

РАЗДЕЛ II

СТРОИТЕЛЬСТВО.

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

УДК 666.965

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЦЕМЕНТНЫХ ВЯЖУЩИХ С АКТИВНЫМ МИНЕРАЛЬНЫМ НАНОДИСПЕРСНЫМ КОМПОНЕНТОМ

Е.В. Войтович¹, И.Л. Чулкова², Е.В. Фомина¹, А.В. Череватова¹

¹БГТУ им. В.Г. Шухова, Россия, г. Белгород;

²ФГБОУ ВПО «СибАДИ», Россия, г. Омск.

Аннотация. В работе исследовано влияние минерального нанодисперсного кремнеземсодержащего компонента на активность цементных вяжущих различных производителей. Предложен способ его введения в сырьевую смесь вяжущего. Различия в химическом составе цементов отражаются на особенностях взаимодействия с нанодисперсным компонентом. Оптимизация количества, особенности введения нанодисперсного компонента в цементную систему и условия твердения вяжущего позволяют регулировать его активность, способствуют интенсификации процессов гидратации клинкерных минералов, а так же связыванию портландита в дополнительное количество гидросиликатов кальция C-S-H, что в свою очередь приводит к упрочнению матричной структуры цементного камня. В комплексе повышение эффективности цементного вяжущего достигается за счет снижения количества клинкерной составляющей до 20% при максимальном повышении прочности композита до 20%.

Ключевые слова: нанодисперсность, вяжущее, эффективность, портландцемент, кварцевый песок, фазо- и структурообразование.

Введение

Современные тенденции производства строительных материалов направлены на проектирование высокоэффективных технологий создания вяжущих композитов с применением прогрессивных подходов и материалов. Одним из эффективных способов повышения качества вяжущего является получение композиционных вяжущих веществ с применением активных минеральных компонентов различного генезиса и дисперсности [1-4]. Подобные приемы направлены на решение задач увеличения объема гидравлических вяжущих, сокращения расхода клинкерной составляющей и получения материалов с новыми свойствами и с заранее заданной структурой. При этом в числе достигаемых эффектов отмечается связывание $\text{Ca}(\text{OH})_2$ в дополнительное количество низкоосновных гидросиликатов кальция, позитивные изменения в соотношениях капиллярных и гелевых микропор, интенсификация ранней гидратации, регулирование температурных и объемных изменений в твердеющих композициях [5]. Весьма перспективным направлением

качественного изменения структуры композита является модификация их нанодисперсными материалами [6-9]. Нанотехнологические подходы модифицирования вяжущих позволяют направлено изменять физико-химические процессы при твердении вяжущего, улучшать физико-механические и придавать совершенно новые свойства готового строительного изделия. В связи с этим существует необходимость расширения комплекса исследований и применения при создании новых и совершенствования существующих технологий с применением нанотехнологической продукции. В настоящее время накоплен большой опыт применения различных типов нанодисперсных и наноструктурированных компонентов в вяжущих системах строительного назначения. Широко освещена в научной литературе эффективность применения наноструктурированного вяжущего (НВ) [10,11]. Это вяжущее полимеризационного типа твердения с существенной функционально структурообразующей ролью наносистемной компоненты, получаемое по технологии высококонцентрированных вяжущих систем. Специ-

фика технологии и структуры НВ позволяет использовать в качестве основного сырьевого компонента широкий спектр кремнеземсодержащих пород. В связи с этим произведены исследования горных пород различных генетических типов с учетом степени локализации залежей кремнеземсодержащих сырьевых материалов в различных регионах РФ с учетом возможного производства данного вяжущего [12]. Определены методы испытаний наиболее близкие для данных вяжущих систем, и предложена концепция мониторинга их свойств, отражающая последовательность регулирования основных параметров, их синтеза и определяющих качество конечного продукта с их использованием [13]. В тоже время, в некоторых регионах РФ отсутствует достаточная сырьевая база для производства портландцемента, и в целях экономии дорогостоящего клинкера добавляют различные виды местного техногенного сырья отходов

производств, что в свою очередь влияет на состав получаемого вяжущего.

Целесообразность данного исследования связана с изучением влияния минерального нанодисперсного компонента на фазо-и структурообразующую активность цементных вяжущих.

Особенности модифицирования цементного вяжущего минеральным нанодисперсным компонентом

Применяемый в работе минеральный нанодисперсный компонент (НК) представляет собой неорганическую полидисперсную, минеральную вяжущую систему, имеющую преимущественно силикатный состав и обладающую высокой концентрацией активной твердой фазы, с содержанием нанодисперсной составляющей в количестве 5–10% [4]. Данное вяжущее получено путем помола кварцевого песка по мокрому способу в шаровой мельнице. Основные свойства минерального НК представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Основные свойства минерального нанодисперсного компонента

№ п/п	Показатель	Единица измерения	Норма	Свойства
1	Предел прочности при сжатии	МПа	Не менее 3	4,5
2	Предел прочности при изгибе	МПа	Не менее 1,5	2,5
3	Плотность	кг/м ³	2000–2250	2140
4	Дисперсность (остаток на сите № 0,0063)	%	Не белее 1	0,89
5	Вязкость	Па·с	Не более 25	16,3
6	рН среды	рН	7–10	8
7	Влажность	%	14–20	14,5

С целью изучения влияния НК на активность цементных вяжущих, исследования выполняли на самой востребованной марки цемента ЦЕМ I 42,5 Н ГОСТ 31108-2003 «Белгородский цемент» г. Белгород и ОАО «Сухоложскцемент» г. Омск. При производстве

Белгородского цемента при помоле клинкера не вводят добавок, в случае с Сухоложским цементом при помоле клинкера добавляют ультракислую золу до 19%, полученную при сжигании Экибастузских углей, что отражается на химическом составе цемента (табл. 2).

Таблица 2 – Химический состав цемента

Производитель	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	CaO _{св}	RO ₂	ппп
«Сухоложскцемент», Омск	28,03	8,57	4,75	54,74	2,25	0,51	0,02	1,13	1,02
«Белгородский цемент», Белгород	22,49	4,77	4,40	67,44	0,44	2,00	0,29	0,62	0,23

С целью получения однородной сырьевой смеси в работе был разработан оптимальный способ введения НК в состав вяжущего. Предварительно НК смешивали с общим количеством воды для затворения вяжущего и в виде суспензии вводили в цементно-песчаное вяжущее. Данный способ позволяет избежать агрегации нанодисперсных частиц. Так как НК

в исходном состоянии находится в виде суспензии, что не позволяет его предварительное введение как в цемент так в цементно-песчаную смесь (что характерно для большинства других вводимых компонентов смеси). Данный способ получения вяжущего позволяет равномерно ввести НК по всему объему смеси.

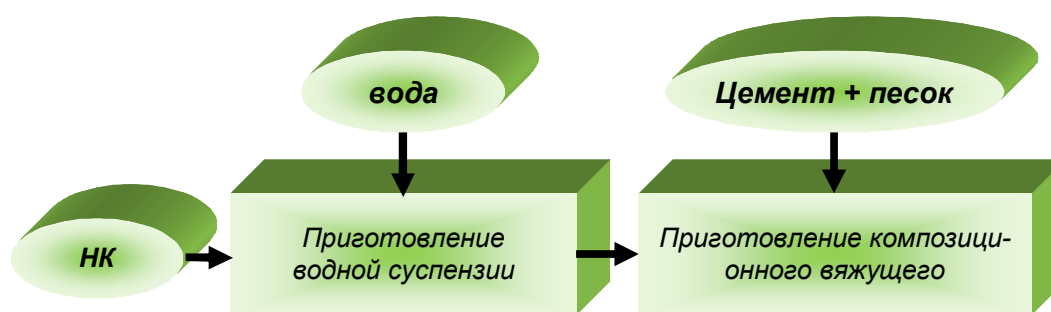


Рис. 1. Способ введения НК в вяжущее

Для определения активности вяжущего модифицированного НК, были заформованы стандартные образцы - балочки размером 40×40×160 мм. Испытания проводили на образцах вяжущего, состоящих из портландцемента и кварцевого песка, в соотношении 1:3 по массе при водотвердом отношении 0,5. НК вводился в количестве от 10 до 30% (в пересчете на сухое вещество) при замене цемента. В качестве контрольных образцов были

приняты составы без содержания НК. Образцы твердели в пропарочной камере по режиму 3+6+3 ч с изотермической выдержкой при температуре 85°C и в ванне с гидравлическим затвором при относительной влажности воздуха более 90 % согласно ГОСТ 310.4-81.

Прирост прочности при введении НК сопровождается повышением физико-механических свойств таблица 3, 4.

Таблица 3 – Кинетика изменения прочности вяжущего

№ п/п	При замене цемента на НК, %	На основе Белгородского цемента				На основе Суходолжского цемента			
		7 суток		28 суток		7 суток		28 суток	
		При изгибе, МПа	При сжатии, МПа	При изгибе, МПа	При сжатии, МПа	При изгибе, МПа	При сжатии, МПа	При изгибе, МПа	При сжатии, МПа
1	0	2,0	21,6	6,00	55,9	4,9	20,8	6,3	60,0
2	10	2,2	22,1	6,19	60,2	5,6	28,6	7,6	69,8
3	15	2,2	22,3	6,46	61,0	5,5	21,0	7,9	67,5
4	20	2,5	26,6	7,29	63,9	4,9	19,5	7,0	65,7
5	25	2,2	20,5	6,50	51,6	4,3	18,2	5,5	59,5
6	30	2,0	18,6	6,20	49,6	3,9	16,0	6,3	59,8

Таблица 4 – Прочность вяжущего после изотермической выдержки

№ п/п	При замене цемента НК, %	На основе Белгородского цемента		На основе Суходолжского цемента	
		При изгибе, МПа	При сжатии, МПа	При изгибе, МПа	При сжатии, МПа
1	0	2,0	19,8	4,93	20,73
2	10	1,9	21,1	5,07	21,6
3	15	2,2	22,0	4,75	20,9
4	20	2,6	23,7	4,08	19,9
5	25	2,1	18,9	3,97	19
6	30	2,0	17,9	3,65	18,2

Различия в химическом составе цементов и условия твердения вяжущего отражаются на его активности (табл. 3, 4). Наблюдается повышение прочности при модифицировании цементных систем различных производителей 10% НК. Для Суходолжского цемента данное количество является оптимальным. Следует отметить, что увеличение концентрации НК при равнозначном сокращении доли цемента в составах вяжущего приводит к падению прочности и крайний порог повышения прочности наблюдается при добавлении 20% НК, дальнейшее увеличение НК приводит к

падению прочности композита ниже контрольного уровня. Вероятным объяснением данного факта является замена цемента на НК, что приводит к дефициту гидросиликатной связки, формируемой в результате гидратации клинкерных минералов и их взаимодействия с компонентами модификатора, отвечающих за прочностные характеристики конечных материалов. Максимальная активность вяжущего отмечается на составах с применением Суходолжского цемента при его замене на 10% НК, твердевших при нормальных условиях, она увеличивается на 16% по

сравнению с контрольным (табл. 3). Максимально сократить долю цемента при улучшении физико-механических свойств и замене его на НК возможно за счет изотермической выдержки образцов. И в этом случае положительное влияние НК отмечается на образцах с применением Белгородского цемента при возможном сокращении доли клинкерной составляющей на 20% и повышении прочности до 20% по сравнению с контрольным составом (табл. 4). Оптимальным энергетически выгодным вариантом с технологической точки зрения, следует считать замену 10% цемента НК с применением Сухоложского цемента без тепловой обработки.

Прирост прочности при введении НК сопровождается изменениями в фазовом составе новообразований. Для изучения особенностей фазообразования при введении НК в цементный композит были сформованы модельные образцы из Сухоложского цемента и при замене его на 10% НК.

По результатам РФА при ведении в цементное вяжущее НК в структуре затвердевшего камня отмечается снижение количества клинкерных минералов, о чем свидетельствует снижение интенсивности пиков, в частности, отражений алита, а так же продукта гидратации цемента – портландита (рис. 2).

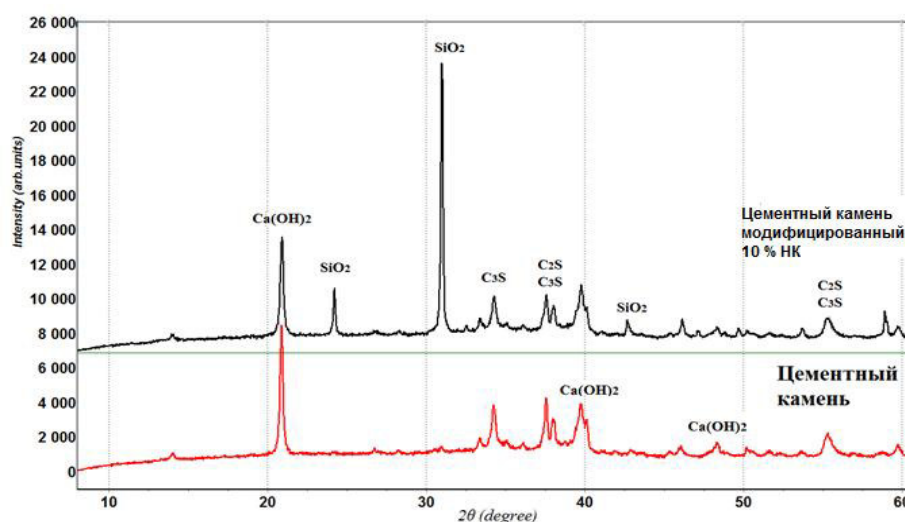


Рис. 2. Рентгенограмма цементного камня при твердении в течение 28 суток (Сухоложский цемент)

Наноразмерные частицы НК интенсивно вступают в процессы химического взаимодействия с выделяющимся при гидратации портландцемента Ca(OH)_2 уже на ранних стадиях твердения и связываются в гидросиликатные новообразования. В области углов

отражения 45–50° модифицированного цементного камня отмечается увеличение кристаллического фона, что позволяет прогнозировать образование мелкодисперсных кристаллогидратов C-S-H (рис. 2).

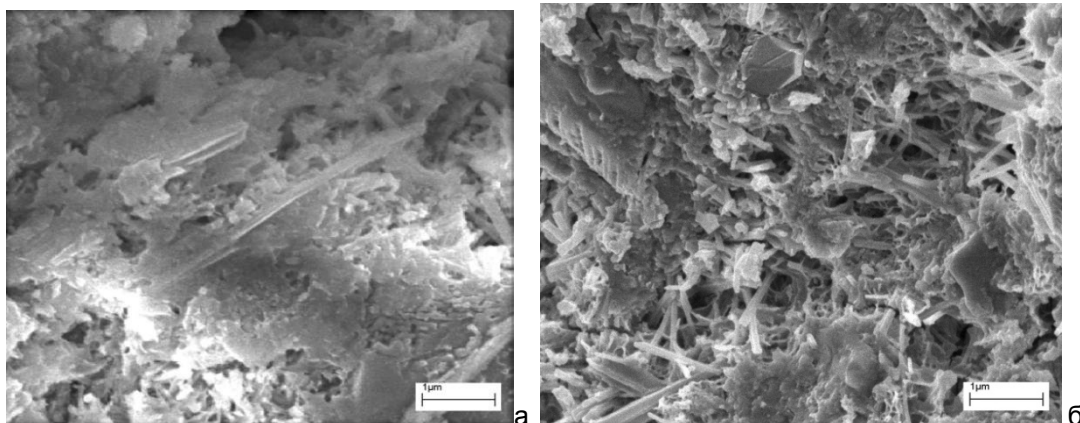


Рис. 3. Микроструктура образцов при твердении в течение 28 суток (Сухоложский цемент): а – цементный камень, б – цементный камень с 10% НК

Микроструктура цементированного цементного камня представлена общей хлопьевидной массой частиц неправильной формы с трещиноватыми сколами, наблюдаются прослойки спутанных ветвистых агрегатов (рис. 3 а). Разуплотнения в общей структуре затвердевшей системы является причиной более низкой прочности контрольного состава. Присутствие в цементной системе НК отмечается по зернам кварца с характерным раковистым изломом, которые плотно вросли в цементную матрицу, что свидетельствует о высокой адгезии новообразований вяжущего к его частицам. Более крупные частицы НК выступают в качестве центров кристаллизации, а также выполняют роль микронаполнителя, снижая усадочные деформации, при этом улучшая эксплуатационные характеристики композита. К 28 суткам твердения, когда вяжущее достигает своей марочной прочности, микроструктура образцов с НК представлена четко выраженными новообразованиями игольчатой морфологии и ограниченными столбчатыми кристаллами с длиной до 1 мкм, которые хаотично цементированы между собой в сетчатую структуру (рис. 3 б). Хлопьевидная масса образца в отличие от контрольного состава представлена сrostками частиц неправильной формы, менее трещиноватой и без сколов, что в комплексе способствует повышению прочности композита.

Заключение

Таким образом, повышения эффективности цементных вяжущих возможно достичь за счет управления процессами структурообразования при применении наноструктурированного кремнеземсодержащего компонента. Различия в химическом составе цементов отражается на особенностях взаимодействия с НК. Оптимизация количества, особенности введения НК в цементную систему и условия твердения вяжущего позволяют регулировать его активность, способствуют интенсификации процессов гидратации клинкерных минералов, связыванию $\text{Ca}(\text{OH})_2$ в дополнительное количество гидросиликатов кальция C-S-H, упрочняя матричную структуру цементного камня. В комплексе использование НК позволяет снизить расход цементного вяжущего до 20% и максимально повысить прочность цементного камня до 20%.

Работа выполнена при финансовой поддержке в рамках гранта РФФИ № 14-33-50706.

Библиографический список

1. Фомина, Е.В., Кожухова М.И., Кожухова Н.И. Оценка эффективности применения алюмосиликатной породы в составе композиционных вяжущих / Е.В. Фомина, М.И. Кожухова, Н.И. Кожухова // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. – 2013. – №4. – С. 31–35.
2. Lesovik R.V., Nosova A.N., Savin A.V., Fomina E.V. Assessment of the Suitability of the Opal-Cristoballite Rocks of Korkinsk Deposit in the Construction Industry // World Applied Sciences Journal 29(12): 1600–1604, 2014.
3. Рахимов, Р.З. Термически обработанный трепел как активная минеральная добавка в цемент / Р.З. Рахимов, З.А. Камалова, Е.Ю. Ермилова, О.В. Стоянов // Вестник Казанского технологического университета. – 2014. – Т. 17. – №13. – С. 99–101.
4. Дубенский, М.С. Микрокремнезем отход или современная добавка / М.С. Дубенский, А.А. Каргин // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2012. – №1. – С. 119–120.
5. Ушеров-Маршак А.В. Химические и минеральные добавки в бетон. Харьков: Колорит, Харьков. / А.В. Ушеров-Маршак. – 2005. – 280 с.
6. Пыкин А.А. К вопросу о повышении свойств мелкозернистого бетона микро- и нанодисперсными добавками на основе шунгита / А.А. Пыкин, Н.П. Лукутцова, Г.В. Костюченко // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2011. – № 2. – С. 15–20.
7. Лукутцова, Н.П. Энергоэффективный мелкозернистый бетон с комплексным микронаполнителем / Н.П. Лукутцова, Е.Г. Карпиков // Строительство и реконструкция. – 2014. – № 5. – С. 94–100.
8. Артамонова, О.В. Исследование микроструктуры цементного камня модифицированного комплексными нанодобавками / О.В. Артамонова, Г.С. Славчева, М.А. Шведова // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Физико-химические проблемы и высокие технологии строительного материаловедения. – 2015. – №1. – С. 80–86.
9. Пухаренко, Ю.В.. Наномодифицированные добавки в бетоны для транспортного строительства / Ю.В. Пухаренко, В.Д. Староверов, Д.И. Рыжов // Транспорт Российской Федерации. – 2014. – № 5. – С. 26–30.
10. Лесовик, В.С. Высокоэффективные композиционные вяжущие с использованием наномодификатора / В.С. Лесовик, Н.И. Алфимова, Я.Ю. Вишневская // Вестник Центрального регионального отделения Российской академии архитектуры и строительных наук: сборник научных статей РААСН, ВГАСУ. Воронеж: Изд-во Ворон. гос. арх. строит. уни-та. – 2010. – С. 90–94.
11. Лесовик, В.В. Повышение эффективности вяжущих за счет использования наномодификаторов / В.В. Лесовик, В.В. Потапов, Н.И. Алфимова, О.В. Ивашова // Строительные материалы. – 2011. – № 12. – С. 60–62.

12. Череватова, А.В. Строительные неоконпозиты на основе ВКВС кремнеземсодержащего сырья / А.В. Череватова, Э.О. Гашченко // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. – 2007. – № 1. – С. 25–30.

13. Войтович, Е.В. Концепция контроля качества алюмосиликатных вяжущих негидратационного твердения / Е.В. Войтович, Н.И. Кожухова, И.В. Жерновский, А.В. Череватова, Д.Д. Нецвет // Строительные материалы. – 2013. – №11 – С. 68–70.

INCREASE OF EFFICIENCY CEMENT KNITTING WITH THE ACTIVE MINERAL NANODISPERSE COMPONENT

E.V. Voytovich, I.L. Chulkova,
E.V. Fomina, A.V. Cherevatova

Abstract. In the paper the influence of mineral nanodisperse silica component on reactivity of cement from different producers is studied. Method of introduction of mineral nanodisperse modifier in binding mixture is proposed. Differences of chemical composition of the studied Portland cements are reflected on features of relationship with nanodisperse component. Optimization of content features of nanodisperse component introduction into cement system as well as hardening conditions allow varying its reactivity and promote to intensification of hydration process of clinker minerals, Portlandite fixation into additional C-S-H phases, that leads to strengthening of cement stone structure. Generally, enhancement of efficiency of cement binder is provided with reducing of clinker component up to 20% and improving of strength characteristics of composite up to 20%.

Keywords: nanodispersity, binder, efficiency, Portland cement, quartz sand, phase- and structure formation.

References

1. Fomina E.V., Kozhuhova M.I., Kozhuhova N.I. Otsenka effektivnosti primeneniya alyumosilikatnoj porody v sostave kompozitsionnyh vyazhushchih [Estimation of efficiency of application of aluminosilicate raw in composite binders]. *Vestnik BGTU imeni V G Shuhova*, 2013, vol. 4, pp. 31–35.
2. Lesovik R.V., Nosova A.N., Savin A.V., Fomina E.V. Assessment of the Suitability of the Opal Cristoballite Rocks of Korkinsk Deposit in the Construction Industry [Assessment of the Suitability of the Opal-Cristoballite Rocks of Korkinsk Deposit in the Construction Industry]. *World Applied Sciences Journal*, 2014, vol. 29(12), pp. 1600–1604.
3. Termicheski obrabotannyj trepel kak aktivnaya mineralnaya dobavka v cement [Thermally processed bergmeal as an active mineral additive in cement] R.Z. Rahimov, Z.A. Kamalova, E.YU. Ermilova, O.V. Stoyanov, *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta*, 2014, T. 17, vol. 13, pp. 99–101.
4. Dubenskij M.S. Kargin A.A. Mikrokremszem othod ili sovremennaya dobavka [Microsilicon dioxide withdrawal or modern additive] *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2012, vol. 1, pp. 119–120.

5. Usherov-Marshak A.V. Himicheskie i mineralnye dobavki v beton [Chemical and mineral additives in concrete]. *Harkov, Kolorit Harkov*, 2005, 280 p.

7. Lukutcova N.P. Karpikov E. G. EHnergoehffektivnyj melkozernistyj beton s kompleksnym mikronapolnitelem [Power effective fine-grained concrete with a complex microfiller] *Stroitelstvo i rekonstrukciya*, 2014, vol. 5, pp. 94–100

8. Artamonova O.V., Slavcheva G.S., SHvedova M.A. Issledovanie mikrostruktury cementnogo kamnya modifitsirovannogo kompleksnymi nanodobavkami [Research of a microstructure of the cement stone modified by complex nanoadditives] *Nauchnyj vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo arhitekturno stroitel'nogo universiteta Seriya Fiziko himicheskie problemy i vysokie tekhnologii stroitel'nogo materialovedeniya*, 2015, vol. 1, pp. 80–86.

9. Puharenko YU.V., Staroverov V.D., Ryzhov D.I. Nanomodifitsirovannye dobavki v betony dlya transportnogo stroitel'stva [The nanomodified additives in concrete for transport construction] *Transport Rossijskoj Federacii*, 2014, vol 5, pp. 26–30.

10. Lesovik V.S., Alfimova N.I., Vishnevskaya Y.U. Vysokoeffektivnye kompozitsionnye vyazhushchie s ispolzovaniem nanomodifikatora [Highly effective composite binders with nanomodifier]. *Vestnik central'nogo regional'nogo otdeleniya Rossijskoj akademii arhitektury i stroitel'nykh nauk: sbornik nauchnykh statej RAASN, VGASU. Voronezh: Izd-vo Voron. gos. arh. stroit. uni-ta [Vestnik tsentral'nogo regional'nogo otdeleniya Rossiyskoy akademii arhitektury i stroitel'nykh nauk: sbornik nauchnykh statej RAASN, VGASU. Voronezh: Izd-vo Voron. gos. arkh. stroit.]*, 2010, pp. 90–94.

11. Lesovik V.V., Potapov V.V., Alfimova N.I., Ivashova O.V. Povyshenie effektivnosti vyazhushchih za schet ispolzovaniya nanomodifikatorov [Enhancement of binder efficiency due to using of nanomodifiers]. *Stroitelnye materialy*, 2011, vol. 12, pp. 60–62.

12. Cherevatova A.V., Gashchenko E.H.O. Stroitelnye neokompozity na osnove VKVS kremnezemsoderzhashchego syrya [Construction neocomposites on the basis of silica raw materials containing High-concentrated binding suspension]. *Vestnik BGTU im V G Shuhova*, 2007. vol. 1, pp. 25–30.

13. Vojtovich E.V., Kozhuhova N.I., ZHernovskij I.V., CHerevatova A.V., Necvet D.D. Konceptciya kontrolya kachestva alyumosilikatnyh vyazhushchih negidratacionnogo tverdeniya [Concept of quality monitoring of aluminosilicate binders of non-hydration type of hardening]. *Stroitelnye materialy*, 2013, vol. 11, pp. 68–70.

6. Pykin A.A. Lukutcova N.P. Kostyuchenko G.V. K voprosu o povyshenii svoystv melkozernistogo betona mikro i nanodispersnymi dobavkami na osnove shungita [To a question of increase of properties of fine-grained concrete micro and nanodisperse additives on the basis of a shungit] *Vestnik Belgorodskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta im V G Shuhova*, 2011, 2, pp. 15–20.

Войтович Елена Валерьевна (Россия Белгород) – кандидат технических наук, младший научный сотрудник кафедры Материаловедения и технологии материалов БГТУ им. В.Г. Шухова (308012, г. Белгород, ул. Костюкова 46, e-mail: e.voitovich@mail.ru).

Чулкова Ирина Львовна (Россия, г. Омск) – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Строительные материалы и специальные технологии» ФГБОУ ВПО «СибАДИ» (644080, г. Омск, пр. Мира, 5, e-mail: chulkova_il@sibadi.org).

Фомина Екатерина Викторовна (Россия Белгород) – кандидат технических наук, доцент, старший научный сотрудник кафедры Строительного материаловедения изделий и конструкций БГТУ им. В.Г. Шухова (308012, г. Белгород, ул. Костюкова 46, e-mail: fomina.katerina@mail.ru).

Череватова Алла Васильевна (Россия Белгород) – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры Материаловедения и технологии материалов БГТУ им. В.Г. Шухова (308012, г. Белгород, ул. Костюкова 46, e-mail: chery_611@mail.ru).

Voitovich Elena Valerievna (Russian Federation, Belgorod) – candidate technical sciences, in junior researcher of chair Materials science and technology of materials BGTU of V.G. Shukhov (308012, Mr. Belgorod, Kostyukov St. 46, e-mail: fomina.katerina@mail.ru).

Chulkova Irina Lvovna (Russia, Omsk) – doctor of technical sciences, professor, head of the department "Construction materials and special technologies" of The Siberian automobile and highway academy (SibADI) (644080, Omsk, 5 Mira st., e-mail: e-mails: chulkova_il@sibadi.org).

Fomina Ekaterina Viktorovna (Russian Federation, Belgorod) – candidate of technical sciences, the associate professor, the senior research associate of department of Construction materials science of products and designs of BGTU of V.G. Shukhov (308012, Belgorod, Kostyukov St. 46, e-mail: fomina.katerina@mail.ru).

Cherevatova Alla Vasilievna Russian Federation, Belgorod) – doctor of technical sciences, professor chair Materials science and technology of materials BGTU of V.G. Shukhov (308012, Belgorod, Kostyukov St. 46, e-mail: cherry_611@mail.ru).

УДК 625.7.06: 691.16

МОДЕЛИРОВАНИЕ СОСТАВОВ И СВОЙСТВ ПОЛИМЕРНО-БИТУМНЫХ ВЯЖУЩИХ МЕТОДОМ ПЛАНИРОВАНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА

В.Д. Галдина, М.С. Черногородова
ФГБОУ ВПО «СибАДИ», Россия, г. Омск.

Аннотация. С применением метода математического планирования эксперимента получены математические модели технологических и эксплуатационных свойств полимерно-битумных вяжущих на основе вязкого дорожного битума, полимера типа стирол-бутадиен-стирол и пластификатора, позволяющие оптимизировать составы и прогнозировать свойства вяжущих. Планирование эксперимента значительно сокращает процедуру подбора составов полимерно-битумных вяжущих с требуемым комплексом физико-механических свойств.

Ключевые слова: битум, планирование эксперимента, полимерно-битумное вяжущее, уравнения регрессии.

Введение

Модифицирование битумов полимерными добавками с целью повышения долговечности дорожных асфальтобетонных покрытий является перспективным и развиваемым направлением за рубежом и в России. В качестве модифицирующих добавок для дорожных битумов преимущественно используют блок-сополимеры типа стирол-бутадиен-стирол (СБС). Макромолекулы указанных полимеров характеризуются склонностью к ассоциации, что позволяет при определенном содержании образовывать пространственную структурную сетку в полимерно-битумном вяжущем (ПБВ).

По сравнению с исходным битумом ПБВ характеризуются высокой прочностью, эластичностью, теплоустойчивостью и трещиностойкостью [1,2,3,4,5,6].

ФГУП СоюздорНИИ разработаны составы, технология приготовления ПБВ на основе полимера СБС и нормативно-технические документы. Полимерно-битумные вяжущие рекомендовано получать смешением при температуре 150 – 160 °С вязкого дорожного битума, пластифицированного пластификатором, и полимера типа СБС либо путем смешения битума с раствором полимера типа СБС в пластификаторе. Свойства ПБВ зави-