

ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ВЫСОКОКАЧЕСТВЕННЫХ НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ ЦЕМЕНТНЫХ КОМПЗИТОВ

© **Абдуллаев Абухан Магомедович (а), Абдуллаев Рамзан Магомедович (б), Абдуллаев Магомед Абдул-Вахабович (с)**

(а) Комплексный научно-исследовательский институт им. Х.И. Ибрагимова Российской академии наук, Российская Федерация, г. Грозный; лаборатория экспериментальной физики, н.с., han-100@mail.ru

(б) Грозненский государственный нефтяной технический университет имени академика М.Д. Миллионщикова, Российская Федерация, г. Грозный; магистрант кафедры технология строительного производства, ramzan007abd@mail.ru

(с) Комплексный научно-исследовательский институт им. Х.И. Ибрагимова Российской академии наук, Российская Федерация, г. Грозный; лаборатория металлов, сплавов и композиционных материалов, mgdaa@mail.ru

Аннотация. В результате использования наноструктурированных компонентов в составе комплексной добавки получено значительное снижение в/ц отношения и достигнуто значительное увеличение прочности цементного камня. С использованием формулы Шеррера на основе рентгенографических исследований рассчитаны объемно-взвешенные средние размеры кристаллитов. Установлено, что причиной уплотнения структуры цементного камня являются изменения, происходящие в структуре цементного камня под влиянием снижения значений поверхностного натяжения воды в присутствии комплексных добавок.

Ключевые слова: Комплексный наноструктурированный модификатор, поверхностное натяжение, рентгенофазовые исследования, наносuspension, бентонит, утончение пленки, прочность.

FORMATION OF STRUCTURE OF HIGH-QUALITY NANOSTRUCTURED CEMENT COMPOSITES

© **Abdullaev Abukhan Magomedovich (a), Abdullaev Ramzan Magomedovich (b),
Abdullaev Magomed Abdul-Vakhabovich (c)**

(a) Kh. Ibragimov Complex Institute of the Russian Academy of Science, Russian Federation, Grozny; laboratory of experimental physics, researcher, han-100@mail.ru

(b) Grozny State Oil Technical University by Acad. M.D. Millionshikov, Russian Federation, Grozny, undergraduate of the department technology of building production, ramzan007abd@mail.ru

(c) Kh. Ibragimov Complex Institute of the Russian Academy of Science, Russian Federation, Grozny; laboratory of metals, alloys and composite materials mgdaa@mail.ru

Abstract. As a result of the use of nanostructured components as part of a complex additive, a significant decrease in the w / c ratio was obtained and a significant increase in the strength of cement stone was achieved. Using the Scherrer formula based on x-ray studies, volume-weighted average crystallite sizes were calculated. It is established that the cause of compaction of the structure of cement stone is the changes occurring in the structure of cement stone under the influence of a decrease in the surface tension of water in the presence of complex additives.

Key words: Complex nanostructured modifier, surface tension, X-ray phase studies, nanosuspension, bentonite, thinning of the film, strength.

Известно, что наноразмерные включения упрочняют структуру материала [14]. Проведенные в настоящей работе исследования являются актуальными в виду получения высококачественных цементных композитов с использованием бентонита Чеченской республики, который характеризуется как слоисто-силикатный наноматериал. Структура его состоит из пластин толщиной 1 нм с поперечными размерами 50-150 нм [10]. Введение в состав цементного вяжущего бентонитового порошка в малых дозах незначительно повышает прочность цементного камня. Значительного повышения прочности цементного камня удается при использовании бентонита в комплексе с гиперпластификатором Frem Giper S-TB [19]. В работе [1] отмечено диспергирующее действие комплексного применения этих добавок как результат снижения поверхностного натяжения воды. Исследование влияния различных комплексных добавок на плотность и однородность структуры цементного камня является актуальной задачей в производстве строительных материалов на основе цементных композитов.

Для достижения однородной структуры и оптимальной плотности бетонов используются различные пластифицирующие добавки, которые снижают значение показателя поверхностного натяжения воды и цемента, что приводит к ее диспергированию в бетонной смеси [1, 17]. Однако, как с экономической, так и экологической точки зрения представляет интерес исследование возможности использования дешевых местных природных материалов, в частности бентонита, в качестве наноструктурированных добавок в бетон [9, 15].

Поскольку, наноструктурированные добавки являются системами с высокоразвитой поверхностью, очевидна ведущая роль межфазных явлений в процессах формирования их свойств и взаимодействия с цементной матрицей. Известно, что процессы диспергирования в водных суспензиях бентонитов, являющиеся гидрофильной системой, протекают самопроизвольно.

Сущность самопроизвольного диспергирования заключается в стремлении дисперсной фазы к равномерному распределению по объему системы (как и распределение растворенного вещества в истинных растворах), в которых в процессе самопроизвольного диспергирования способны возникать наноразмерные частицы. Эти частицы могут иметь размеры от нескольких десятков до нескольких сотен нм шириной и длиной, и от 1 до 1,5 нм толщиной [8,16]. Такие частицы могут участвовать в тепловом движении, накапливаться на границе раздела фаз, влиять на величину поверхностного натяжения. Совместное

использование ограниченно растворимых поверхностно-активных веществ в жидких средах должно понизить поверхностное натяжение согласно правилу Антонова [11]. Само присутствие наноразмерных частиц определяет характер взаимодействия между суспензией и цементной основой в бетонной смеси, являясь слабыми концентраторами напряжений, вызывающего уплотнение и упрочнение материала [14]. В работах [7, 11, 18] отмечается, что понижение поверхностного натяжения на межфазных границах приводит дисперсионную систему к повышению активности, происходит сглаживание поверхности и уплотнение структуры дисперсной системы.

Целью настоящей работы является изучение роли поверхностного натяжения бентонитовых суспензий отдельно и в комплексе с гиперпластификатором FremGiperS-TB в формировании плотной структуры цементного камня.

Материалы и методы исследования

В представленной работе использованы следующие материалы: гиперпластификатор Frem Giper S-TB страна производитель Республика Беларусь; природный бентонит Чеченской Республики; портландцемент марки М500 Чири-Юртовского цементного завода Чеченской Республики; вода водопроводная.

Суспензии для проведения анализов готовили следующим образом: взвешивали 120 гр. воды, а количество бентонита определяли по расчету концентрации компонента и тщательно перемешивали на магнитной мешалке ПЭ-6110 в течение 1 мин. Полученную суспензию подвергали ультразвуковому воздействию на ультразвуковой установке ИЛ100-6/2 в течении 10 сек.

Измерения поверхностного натяжения проводили методом висящей капли на тензиометре DSA100 фирмы «Krus» Германия [4, 5, 6]. Погрешность измерения поверхностного натяжения – менее 1%. На полученной воде готовили цементное тесто нормальной густоты по шесть замесов для каждой серии образцов. При этом содержание бентонита в воде увеличивалось с шагом 0,2% масс от цемента. Составы цементного теста и воды для его приготовления подбирались для каждого компонента отдельно, а для их комплексного использования по аналогии. Нормальную густоту цементного теста определяли по ГОСТ 310.3-76 «Цементы. Методы определения нормальной густоты и сроков схватывания». Плотность цементного камня определяли гидростатическим взвешиванием по ГОСТ 12730.1-2002 Бетоны. Методы определения плотности. Рентгенофазовые исследования образцов цементного камня проводили на дифрактометре Shimadzu XRD-6000.

Обсуждение

Известно, что природные бентониты состоят из частиц твердой фазы размерами 100-1000 нм, а для наноструктурированной добавки в бетоны необходимы частицы размерами порядка 10 – 100 нм. Поэтому, с целью диспергирования, исследуемые образцы водных суспензий бентонита были подвергнуты ультразвуковому воздействию в течении 10 – 15 сек (частота 19,5 кГц, амплитуда переменного звукового давления 6 атм, амплитуда колебаний частиц 2,42 мкм, амплитуда ускорения частиц $3,6 \times 10^4$ м/с²). Проведенные исследования показали, что ультразвуковое воздействие приводит к повышению устойчивости суспензии бентонита и имеет место повышение коэффициентов устойчивости коагуляционных структур в 1,2—1,5 раза, т.е. идет пептизация суспензии,

свидетельствующее о влиянии ультразвука на структурно-механические показатели бентонита.

С целью изучения влияния наноразмерных добавок бентонита и бентонита в комплексе с ПАВ на физико-механические свойства и структурообразование цементной матрицы были приготовлены изопластичные цементные смеси, из которых формовались образцы кубы размерами 20x20x20 мм. Изготовленные образцы извлекали из форм через 20 часов, и до испытания на прочность хранили в воде при температуре 293К в течении 28 суток. ГОСТ 310.4-81 Цементы методы определения предела прочности при изгибе и сжатии

В таблице 1 приведены результаты исследования показателей нормальной плотности цементного теста по ГОСТ 310.3-76, плотности по ГОСТ 12730.1-2002 методы определения плотности, поверхностные натяжения воды в присутствии добавок и физико-механических характеристик образцов-кубов цементного камня 20*20*20 мм.

Таблица 1

Свойства цементного камня, полученного с использованием наноструктурированных компонентов и гиперпластификатора

№ п/п	Расход цемента,	FremGiperS-ТВ, % мас. от цемента	Концентрация бентонитового порошка, % мас. от цемента	Поверхностное натяжение мН/м	Нормальная густота (НГ), %	Плотность цементного камня, г/см ³	Прочность, МПа г
1	500			72,7	23,25	2,18	112,5
2	500		0,2	71,0	23,25	2,204	117,4
3	500		0,4	67,1	23,25	2,2	121,9
4	500		0,6	62	24,2	2,16	120,5
5	500		0,8	60,1	25,3	2,16	114,3
6	500		1,0	72	26,8	2,11	114,8
7	500	0,2		63,1	21,2	2,28	122,4
8	500	0,4		49,1	19,6	2,32	127,6
9	500	0,6		45,3	18,4	2,32	132,9
10	500	0,8		42,79	18,25	2,32	131,3
11	500	1,0		42,75	18,25	2,32	130,2
12	500	0,2	0,2	56,7	18,5	2,35	133,6
13	500	0,4	0,4	43,1	17,6	2,35	137,2
14	500	0,6	0,6	41,6	17,75	2,35	136,8
15	500	0,8	0,8	41,4	17,8	2,35	132,1
16	500	1,0	1,0	41,4	17,8	2,34	128,2

В результате введения порошкообразного природного бентонита (таблица 1), прочность на сжатие исследуемых образцов незначительно отличается от контрольного (состав 1). При этом максимальное значение плотности и прочности исследуемых образцов бетона достигается в диапазоне концентрации бентонита 2,28 - 3,38 % в воде затворения.

При этом нормальная густота цементного теста введением бентонитового порошка изменяется незначительно, но при комплексном использовании бентонита с FremGiperS-ТВ

это значение отличается от контрольного на 24%. Прочность образцов, изготовленных с использованием в качестве добавки бентонитового порошка, превышает значения контрольного на 8,4%. Такая отличительная особенность, очевидно, проявляется в том, что значение поверхностного натяжения при комплексном применении гиперпластификатора и бентонитовой глины снижается более эффективно, чем при использовании каждого из этих добавок поотдельности. Это приводит к выполнению условий устойчивости граничных пленок жидкой фазы при ее утончении согласно [10,11].

Из этого следует, что снижение поверхностного натяжения от 72,7 мН/м до 42 мН/м при комплексном использовании Frem Giper S-TB и наночастиц бентонитового порошка позволяет уменьшить толщину пленки на выпуклых поверхностях частиц с сохранением устойчивости этой пленки, что позволяет фиксировать частицы дисперсной фазы в дисперсионной среде на ближних расстояниях. Дальнейшее увеличение концентрации обоих составляющих отрицательно влияет на прочностные характеристики цементного камня, что по нашим предположениям является результатом чрезмерного диспергирования цемента в процессе замешивания водой с низким поверхностным натяжением.

Для обоснования достоверности полученных результатов и установления их взаимосвязи с микроструктурой цементного камня с помощью дифрактометра Shimadzu XRD-6000 были проведены исследования рентгеноструктурного анализа цементного камня при излучении $\text{CuK}\alpha$ (длина волны 1,54060Å), при условиях фокусировки по Бреггу-Брентано 2θ от 10,000-80,000. Значения тока и напряжения на рентгеновской трубке составляли 30,0 мА и 40кВ соответственно.

На рисунке 1 представлены результаты рентгенофазового анализа цементного камня с использованием модифицирующих добавок, который показал, что с увеличением интенсивности пиков, принадлежащих порландиту (3,028/477; 3,026/436; 3,027/479; 3,025/484) и $\text{Ca}(\text{OH})_2$ от (4,9/1051) до 4,89/668, уменьшение межплоскостных расстояний расположились в следующей последовательности $1>3>2>4$. Аналогичные изменения произошли и в размерах кристаллитов цементного камня. Так в образцах цементного камня с добавкой гиперпластификатора Frem GiperS-TB в комплексе с бентонитом наблюдается максимальное уменьшение размеров кристаллитов, что приводит к повышению химической активности структурных элементов и прочности цементного камня.

Необходимо отметить, что с увеличением значение интенсивности пиков уменьшились и межплоскостные расстояния в кристаллической и аморфной составляющих цементного камня с модификаторами, что приводит к повышению плотности цементного камня. Все полученные результаты представлены в двух таблицах и подтверждают их достоверность.

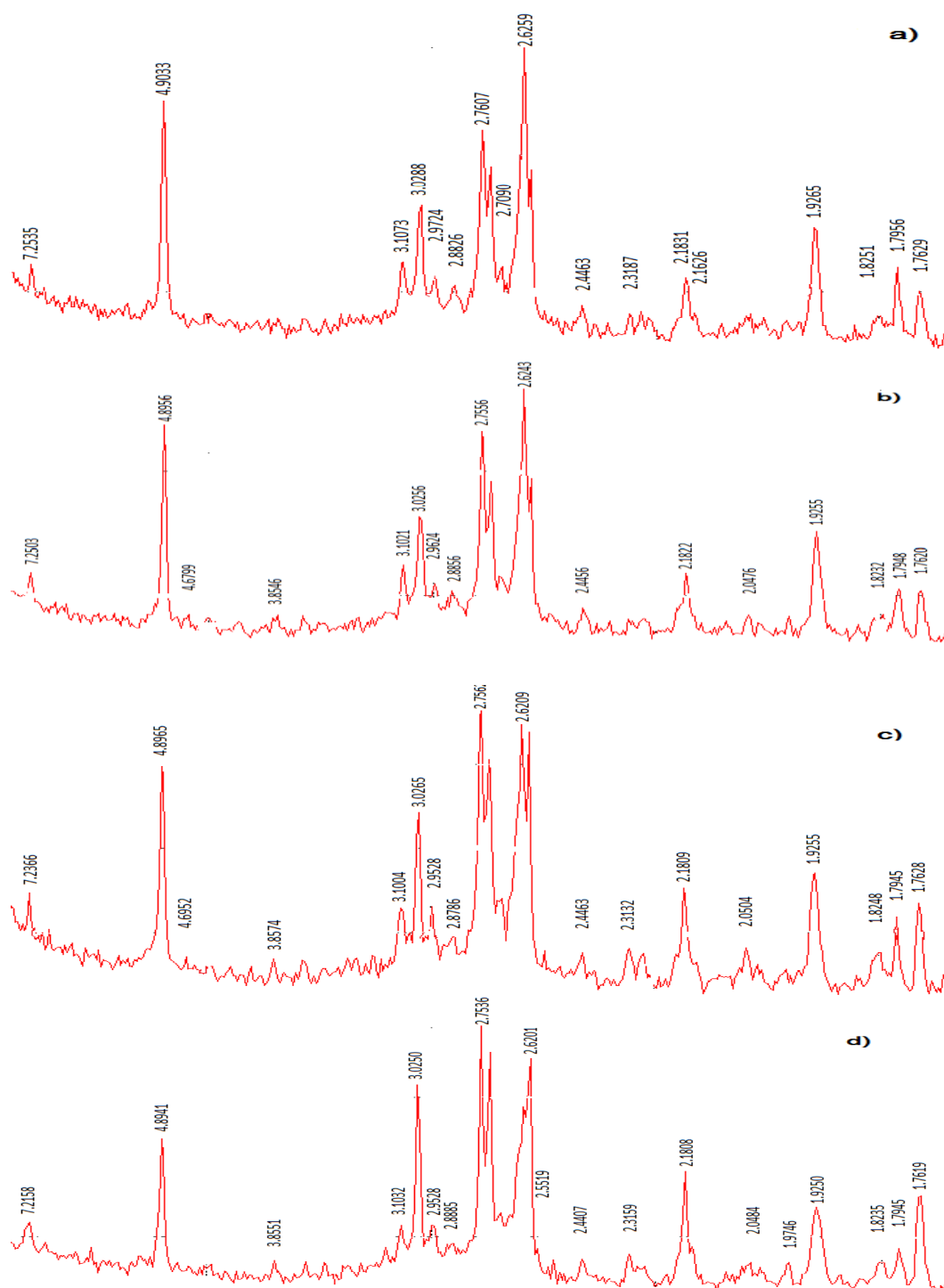


Рис.1. Рентгенограммы цементного камня:

- а) без добавки (контрольный); б) с добавкой бентонитового порошка;
 в) с добавкой гиперпластификатора FremGiperS-TB;
 д) с комплексной добавкой из бентонитового порошка и FremGiperS-TB

В таблице 2 показаны данные о рентгенофазовых исследованиях образцов цементного камня контрольного и с модифицирующими добавками. Вычислены значения ширины пиков на половине высоты, а также представлены значения межплоскостных расстояний.

Таблица 2

Рентгенофазовые исследования цементного камня различной модификации

№ п/п	Состав цементного камня	Положение максимума пика	Интенсивность максимума пика	Межплоскостное расстояние d, нм	Ширина пика на половине высоты, градусы, θ	Средний размер кристаллит а в нм
1	Цементный камень контрольный (а)	18,0908	1051	0,48996	0,35	23,89
		29,4795	477	0,30276	0,34	26,86
		32,2407	685	0,27743	0,68	12,30
		34,1142	1206	0,26261	0,65	16,41
		51,8543	217	0,17618	0,36	35,70
2	Цементный камень с добавкой бентонитового порошка (b)	18,1054	918	0,489568	0,32	29,04
		29,4989	436	0,302562	0,5	18,27
		32,4648	544	0,275566	0,39	24,16
		34,1375	1005	0,262436	0,65	14,81
		51,8466	192	0,176202	0,36	36,40
3	Цементный камень с добавкой FremGiper S-TV (с)	18,1021	643	0,48966	0,32	26,13
		29,4898	479	0,302653	0,31	29,45
		32,4578	818	0,275624	0,38	24,77
		34,1829	850	0,262098	0,71	13,53
		51,8199	246	0,176287	0,38	33,10
4	Цементный камень с комплексной бентонитовой добавкой и FremGiper S-TV (d)	18,1113	668	0,48941	0,36	23,23
		29,5043	484	0,302508	0,39	23,42
		32,4888	835	0,275368	0,35	13,84
		34,1935	837	0,262019	0,77	12,48
		51,8501	270	0,176191	0,51	25,21

Структурные свойства и фазовый состав слоев до и после применения наномодифицирующих комплексных добавок исследовались методом рентгенофазового анализа в области $2\theta = 10-80$ градусов на $\text{CuK}\alpha$ -излучении ($\lambda = 1.54056 \text{ \AA}$) с никелевым фильтром рис. 1.

С использованием формула Шерера [15,18].

$$D = \frac{180K\lambda}{\pi\beta \cos\theta}$$

где $\lambda = 1,54060$ - длина волны излучения, β - Физическая ширина рефлекса в радианах 2θ , θ - дифракционный угол максимума линии, K – константа, близкая к единице ($K = 0,9$, если берется ширина на половине высоты пика). На основе этой модели проведена оценка размерности кристаллов, образованных в цементном камне, модифицированном бентонитовым порошком и гиперпластификатором Frem Giper S-TV отдельно и в комплексе. Анализ полученных данных (таблица 2) показывает изменения размеров

кристаллитов, что может быть следствием изменения межмолекулярных сил воды затворения [19].

Учитывая такую особенность проведенных исследований в области структурного анализа цементного камня, а также основную роль химического состава минералов вяжущего, являющегося начальным источником накопления внутренней энергии, что определяет энергетическую активность сил взаимодействия можно предположить более глубокую степень гидратации при использовании воды с низким поверхностным натяжением. В результате чего, происходит высокое накопление гидросиликатов и их упрочнение, сближение микрокристаллов с вытеснением и утончением прослоек жидкости, а также сопровождающееся этим уменьшение межплоскостных расстояний в слоистой структуре.

Выводы

Проведенными исследованиями в настоящей работе установлено влияние наноструктурированных минеральных комплексных добавок на структурные и физико-механические свойства цементного камня. Снижение поверхностного натяжения в результате комплексного использования гиперпластификатора Frem Ciper S-TB и бентонитового порошка приводит к утончению пленки воды на выпуклых поверхностях частиц цемента с сохранением ее устойчивости, что позволяет расположиться частицам цемента на максимально близких расстояниях. Это способствует уплотнению структуры цементного камня, образованию более прочных связей между сближенными частицами цемента при ее гидратации. По полученным данным рентгенофазового анализа цементного камня установлено уменьшение межплоскостных расстояний и размеров кристаллитов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Абдуллаев А.М., Муртазаев С.-А.Ю. Повышение удельной поверхности цементов диспергирующим действием высокоэффективных ПАВ // Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова. 2016. № 1. С. 40-45.
2. Ахвердов И.Н. Основы физики бетона. М.: Стройиздат, 1981. 464 с.
3. Бойко М.Е., Шарков М.Д., Бойко А.М., Конников С.Г., Бобыль А.В., Будкина Н.С. Исследование атомной, кристаллической, доменной структуры материалов на основе анализа дифракционных и абсорбционных рентгеновских данных. Журнал технической физики 2015, том 85, выпуск 11. С. 1-29.
4. Дадашев Р.Х., Межидов В.Х., Джамбулатов Р.С., Элимханов Д.З. О природе особенностей изотерм поверхностного натяжения водных суспензий бентонитов // Известия РАН. Серия физическая. 2014. № 4. С. 433-435.
5. Дадашев Р.Х., Джамбулатов Р.С., Межидов В.Х., Элимханов Д.З. Особенности изотерм поверхностного натяжения водных суспензий природных бентонитов. Вестник Академии наук Чеченской Республики (АН ЧР). 2013. № 3. С. 5-10.
6. Дадашев Р.Х., Джамбулатов Р.С., Элимханов Д.З. и др. Установка по исследованию поверхностных свойств границы раздела фаз (DSA-100). Вестник Академии наук Чеченской Республики (АН ЧР). 2011. № 1. С. 13-17.

7. Дорофеев Г.А., Стрелецкий А.Н., ПовстугарИ.В., ПротасовА.В., Ельсуков Е.П. Определение размеров наночастиц методами Рентгеновской Дифракции Коллоидный журнал, 2012, том 74, №6. С. 710-720.
8. Кононенко С.А. Технологические основы модифицирования бентонита тарасовского месторождения для формовочных смесей дисс. ...канд. техн. наук. Новочеркасск. 2009. 120с.
9. Королев А.С., Хакимова Э.Ш. Мелкозернистые бетоны с нанодобавками синтетического цеолита // Бетон и железобетон. 2008. №6. С.13-15.
10. МежидовВ.Х., ВисхановС.С., ДаудоваА.Л. Химический состав и некоторые свойства бентонита месторождения катаяма (Чеченская Республика) //Известия вузов. Северо-кавказский регион. Технические науки. 2013. №4. С. 67-70.
11. Михеева Е.В., Пикула Н.П., Карбаинова С.Н. Поверхностные явления и дисперсные системы // Коллоидная химия. Томск: Изд-во ТПУ, 2008. 16 с.
12. Муртазаев С-А. Ю., Батаев Д. К-С., Абдуллаев А. М., Сайдумов М. С., Аласханова А. Х. Высокопрочные цементные композиты с использованием комплексных добавок на основе наноструктурированных минеральных компонентов. Научное обозрение, №12, 2017. С. 6-11.
13. Осипов В.И. Физико-химическая теория эффективных напряжений в грунтах // ГРУНТОВЕДЕНИЕ. 2013. №2. С. 3-34.
14. Панин В.Е., Дерюгин Е.Е., Кульков С.Н. Мезомеханика упрочнения материалов нанодисперсными включениями // Прикладная механика и техническая физика, 2010. №4. С. 127-142.
15. Пономарев А.Н. Перспективные конструкционные материалы и технологии, создаваемые применением нанодисперсныхфуллероидных систем // Вопросы материаловедения. 2001. №2. С.65-69.
16. Пономарев В.В. Изучение структуры и адсорбционных свойств природного и модифицированного бентонитов // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Технические науки. 2008. №3. С. 94-97.
17. Ребиндер П.А. Поверхностные явления в дисперсных системах // Физико-химическая механика. Москва: Наука, 1979.С. 246-250.
18. Щукин Е.Д., Перцов А.В., Амелина Е.А. Коллоидная химия. - М.: Издательство Московского университета, 1982. 348 с.
19. AbdullaevA.M., DadashevRkh., Alikhadzhiev, AbdullaevM.A-V., DzhambulatovR.S., Israilov M-A.M Surface Characteristics Of Nanosized Bentonite Suspensions As A Modifying Component Of Cement Composites//ADVANCES IN ENGINEERING RESEARCHInternational Symposium On Engineering And Earth Sciences. 2018AtlantisPress Pp. 223-227

REFERENCES

1. Abdullaev A.M., Murtazaev S.-A.Yu. Increasing the specific surface of cements with the dispersing effect of highly effective surfactants // Bulletin of BSTU named after V. G. Shukhov. 2016. No. 1. Pp. 40-45.

2. Akhverdov I.N. Fundamentals of concrete physics. M.: Stroyizdat, 1981. 464 p.
3. Boyko M.E., Sharkov M.D., Boyko A.M., Konnikov S.G., Bobyl A.V., Budkina N.S. The study of the atomic, crystalline, domain structure of materials based on the analysis of diffraction and absorption x-ray data. Journal of Technical Physics 2015, Volume 85, Issue 11. Pp. 1-29.
4. Dadashev R.Kh., Mezhidov V.Kh., Dzhambulatov R.S., Elimkhanov D.Z. On the nature of the features of surface tension isotherms of aqueous suspensions of bentonites // Bulletin of the Russian Academy of Sciences. The series is physical. 2014. No. 4. Pp. 433-435.
5. Dadashev R.Kh., Dzhambulatov R.S., Mezhidov V.Kh., Elimkhanov D.Z. Features of surface tension isotherms of aqueous suspensions of natural bentonites. Bulletin of the Academy of Sciences of the Chechen Republic (AN CR). 2013. No. 3. Pp. 5-10.
6. Dadashev R.Kh., Dzhambulatov R.S., Elimkhanov D.Z. and others. Installation for the study of surface properties of the phase boundary (DSA-100). Bulletin of the Academy of Sciences of the Chechen Republic (AN CR). 2011. No 1. Pp. 13-17.
7. Dorofeev G.A., Streletsky A.N., Povstugar I.V., Protasov A.V., Elsukov E.P. Sizing of Nanoparticles by X-Ray Diffraction Methods Colloidal Journal, 2012, Volume 74, No. 6. Pp. 710-720
8. Kononenko S.A. Technological basis for the modification of bentonite of the Tarasovskoye deposit for molding mixtures diss. ... cand. tech. sciences. Novocherkassk. 2009.120 s.
9. Korolev A.S., Khakimova E.Sh. Fine-grained concrete with nano-additives of synthetic zeolite // Concrete and reinforced concrete. 2008. No. 6. Pp. 13-15.
10. Mezhidov V.Kh., Viskhanov S.S., Daudova A.L. The chemical composition and some properties of bentonite from the Katayama deposit (Chechen Republic) // News of universities. North Caucasian region. Technical science. 2013. No4. Pp. 67-70.
11. Mikheeva E.V., Pikula N.P., Karbainova S.N. Surface phenomena and disperse systems // Colloid chemistry. Tomsk: TPU Publishing House, 2008. 16 p.
12. Murtazaev S.A. Yu., Bataev D. K.S., Abdullaev A. M., Saidumov M. S., Alashkhanova A. Kh. High-strength cement composites using complex additives based on nanostructured mineral components. Scientific Review, No. 12, 2017. Pp. 6-11.
13. Osipov V.I. Physicochemical theory of effective stresses in soils // Gruntovovedenie. 2013. No2. Pp. 3-34.
14. Panin V.E., Deryugin E.E., Kulkov S.N. Mesomechanics of hardening materials by nanodispersed inclusions // Applied Mechanics and Technical Physics, 2010. No. 4. Pp. 127-142.
15. Ponomarev A.N. Promising structural materials and technologies created by the use of nanodispersed fulleroid systems // Problems of Materials Science. 2001. No2. S.65-69.
16. Ponomarev V.V. Studying the structure and adsorption properties of natural and modified bentonites // News of universities. North Caucasus region. Technical science. 2008. No3. Pp. 94-97.
17. Rebinder P.A. Surface phenomena in disperse systems // Physico-chemical mechanics. Moscow: Nauka, 1979. Pp. 246-250.
18. Schukin E.D., Pertsov A.V., Amelina E.A. Colloid chemistry. - M.: Publishing house of Moscow University, 1982. 348 p.

19. Abdullaev A.M., Dadashev R.kh., Alikhadzhiev, Abdullaev M.A-V., Dzhambulatov R.S., Israilov M-A.M Surface Characteristics Of Nanosized Bentonite Suspensions As A Modifying Component Of Cement Composites // ADVANCES IN ENGINEERING RESEARCH International Symposium On Engineering And Earth Sciences. 2018 Atlantis Press. Pp. 223-227.