

УДК 666.972.5

DOI: <https://doi.org/10.18664/1994-7852.138.2013.102109>

Д-р техн. наук Н.М. Зайченко (ДонНАСА, г. Макеевка)

N.M. Zaichenko

**КОМПЛЕКСНАЯ МОДИФИКАЦИЯ МИКРОСТРУКТУРЫ
КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ МИНЕРАЛЬНЫХ
ВЯЖУЩИХ ВЕЩЕСТВ: ЭЛЕКТРОСТЕРИЧЕСКАЯ СТАБИЛИЗАЦИЯ
МИНЕРАЛЬНЫХ ДИСПЕРСИЙ**

**COMPLEX MODIFICATION OF MICROSTRUCTURE OF COMPOSITE
MATERIALS ON THE BASE OF MINERAL BINDINGS: ELECTROSTERIC
STABILIZATION OF MINERAL DISPERSIONS**

Постановка проблемы, анализ последних исследований и публикаций. При формировании композиционных строительных материалов из смесей, содержащих дисперсные частицы, необходима, с одной стороны, достаточная текучесть пасты, а с другой – требуемая когезия смеси для предотвращения

расслоения смеси и седиментации крупного заполнителя. Эти два требования противоречивы, очевидна задача достижения оптимального баланса между отталкиванием и притяжением частиц [1, 2].

Между дисперсными частицами могут действовать различные по своей природе силы отталкивания и притяжения,

среди которых И.Ф. Ефремов выделяет следующие [3]:

- электроповерхностные равновесные силы отталкивания;
- электроповерхностные неравновесные силы;
- силы взаимодействия микрообъектов, обладающих постоянным электрическим дипольным моментом;
- силы взаимодействия магнитных дисперсных частиц;
- молекулярные силы притяжения Ван-дер-Ваальса-Лондона;
- силы сопротивления жидких слоев, разделяющих взаимодействующие поверхности;
- капиллярные силы;
- гравитационные и центробежные силы;
- силы теплового (броуновского) движения микрообъектов.

В процессе гидратации портландцемента дисперсная система насыщается частицами гидратов коллоидных размеров, которые совершают в системе хаотичное броуновское движение. При их соударении эти частицы сцепляются по наименее гидрофильным участкам своей поверхности, связывая последние в коагуляционную структуру [4-6]. Действие сил притяжения между отдельными атомами и молекулами приводит к появлению аналогичных сил между макротелами, поверхности которых сближены до очень малых расстояний. Из условия существования сильных дальнедействующих сил притяжения между коллоидными частичками следует, что для стабилизации системы необходимо обеспечить дальнедействующее отталкивание между частичками. Принципиальная трудность заключается в необходимости свести масштаб действия сил отталкивания к масштабу действия сил притяжения (~5-10 нм). Этому требованию отвечает кулоновское отталкивание, которое является дальнедействующим по природе и может обеспечить

электростатическую стабилизацию дисперсий в результате взаимного отталкивания двойных электрических слоев [7], т.е. для стабилизации дисперсии необходима обработка поверхности частиц таким образом, чтобы исключить их непосредственное контактирование.

Согласно теории ДЛФО (Дерягин–Ландау–Verway–Overbeek) явление "флокуляция–диспергирование" частиц определяется величиной и положением потенциального барьера отталкивания – для частиц одинакового размера и знака заряда поверхности, хотя в реальной системе имеет место наличие гетероконтактов [6]. Потенциальная энергия взаимодействия двух частиц U_{DLFO} равна сумме энергий ван-дер-ваальсового притяжения U_{VDW} и электростатического отталкивания U_e :

$$U_{DLFO} = U_{VDW} + U_e. \quad (1)$$

Потенциальная энергия взаимодействия дисперсных частиц, обусловленная ван-дер-ваальсовыми силами, описывается выражением:

$$U_{VDW} = -\frac{Aa_1a_2}{6(a_1 + a_2)H_0}, \quad (2)$$

где A – константа Гамакера (для минеральных оксидов $A=1,7 \cdot 10^{-21}$ Джс); H_0 – минимальное расстояние между частицами, м; a_1 и a_2 – радиусы частиц, м; знак "-" указывает на притяжение частиц.

Потенциальная энергия электростатического взаимодействия между двумя заряженными частицами:

$$U_e = 2 \cdot \varepsilon_0 \cdot \varepsilon \cdot \chi \cdot \varphi_\delta^2 \cdot e^{-\chi h}, \quad (3)$$

$$\chi = \sqrt{\frac{2F^2 \cdot J}{\varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot R \cdot T}}, \quad (4)$$

$$J = \frac{1}{2} \times \sum_i c_{0i} z_i^2, \quad (5)$$

где $\varepsilon_0=8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м – электрическая константа; ε – относительная диэлектрическая проницаемость дисперсионной среды; φ_δ – потенциал диффузного слоя, приравненный ζ -потенциалу, В; χ – величина, обратная толщине диффузного слоя; h – расстояние между частицами, м; $F=9,65 \times 10^4$ Кл/моль – число Фарадея; J – ионная сила раствора, моль/м³; c_{0i} и z_{oi} – концентрация, моль/м³, и заряд i -го иона.

Взаимодействие двойных электрических слоев оказывает влияние на процессы агрегации цементных частиц на ранней стадии твердения. Параметры двойного электрического слоя определяются потенциалом диффузного слоя φ_δ и ионной силой раствора. Величина φ_δ определяется, в свою очередь, природой минерала и величиной pH среды. Потенциал диффузного слоя (электрокинетический потенциал) вносит преобладающий вклад в энергию взаимодействия U_e [8].

Целью работы является установление влияния электроповерхностных свойств минеральных дисперсий на энергию парного взаимодействия частиц, а также адсорбцию добавок полиэлектролитов на поверхности частиц – электростерическую стабилизацию минеральных дисперсий.

Методики исследования.

Электрокинетический потенциал частиц определен по величине потенциала протекания [9] с помощью сконструированной установки, представленной на рис. 1, по формуле:

$$\zeta = \frac{\eta \chi U}{\varepsilon_0 \Delta p}, \text{ В}, \quad (6)$$

где η – вязкость раствора электролита (0,01М раствор KCl, $\eta=8,94 \times 10^{-4}$ Па·с при 298 К); U – измеряемый потенциал протекания, В; ε – относительная диэлектрическая проницаемость дисперсионной среды ($\varepsilon=78,5$); Δp – перепад давления, Па; χ – удельная электропроводность протекающего раствора ($\chi=0,141$ См·м⁻¹).

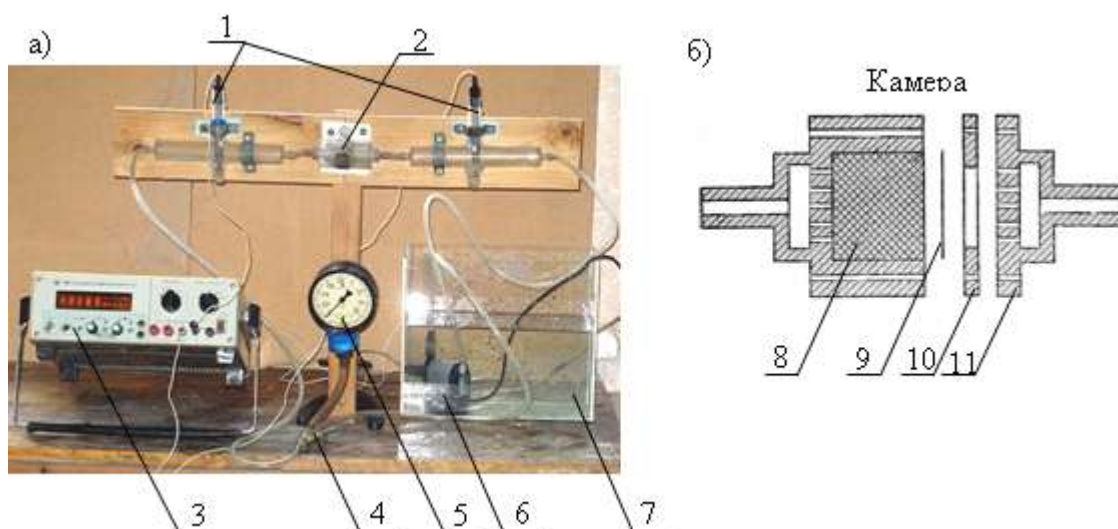


Рис. 1. Установка для измерения потенциала протекания (ζ -потенциала) дисперсных материалов (а) и схема камеры (б):

- 1 – хлорсеребряные электроды; 2 – камера; 3 – милливольтметр; 4 – кран; 5 – манометр; 6 – мининасос; 7 – емкость с раствором KCl, 8 – исследуемый материал; 9 – фильтровальная бумага; 10 – прокладка; 11 – крышка камеры

Расчет потенциальной энергии парного взаимодействия двух частиц выполнен с помощью компьютерной программы "Potential" (рис. 2) с учетом следующих условий – взаимодействие

частиц в растворе фонового электролита KCl ($C=0,01M$, $J=10$ моль/м³), температура 20°C, размер частиц портландцемента и золы-уноса 1 мкм, микрокремнезема – 0,1 мкм.

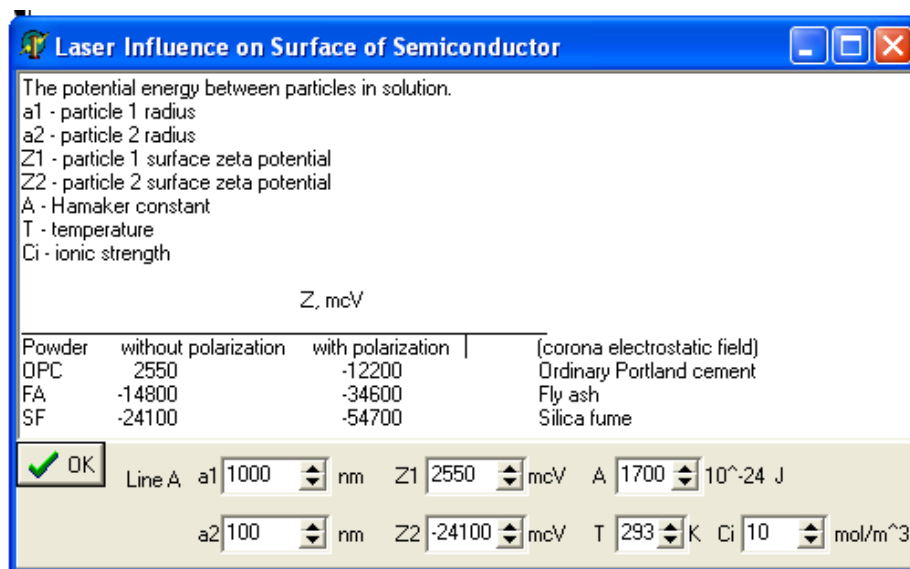


Рис. 2. Расчет потенциальной энергии парного взаимодействия двух частиц с помощью компьютерной программы "Potential"

Количество анионного полиэлектролита (суперпластификаторы С-3, FM-794), адсорбируемого из раствора поверхностью твердого тела, измерено по разности концентраций растворенного вещества до начала и после проведения адсорбции по данным спектрофотометрии (СФ-26).

Результаты экспериментов и обсуждение. Значения показателя электрокинетического потенциала для различных дисперсных минеральных материалов представлены в таблице. Установлено, что интегральный знак заряда портландцемента (ПЦ-I 42,5 N, "Балцем") положительный, в то время как зола-унос ТЭС и кремнеземистая пыль (микрокремнезем) имеют отрицательный заряд. При обработке дисперсных материалов в поле коронного разряда при отрицательной полярности коронирующего электрода (-22 кВ) абсолютное значение электрокинетического потенциала

увеличивается, при этом знак заряда для всех материалов – отрицательный.

Расчеты показывают, что в случае взаимодействия двух частиц портландцемента потенциальная энергия на всем участке их расстояния между собой является отрицательной, т.е. в системе будет преобладать притяжение, обуславливающее флокуляцию частиц и потерю агрегативной устойчивости цементной пасты. Для систем с отрицательно заряженными частицами золы-уноса и микрокремнезема преобладает отталкивание, а энергия потенциального барьера составляет соответственно 35 и 100 kT (рис. 3). D.H. Nappeг отмечает [7], что если высота первичного максимума достаточна велика (больше или равна 24 kT), то скорость коагуляции частичек становится такой медленной, что система проявляет длительную стабильность.

Таблица

Показатели электрокинетического потенциала дисперсных минеральных материалов

Наименование материала	Значение электрокинетического потенциала, мВ:	
	исходный материал	обработка в поле коронного разряда (-22 кВ)
Портландцемент	+2,55	-12,2
Зола-унос ТЭС	-14,8	-34,6
Микрокремнезем	-24,1	-54,7

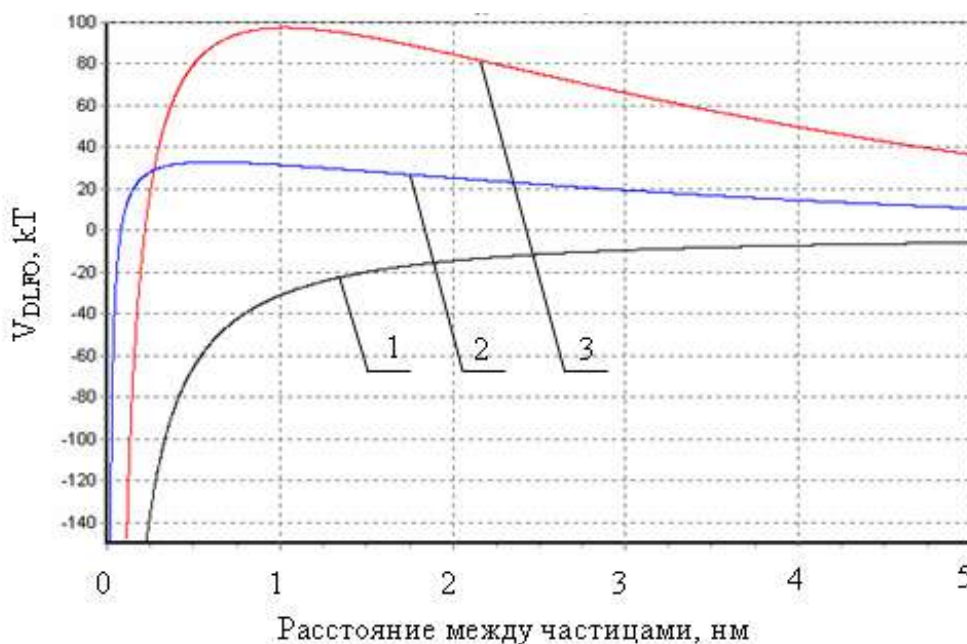


Рис. 3. Потенциальная энергия взаимодействия между дисперсными частицами в растворе фоновго электролита KCl ($C=0,01M$, $J=10$ моль/м³):

- 1 – портландцемент ($a_1=1$ мкм, $\zeta=+2,55$ мВ) – портландцемент ($a_2=1$ мкм, $\zeta=+2,55$ мВ);
 2 – зола-унос ($a_1=1$ мкм, $\zeta=-14,8$ мВ) – зола-унос ($a_2=1$ мкм, $\zeta=-14,8$ мВ);
 3 – микрокремнезем ($a_1=0,1$ мкм, $\zeta=-24,1$ мВ) – микрокремнезем ($a_2=0,1$ мкм, $\zeta=-24,1$ мВ)

После обработки дисперсных материалов в поле коронного разряда с отрицательным коронирующим электродом отмечен рост абсолютных значений ζ -потенциала, в результате во всех исследуемых системах преобладает электростатическое отталкивание, а величина энергии потенциального барьера для частиц микрокремнезема достигает очень высокого значения 750 kT (рис. 4).

В случае, когда взаимодействуют разнородные частицы с различным электроповерхностным потенциалом и

размерами, энергия взаимодействия для всех парных сочетаний частиц становится отрицательной, что указывает на образование гетероконтактов и флокуляцию частиц в дисперсных системах. При этом минимальная потенциальная энергия парного взаимодействия имеет место при контакте положительно заряженной дисперсной частицы портландцемента с отрицательно заряженной ультрадисперсной частицей микрокремнезема (рис. 5). В то же время, когда взаимодействуют частицы,

обработанные в поле коронного разряда, потенциальная энергия увеличивается, и в системах преобладает отталкивание (рис. 6). При этом максимальный эффект электростатической стабилизации отмечен для системы "портландцемент – микро-

кремнезем". Обращает внимание также факт, что высота потенциального барьера при взаимодействии частиц "портландцемент – портландцемент" ($\zeta = -12,2 \text{ мВ}$) выше, чем при контакте частиц "портландцемент ($\zeta = -12,2 \text{ мВ}$) – зола-унос" ($\zeta = -34,6 \text{ мВ}$).

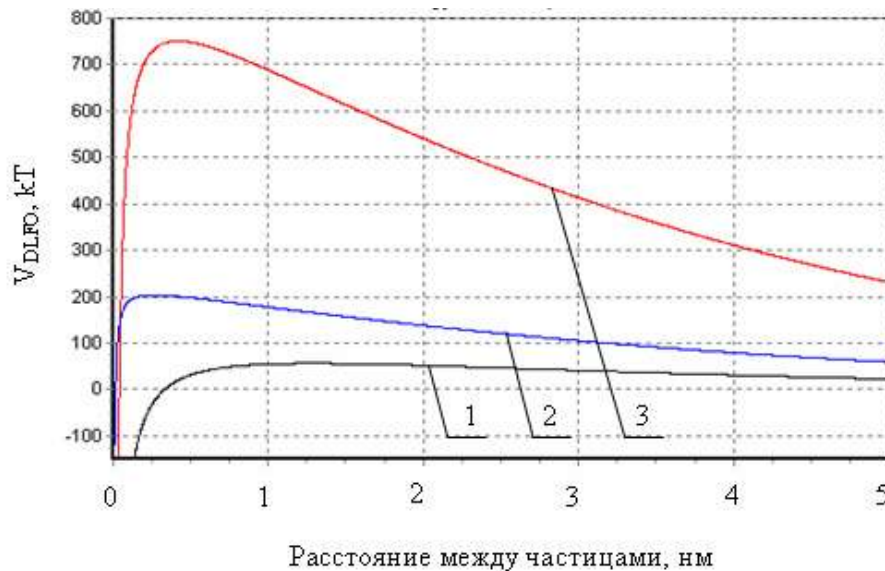


Рис. 4. Потенциальная энергия взаимодействия между дисперсными частицами в растворе фоновго электролита KCl ($C=0,01M$, $J=10$ моль/м³):

- 1 – портландцемент ($a_1=1 \text{ мкм}$, $\zeta=-12,7 \text{ мВ}$) – портландцемент ($a_2=1 \text{ мкм}$, $\zeta=-12,7 \text{ мВ}$);
- 2 – зола-унос ($a_1=1 \text{ мкм}$, $\zeta=-34,6 \text{ мВ}$) – зола-унос ($a_2=1 \text{ мкм}$, $\zeta=-34,6 \text{ мВ}$);
- 3 – микрокремнезем ($a_1=0,1 \text{ мкм}$, $\zeta=-54,7 \text{ мВ}$) – микрокремнезем ($a_2=0,1 \text{ мкм}$, $\zeta=-54,7 \text{ мВ}$)

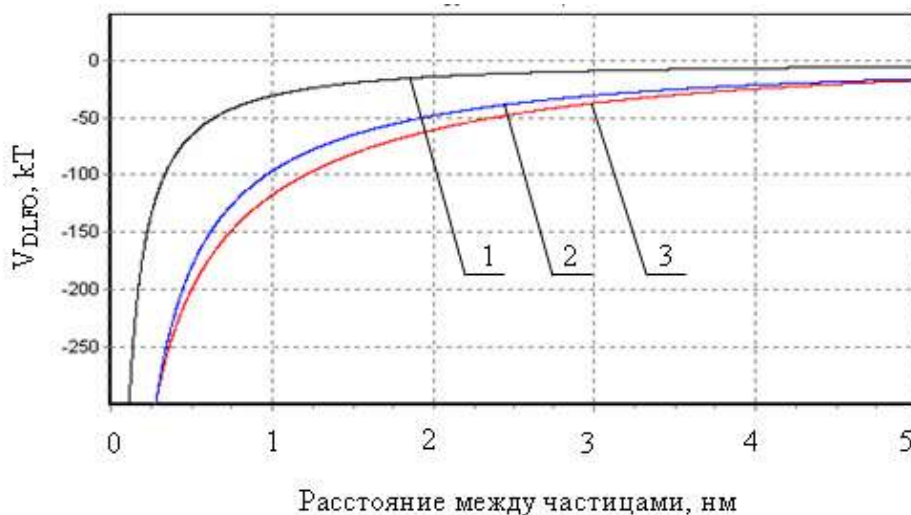


Рис. 5. Потенциальная энергия взаимодействия между дисперсными частицами в растворе фоновго электролита KCl ($C=0,01M$, $J=10$ моль/м³):

- 1 – портландцемент ($a_1=1 \text{ мкм}$, $\zeta=+2,55 \text{ мВ}$) – портландцемент ($a_2=1 \text{ мкм}$, $\zeta=+2,55 \text{ мВ}$);
- 2 – портландцемент ($a_1=1 \text{ мкм}$, $\zeta=+2,55 \text{ мВ}$) – зола-унос ($a_2=1 \text{ мкм}$, $\zeta=-14,8 \text{ мВ}$);
- 3 – портландцемент ($a_1=1 \text{ мкм}$, $\zeta=+2,55 \text{ мВ}$) – микрокремнезем ($a_2=0,1 \text{ мкм}$, $\zeta=-24,1 \text{ мВ}$)

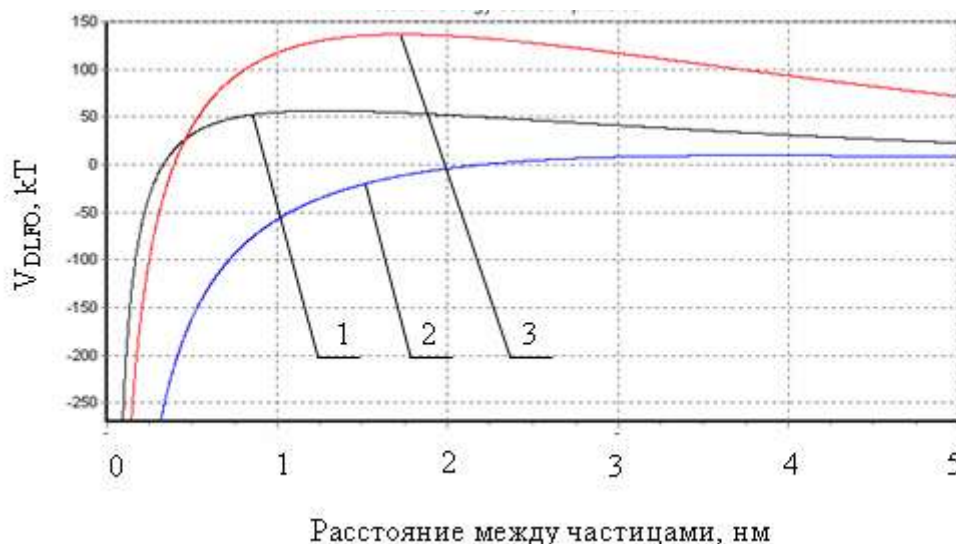


Рис. 6. Потенциальная энергия взаимодействия между дисперсными частицами в растворе фоновго электролита KCl ($C=0,01M$, $J=10$ моль/м³):

- 1 – портландцемент ($a_1=1$ мкм, $\zeta=-12,2$ мВ) – портландцемент ($a_2=1$ мкм, $\zeta=-12,2$ мВ);
- 2 – портландцемент ($a_1=1$ мкм, $\zeta=-12,2$ мВ) – зола-унос ($a_2=1$ мкм, $\zeta=-34,6$ мВ);
- 3 – портландцемент ($a_1=1$ мкм, $\zeta=-12,2$ мВ) – микрокремнезем ($a_2=0,1$ мкм, $\zeta=-54,7$ мВ)

По мнению Б.В. Дерягина [10], в случае постоянства поверхностных потенциалов при сближении частиц появляется электростатический барьер, высота которого определяется потенциалом менее заряженной частицы, а положение максимума – потенциалом более заряженной частицы. В то же время А. Бирманом высказано предположение, что потенциалы и заряды частиц являются функцией расстояния между ними [11]. Автор полагает, что для разнородных одноименно заряженных частиц на малых расстояниях может существовать электростатическое притяжение. Это объясняется перезарядкой менее заряженной частицы с изменением знака поверхностного заряда на противоположный.

Резюмируя вышеприведенные результаты расчетов, следует отметить, что, несмотря на достаточно значительный рост высоты потенциального барьера отталкивания между дисперсными частицами, обработанными в высоковольтном поле коронного разряда, вряд ли стоит ожидать сильного

реологического эффекта в дисперсных системах на основе таких частиц. Так, А.И. Вовк, проанализировав большое количество работ по установлению механизма пластификации цементных систем химическими добавками, отмечает, что некоторые традиционные ПАВ типа алкилсульфатов, алкилсульфонатов и др. снижают ζ -потенциал цементных систем до -20 мВ, однако при этом "...ни в коей мере не являются эффективными пластификаторами" [12].

С другой стороны, ранее установлено [13], что электростатическая поляризация портландцемента стимулирует его гидратацию, повышает растворимость. В свою очередь, эти процессы вызывают повышение ионной силы раствора (концентрация ионов в системе "цемент – вода" достигает своего максимума примерно через 30 минут после затворения цемента водой [8]), что приведет к рефлюкуляции частиц вследствие сжатия ДЭС и усиления ван-дер-ваальсового взаимодействия [1]. Это связано с тем, что пространственная протяженность

("толщина") ДЭС зависит от ионной силы дисперсионной среды и обычно характеризуется дебаевской длиной ($1/\chi$). Рост ионной силы существенно уменьшает толщину ДЭС – при значениях ионной силы, превышающих 10^{-1} М, толщина ДЭС менее 1 нм. В этом случае масштаб действия электростатического отталкивания недостаточен, чтобы сбалансировать ван-дер-ваальсовое притяжение, и дисперсная система коагулирует [14].

На рис. 7 приведены результаты расчета энергии парного взаимодействия частиц, аналогично данным, приведенным

на рис. 6, однако при повышенной ионной силе раствора $J=200$ моль/м³. В этом случае уже на расстоянии свыше 2 нм для всех систем преобладающим во взаимодействии частиц является молекулярное притяжение.

R.J. Flatt и др. [15] отмечают, что для повышения агрегативной устойчивости цементных паст необходима электростерическая стабилизация – комбинация электростатического отталкивания ДЭС и стерического барьера, который предотвращает коагуляцию частиц при повышении ионной силы раствора цементной пасты свыше 100 моль/м³.

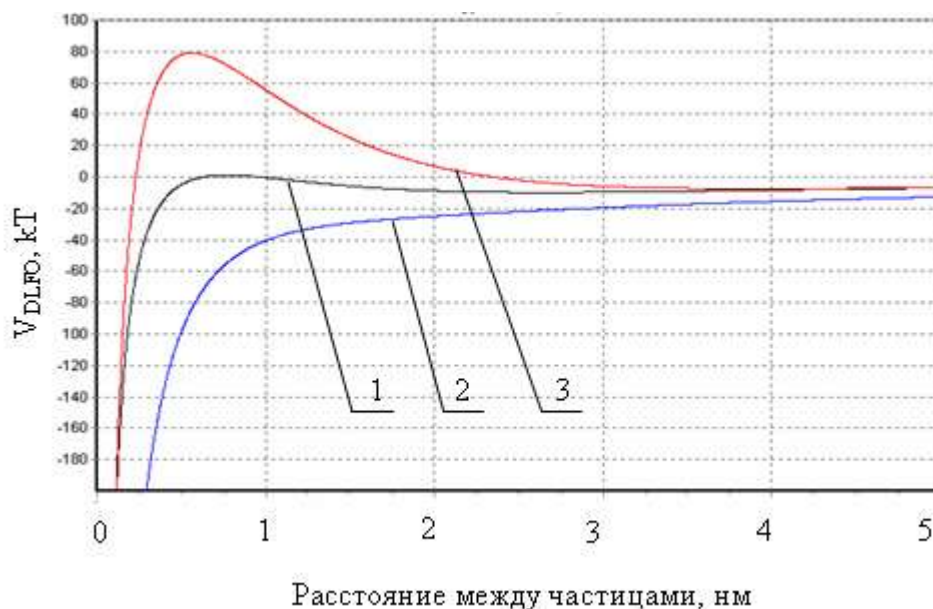


Рис. 7. Потенциальная энергия взаимодействия между дисперсными частицами в растворе фоновго электролита KCl ($C=0,2M$, $J=200$ моль/м³):

- 1 – портландцемент ($a_1=1$ мкм, $\zeta=-12,2$ мВ) – портландцемент ($a_2=1$ мкм, $\zeta=-12,2$ мВ);
- 2 – портландцемент ($a_1=1$ мкм, $\zeta=-12,2$ мВ) – зола-унос ($a_2=1$ мкм, $\zeta=-34,6$ мВ);
- 3 – портландцемент ($a_1=1$ мкм, $\zeta=-12,2$ мВ) – микрокремнезем ($a_2=0,1$ мкм, $\zeta=-54,7$ мВ)

Стерическая стабилизация достигается присоединением к поверхности слоя гибких макромолекул полимера, так называемой "полимерной щетки". Когда частицы притягивают одна другую, сжатие их полимерных покрытий приводит к упругому отталкиванию, что предохраняет от контактирования. При этом упругость полимера является энтропийной

величиной. В случае, когда пространство, содержащее гибкие полимерные молекулы, уменьшается при сжатии – число доступных конформаций снижается, проявляющееся в термодинамически не выгодном снижении энтропии [6].

Стабилизирующее или флокулирующее действие полимеров непосредственно связано с их адсорбцией на поверхности

дисперсной фазы [14]. Исходя из электрической природы центров адсорбции, можно предположить, что обработка минеральных дисперсных частиц в высоковольтном электрическом поле будет оказывать существенное влияние на их адсорбционную способность, так как адсорбция коллоидных частиц определенного знака соответствует "электрической карте" поверхности [16]. Таким образом, изменение спектра и концентрации поверхностных центров адсорбции может являться одним из ключевых факторов регулирования величины адсорбции полиэлектролитов (суперпластификаторов) на поверхности вяжущего и минеральных добавок.

Установлено [17], что количество адсорбированного суперпластификатора в форме анионного полиэлектролита в значительной мере зависит от наличия положительного заряда поверхности частиц. Обработка минеральных порошков в высоковольтном электростатическом поле коронного разряда, приводящая к повышению положительного заряда поверхности, обеспечивает увеличение величины адсорбции анионных добавок-пластификаторов и наоборот.

Выводы. Из условия существования сильных дальнедействующих сил притяжения между коллоидными частицами следует, что для стабилизации дисперсной системы необходимо масштаб

действия сил отталкивания свести к масштабу действия сил притяжения (~5-10 нм). Обработка минеральных дисперсий в высоковольтном электрическом поле обеспечивает электростатическую стабилизацию систем вследствие взаимного отталкивания двойных электрических слоев. Расчеты потенциальной энергии взаимодействия двух частиц показывают, что при повышении ионной силы поровой жидкости существенно уменьшается толщина ДЭС (при значениях ионной силы, превышающих 10^{-1} М, толщина ДЭС меньше 1 нм). В этом случае масштаб действия электростатического отталкивания недостаточен, чтобы сбалансировать ван-дер-ваальсовое притяжение. Для повышения агрегативной устойчивости цементных паст необходима электростатическая стабилизация – комбинация электростатического отталкивания ДЭС и стерического барьера, достигаемого присоединением к поверхности частиц гибких макромолекул анионного полиэлектролита (суперпластификатора). При этом регулировать величину адсорбции суперпластификатора на поверхности частиц портландцемента и минеральных добавок можно с помощью предварительной обработки дисперсных материалов в электрическом поле коронного разряда.

Список литературы

1. Kong, H.J. Effects of a strong polyelectrolyte on the rheological properties of concentrated cementitious suspensions [Text] / H.J. Kong, S.G. Bike, V.C. Li // Cem. Concr. Res. – 2006. – Vol. 36, No 5. – P. 851-857.
2. Phan, T.H. Influence of organic admixtures on the rheological behavior of cement pastes / T.H. Phan, M. Chaouche, M. Moranville [Text] // Cem. Concr. Res. – 2006. – Vol. 36, No 10. – P. 1807-1813.
3. Ефремов, И.Ф. Периодические коллоидные структуры [Текст] / И.Ф. Ефремов. – Л.: Химия, 1971. – 191 с.
4. Выродов, И.П. О некоторых вопросах физико-химии гетерогенных систем применительно к минеральным вяжущим веществам [Текст]: дис. ... д-ра хим. наук / И.П. Выродов. – Краснодар, 1963. – 333 с.

5. Дибров, Г.Д. Молекулярно-поверхностные явления в дисперсных структурах, деформируемых в активных средах [Текст]: дис. ... д-ра техн. наук: 05.23.05 / Г.Д. Дибров. – Ростов-на-Дону, 1970. – 427 с.
6. Pusey, P.N. Colloidal Systems: Ordered. – Encyclopedia of Materials: Science and Technology. – Elsevier Science Ltd, 2001. – P. 1319-1329.
7. Неппер Д. Стабилизация коллоидных дисперсий полимерами [Текст]: пер. с англ. – М.: Мир, 1986. – 487 с.
8. Соломатов, В.И. О силах взаимодействия в дисперсной цементной системе [Текст] / В.И. Соломатов, В.В. Бредихин // Изв. вузов "Строительство". – 1996. – № 3. – С. 49-52.
9. Практикум и задачник по коллоидной химии. Поверхностные явления и дисперсные системы [Текст]: учеб. пособие для вузов / В.В. Назаров, А.С. Гродский, А.Ф. Моргунов и др.; под ред. В.В. Назарова, А.С. Гродского. – М.: ИКЦ "Академкнига", 2007. – 376 с.
10. Дерягин, Б.В. Адгезия твердых тел [Текст] / Б.В. Дерягин, Н.А. Кротова, В.П. Смилга. – М.: Наука, 1973. – 280 с.
11. Bierman, A. Electrostatic forces between monidentical colloidal particles // J. of Colloid and Inter. Sci. – 1955. – Vol. 10, No 3. – P. 143-148.
12. Вовк, А.И. Современные представления о механизме пластификации цементных систем [Текст] / А.И. Вовк // Мат-лы II Всероссийской конф. по бетону и железобетону. – М., 2005. – С. 740-753.
13. Matviyenko, V.A. Hardening of Cements, Polarized in Electric Field / V.A. Matviyenko, N.M. Zaitchenko // 10-th International Congress on the Chemistry of Cement, 2-6 June 1997: Proc. – Gothenburg (Sweden), 1997. – Vol. 2. – 2ii076. – 4 pp.
14. Баран, А.А. Электроповерхностные явления и устойчивость полимерсодержащих дисперсных систем [Текст]: дис. ... д-ра хим. наук: 02.00.11 / А.А. Баран. – К., 1980. – 476 с.
15. Flatt, R.J. The rheology of cementitious materials / R.J. Flatt, N.S. Martys, L. Bergström // MRS Bulletin. – 2004. – Vol. 29, No 5. – P. 314-318.
16. Челидзе, Т.Л. Электрическая спектроскопия гетерогенных систем [Текст] / Т.Л. Челидзе, А.И. Деревянко, О.Д. Куриленко. – К.: Наук. думка, 1977. – 231 с.
17. Зайченко, Н.М. Высокопрочные тонкозернистые бетоны с комплексно модифицированной микроструктурой [Текст]: монография / Н.М. Зайченко. – Макеевка: ДонНАСА, 2009. – 207 с.

Ключевые слова: минеральное вяжущее, композиционный материал; высоковольтное электрическое поле, микроструктура.

Аннотации

Досліджено вплив обробки дисперсних мінеральних частинок портландцементу, золи-виносення та мікрокремнезему в електричному полі коронного розряду на величину електрокінетичного потенціалу. Виходячи з одержаних результатів, з використанням комп'ютерної програми "Potential" виконано розрахунок потенційної енергії парної взаємодії дисперсних частинок. Показано, що підвищення негативного значення ξ -потенціалу забезпечує електростатичну стабілізацію дисперсної системи. В той же час, в процесі гідратації в'язучого при підвищенні іонної сили порової рідини суттєво зменшується товщина ПЕШ. В цьому випадку масштаб дії електростатичного відштовхування є недостатнім, щоб збалансувати ван-дер-ваальсове тяжіння.

Исследовано влияние обработки дисперсных минеральных частиц портландцемента, золы-уноса и микрокремнезема в электрическом поле коронного разряда на величину

электрокинетического потенциала. Исходя из полученных данных, с помощью компьютерной программы "Potential" выполнен расчет потенциальной энергии парного взаимодействия дисперсных частиц. Показано, что повышение отрицательного значения ξ -потенциала обеспечивает электростатическую стабилизацию дисперсной системы. В то же время, в процессе гидратации вяжущего при повышении ионной силы поровой жидкости существенно уменьшается толщина ДЭС. В этом случае масштаб действия электростатического отталкивания недостаточен, чтобы сбалансировать ван-дер-ваальсовое притяжение.

The effect of treatment of dispersed mineral particles of Portland cement, fly ash and silica fume in the electric field of corona discharge on the value of zeta potential has been investigated. Based on the data obtained by a computer program "Potential" the calculation of the potential energy of the pair interaction of dispersed particles was done. It is shown that an increase of the negative value of zeta potential provides the electrostatic stabilization of the dispersed system. At the same time, increasing ionic strength of the pore fluid during hydration of the binder substantially reduces the thickness of Double Electric Layer. In this case, the scale of the action of the electrostatic repulsion is not sufficient to balance the van der Waals attraction.