперсной добавкой. Установлена возможность применения сырьевых материалов Сербии для изготовления строительных изделий и конструкций.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Толстой А.Д., Лесовик В.С., Алфимова Н.И., Агеева М.С., Ковалева И.А., Баженова О.Г., Новиков К.Ю. К вопросу использования техногенного сырья в производстве порошковых бетонов на композиционных вяжущих // Энерго- и ресурсосберегающие экологически чистые химико-технологические процессы защиты окружающей среды: III Междунар. науч.-тех. конф., Белгород, 24-25 ноября 2015 г. Белгород, 2015. Ч.3. 384–390

2. Лесовик В.С., Загороднюк Л.Х., Чулкова И.Л., Толстой А.Д., Володченко А.А. Сродство структур как теоретическая основа проектирования композитов будущего // Строительные материалы. 2015. № 9. С.18–22.

3. Толстой А.Д., Лесовик В.С., Ковалева И.А. Композиционные вяжущие для порошковых бетонов с промышленными отходами // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2016. № 1. С. 6–9.

4. Толстой А.Д., Лесовик В.С., Ковалева И.А. Органогенные высокопрочные композиции // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2014. № 5. С. 67–69.

5. Толстой А.Д., Лесовик В.С., Ковалева И.А., Якимович И.В., Лукутцова Н.П. Высокопрочные материалы для декоративных целей // Промышленное и гражданское строительство. 2014. № 8. С 51–53.

6. Tolstoi A.D., Lesovik V.S., Kovaleva I.A. High-Strength Decorative Complexes with Organo-

Mineral Additives Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. – September-October 2014 RJPBCS 5(5) Page No 1607.

7. Tolstoj A.D., Lessowik W.S., Kowaljowa I.A. Pulverbetone auf Kompositbindemitteln mit der Verwendung von Industrieabfällen // 19 Internationale Baustofftagung. 16-18 September. 2015. Weimar. Band 2. P 997-1000.

8. Лесовик В.С., Савин А.В., Алфимова Н.И., Шадский Е.Е. Перспективы применения композиционных вяжущих при производстве железобетонных изделий // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2014. №5 (88) С. 95–99

9. Lesovik V.S., Alfimova N.I., Savin A.V., Ginzburg A.V., Shapovalov N.N. Assessment of passivating properties of composite binder relative to reinforcing steel // World Applied Sciences Journal. 2013. 24 (12). 1691–1695

10. Лесовик В.С., Савин А.В., Алфимова Н.И. Гинзбург А.В. Оценка защитных свойств бетонов на композиционных вяжущих по отношению к стальной арматуре // Строительные материалы. 2013. №7 С. 56–58.

11. Lesovik V.S., Ageeva M.S., Mahmoud Ibrahim Husni Shakarna, Allaham Yasser Seyfiddinovich, Belikov D. A. Efficient binding using composite tuffs of the Middle East // World Applied Sciences Journal. 2013. №24 (10). Pp. 1286–1290.

12. 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.

13. Алфимова Н.И., Вишневецкая Я.Ю., Трунов П.В. Композиционные вяжущие и изделия с использованием техногенного сырья: монография. Saarbrücken. Изд-во LAP LAMBERT. 2013. 129 с.

14. Алфимова Н.И., Трунов П.В., Шадский Е.Е. Модифицированные вяжущие с использованием вулканического сырья: монография. Saarbrücken: Изд-во LAP LAMBERT Academic Publishing. 2015. 133 с.

15. Lesovik V. S., Alfimova N.I., Trunov P.V. Reduction of energy consumption in manufacturing

the fine ground cement // Research Journal of Applied Sciences. 2014. V. 9. (11). P. 745–748.

16. Alfimova N.I., Sheychenko M.S., Karatsura S.V., Yakovlev E.A., Kolomatskiy A.S., Shapovalov N.N. Features of application of high-technogenic raw materials as a component of composite binders // Research Journal of Applied Sciences. 2014. V. 9 (11). P. 779–783.

Алфимова Н.И., Трунов П.В. Продукты вулканической деятельности как сырье для производства композиционных вяжущих // Сухие строительные смеси. 2012. №1. С 37–38.

. Лесовик Р.В., Алфимова Н.И., Ковтун М.Н., Ластовецкий А.Н. О возможности использования техногенных песков в качестве сырья для производства строительных материалов\* // Региональная архитектура и строительство. 2008. № 2. С. 10–15.

19. Лесовик Р.В., Алфимова Н.И., Ковтун М.Н. Стеновые камни из мелкозернистого бетона на основе техногенного сырья // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2007. № 11. С. 46–49.

20. Вешнякова Л.А., Айзенштадт А.М., Елистраткин М.Ю. Поверхностная активность высокодисперсных кремнеземсодержащих компонентов композиционного вяжущего // В сборнике: Научные технологии и инновации Юбилейная Международная научно-практическая конференция, посвященная 60-летию БГТУ им. В.Г. Шухова (XXI научные чтения). 2014. С. 69–72.

. Клюев С.В., Лесовик Р.В., Клюев А.В.

Фибробетон на техногенном песке КМА и композиционные вяжущие для промышленного и гражданского строительства: монография. Белгород. Изд-во БГТУ. 124 с.

22. Лесовик Р.В., Клюев А.В., Клюев С.В. Мелкозернистый сталефибробетон на основе техногенного песка для получения сборных элементов конструкций // Технологии бетонов. 2014. № 2 (91). С. 44–45.

Клюев С.В., Лесовик Р.В. Дисперсно армированный мелкозернистый бетон с использованием полипропиленового волокна Бетон и железобетон. 2011. № 3. С. 7–9.

Лесовик Р.В., Клюев С.В. Фибробетон на композиционных вяжущих и техногенных песках курской магнитной аномалии для изгибаемых конструкций // Инженерно-строительный журнал. 2012. Т. 29. № 3. С. 41–47.

Лесовик Р.В., Клюев С.В. Мелкозернистый сталефибробетон на техногенных песках // Бетон и железобетон. 2013. № 5. С. 27–30.

Лесовик Р.В., Клюев С.В., Клюев А.В., Нетребенко А.В. К проблеме использования техногенных песков курской магнитной аномалии для производства мелкозернистого фибробетона и изделий на его основе // Промышленное и гражданское строительство. 2014. № 12. С. 45–48.

Клюев С.В., Лесовик Р.В. Стеклофибробетон на техногенных песках кмаи композиционных вяжущих // Технологии бетонов. 2012. № 11-12 (76-77). С. 68–69.

**Savic M.L.**

## COMPOSITE BINDER FOR FIBER-REINFORCED CONCRETE WITH RAW MATERIALS OF SERBIA

*Central European region is one of the most promising in relation to the construction industry. Given the climatic and geological conditions, especially the raw material base and geomorphology of the territory, the production of materials and construction in the States of the region has its own characteristics. In Serbia, currently have significantly increased the volume of construction, a large number of buildings in need of repair and restoration.*

*Thus, the development of effective formulations of fiber-reinforced concrete with composite binders, process management of structure formation, particle size of the aggregates and the synthesis of calcium silicate and hydro aluminate will solve the problems of building in Serbia.*

*Important is the use of organic-mineral modifier obtained on the basis of ordinary cement, local raw materials and minerals structured with the monodisperse particles. Their use leads to a significant increase in rheology of the moldable mixture, construction and technical properties of the resulting fiber-reinforced concrete, significantly increases the life of the structure and their durability.*

**Key words:** *fine grained fibrous concrete, composite binder, nano-modifier.*

**Савич Милош Любичевич**, аспирант кафедры строительного материаловедения, изделий и конструкций.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.

Адрес: Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

E-mail: shapovalov@mail.ru