

ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ЭЛЕКТРОКИНЕТИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ ПРИ УПЛОТНЕНИИ ЗОЛОБЕТОННЫХ СМЕСЕЙ ВИБРОВАКУУМИРОВАНИЕМ

Савицкий Н.В., *д.т.н., проф.*, Павленко Т.М., *к.т.н., доц.*,
Аббасова А.Р., *асп.*

ГВУЗ "Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры", Днепропетровск, Украина

Постановка проблемы. Зола тепловых электростанций представляет собой очень дисперсный и пористый строительный материал ($S_{уд}=4500...7000 \text{ см}^2/\text{г}$), что является причиной ее высокой водопотребности. Из-за этого область использования золы в бетонах и строительных растворах в настоящее время ограничена, так как высокая водопотребность приводит к снижению прочности и других свойств бетонов (растворов) и, соответственно, ведет к значительному перерасходу цемента в сравнении с обычными (традиционными) бетонами (растворами) [1, 2]. При получении равнопрочных изделий высокая развитая поверхность золы приводит к существенной роли электрокинетических явлений в бетонах и растворах. Исходя из этого, по нашему мнению, управлять водопотребностью бетонных смесей (растворов) на золе можно в два приема:

- сжатие двойного электрического слоя на частицах твердой фазы путем добавки электролита в оптимальном количестве;
- уплотнение золобетонных смесей вакуумированием (вибробакуумированием).

Обзор литературы. Рассматривая электрокинетические явления в уплотняемой золобетонной смеси, воспользуемся основными допущениями и упрощениями, принятыми при изложении научных результатов в коллоидной химии [3-5]. С учетом этого, для упрощения будем рассматривать, в основном, плоский двойной электрический слой, хотя в суспензиях высокой дисперсности такой слой практически не встречается. Подобное упрощение допустимо, так как толщина двойного слоя мала по сравнению с радиусом кривизны поверхности частиц твердой фазы или ее капилляров.

Кроме того, при рассмотрении двойного электрического слоя примем ряд следующих общих положений, из которых исходили все авторы теории его строения. Двойной электрический слой состоит из ионов

одного знака, относительно прочно связанных с поверхностью дисперсной твердой фазы (потенциалопределяющие ионы), и эквивалентного количества противоположно заряженных ионов, находящихся в жидкой дисперсионной среде вблизи межфазной поверхности (противоионы). Заряд на поверхности твердой фазы в первом приближении рассматривается как поверхностный заряд, равномерно распределенный по всей поверхности частиц. Между противоионами и свободными (не входящими в двойной электрический слой) ионами того же знака, находящимися в жидкости (дисперсионной среде), существует динамическое равновесие. Дисперсионная среда рассматривается как непрерывная фаза, влияние которой на двойной электрический слой определяется лишь ее диэлектрической проницаемостью. Обобщающими характеристиками двойного электрического слоя являются общий скачок потенциала (ϕ_0) и электрокинетический потенциал (ζ -потенциал).

Рассмотрим, как влияет на оба эти потенциала введение в нашу суспензию индифферентного, а затем неиндифферентного электролита. При введении индифферентного электролита общий скачок потенциала почти не изменяется. Совсем другие закономерности изменения электрокинетического потенциала – ζ -потенциала. С повышением концентрации вводимого электролита вследствие того, что для компенсации потенциалопределяющих ионов требуется всегда одно и то же (эквивалентное) число зарядов противоположного знака, толщина диффузного слоя уменьшается. Как принято говорить, двойной электрический слой сжимается и ζ -потенциал, отвечающий плоскости скольжения жидкости при электрофорезе или электроосмосе, уменьшается.

При достаточно больших концентрациях электролита диффузный слой может сжаться до моноионного слоя, и двойной электрический слой, таким образом, превратится в слой Гельмгольца-Перрена. Понятно, что поскольку этот слой будет находиться ближе к поверхности твердой частицы, чем плоскость скольжения, ζ -потенциал будет равен нулю.

Влияние неиндифферентного электролита, один из ионов которого способен достраивать кристаллическую решетку дисперсной фазы, заключается в том, что потенциалопределяющий ион этого электролита может повышать потенциал ϕ_0 , а находящийся с ним в паре ион, одноименный с зарядом противоиона, способен сжимать двойной электрический слой. При малых концентрациях неиндифферентного электролита проявляется, в основном, первая тенденция, связанная с поверхностным действием иона, способного достраивать кристаллическую решетку. При больших концентрациях, когда достройка кристал-

лической решетки завершена, превалирует вторая тенденция. Поэтому при введении в суспензию постепенно увеличивающегося количества неиндифферентного электролита ζ -потенциал сначала возрастает, а потом падает, проходя через максимум.

Основной материал. Приведенные закономерности предусматривается учитывать при определении рациональных расходов электролитов в бетонные смеси, с целью получения наибольшей эффективности от вакуумной обработки при уплотнении бетонов.

При выполнении исследований применяли цементно-зольную смесь состава 1 : 3 (цемент : зола). В опытах использовали портландцемент М400 (г. Кривой Рог) и золу Приднепровской ТЭС (табл. 1).

Таблица 1
Химический состав золы Приднепровской ТЭС

Марки и классы углей	Химический состав, %							НУЧ, %
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO+ Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O + Na ₂ O	SO ₃	
АШ, АС, АСШ, ПрПр	47...56	18...25	14...20	2...4	1...1,6	3,2...4,5	0,1...0,8	14...26

Модуль основности зол, вычисленный по данным табл. 1, находится, в основном, в пределах 0,04...0,08. Таким образом, золы от сжигания донецких углей относятся к сверхкислым.

Исследования с помощью светового микроскопа показали, что минеральная часть зол ТЭС на 90...92% состоит из стекла – стекловидной фазы [6]. Основным компонентом этой фазы является кремнезем, который в значительной степени формирует физические и химические свойства золы.

В качестве электролитов применяли распространенные в строительстве добавки – хлористый кальций (CaCl₂) и хлористый натрий (NaCl).

Подвижность (консистенцию) цементно-зольной смеси определяли на встряхивающем столике (ГОСТ 310. 4-81).

В исследованиях добавку электролита вводили в цементно-зольную смесь в количестве 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5 и 3,0% от расхода цемента. Подвижность (консистенция) исходной цементно-зольной смеси при определении ее по указанной методике составила РК=126 мм. Результаты исследований приведены на рис. 1.

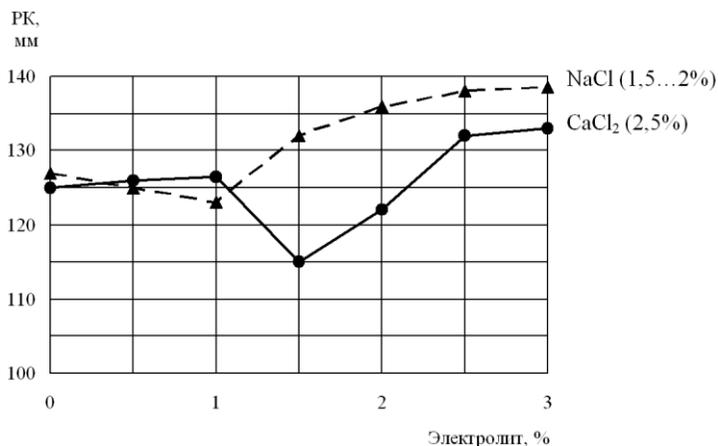


Рис. 1. Изменение подвижности (консистенции) цементно-зольной смеси в зависимости от расхода электролита и его вида

При введении в цементно-зольную смесь электролита NaCl вначале подвижность смеси уменьшается, что свидетельствует о достройке кристаллической решетки на частицах твердой фазы (дисперсной среды) и, соответственно, увеличении толщины диффузного слоя, что приводит к уменьшению количества дисперсионной среды и, соответственно, к уменьшению подвижности (консистенции) цементно-зольной смеси. Такие закономерности наблюдаются при добавке NaCl до 1,0...1,5% от расхода цемента. Затем, как и следовало ожидать, при дальнейшем увеличении расхода электролита наблюдается значительное увеличение подвижности (консистенции) цементно-зольной смеси (до $PK=136$ мм) за счет значительного сжатия диффузного слоя.

Аналогичные закономерности получены при использовании $CaCl_2$, но увеличение подвижности цементно-зольной смеси наблюдается при добавке этого электролита в количестве 2...2,5%.

Таким образом, исходя из полученных результатов исследований, электролиты хлористый натрий и хлористый кальций по отношению к исследуемой цементно-зольной смеси являются неиндифферентными.

По нашему мнению уменьшение толщины диффузного слоя на частицах и в капиллярах твердой фазы (дисперсной среды) и, соответственно, увеличение объема дисперсионной среды должно существенно повлиять на процесс вибровacuумной обработки цементно-зольной смеси (по продолжительности вибровacuумирования), так и на качество вакуумбетона.

Это подтверждено нашими дальнейшими исследованиями. Как и в предыдущих опытах использовали цементно-зольную смесь состава 1 : 3, подвижность исходной смеси (без добавки электролита) характеризовалась осадкой конуса – ОК=10 см. При добавке электролитов (NaCl, CaCl₂) в оптимальном количестве подвижность этой смеси увеличилась до ОК=12 см.

Из каждого вида золобетонной смеси формовали образцы размером 15x15x7 см для определения плотности и прочности в возрасте 28 суток при следующих режимах и способах уплотнения (с учетом предыдущих исследований). Из бетонной смеси исходного состава образцы формовали вибрационным способом продолжительностью 25...30 с, вибровакуумированные – после предварительного виброуплотнения продолжительностью 15...20 с, подвергали вакуумированию при разрежении 0,7...0,8 (полный вакуум принят за единицу). В процессе вакуумирования применяли периодическое вибрирование (два приема по 10...12 с через каждые 2 мин). Общая продолжительность вибровакуумирования составляла 12 мин., при этом было удалено 88...110 л воды в пересчете на 1м³ вакуумбетона. Все отформованные образцы твердели в нормальных условиях.

Составы цементно-зольных виброуплотненных и вибровакуумированных смесей и бетонов приведены в табл. 2.

На рис. 2. даны результаты исследований по продолжительности вибровакуумирования и количеству извлеченной воды при вакуумной обработке золобетонных смесей.

Рассматривая результаты исследований, можно прийти к такому заключению. Добавка электролитов NaCl, CaCl₂ в оптимальном количестве в золобетонную смесь повышает ее подвижность, позволяет сократить продолжительность вибровакуумирования, увеличивает количество извлеченной воды, при этом при вакуумной обработке прочность золобетонов повышается в 1,6...2 раза.

Плотность сухого золобетона находится в пределах 1400...1500 кг/м³, что дает возможность использовать золобетон как стеновой материал (стеновые камни, крупные стеновые блоки и др.)

Широкое использование таких золобетонов в строительстве дает возможность решить проблему местных заполнителей, а также утилизации отходов ТЭС, способствует охране окружающей среды.

Вывод. Исследовано влияние электролитов на подвижность цементно-зольной смеси и свойства золобетона. Электролиты хлористый натрий и хлористый кальций являются неиндифферентными по отношению рассматриваемой цементно-зольной смеси. Добавка их в бетонную смесь в оптимальном количестве позволяет сократить продолжи-

тельность вибровакуумирования, увеличить количество извлеченной воды, повысить качество уплотнения бетона, существенно увеличить прочность бетона.

Таблица 2

Характеристики золобетонных смесей и золобетонов

Вид бетонов	Плотность бетонов, кг/м ³	Количество извлеченной воды, л/м ³	Состав бетонов (кг/м ³)			Прочность при сжатии, МПа
			Цемент	Зола	Вода	
Бетон без добавки электролита (подвижность исходной бетонной смеси ОК=10 см)						
Виброуплотненный	1641	-	280	875	490	7,6
Вибровакуумированный	1652	83	297	928	431	10,2
Бетон с добавкой электролита NaCl (подвижность исходной бетонной смеси изменилась – ОК=12 см)						
Виброуплотненный	1634	-	278	869	487	8,2
Вибровакуумированный	1643	93	292	912	439	12,4
Бетон с добавкой электролита CaCl ₂ (подвижность исходной бетонной смеси изменилась – ОК=12 см)						
Виброуплотненный	1630	-	278	867	465	8,4
Вибровакуумированный	1678	98	301	938	434	13,3

Summary

It is shown in the article that the electrolytes sodium and calcium chloride are not indifferent against considered cement-ash mixture. Adding them in a concrete mix in the optimum amount allows reducing the duration of vibrovacuumizing, increasing the amount of extracted water, improving quality of compaction and significant increasing strength of the concrete.

Литература

1. Waste materials used in concrete manufacturing [Text] / edited by S. Chandra. – U.S.A.: Noyes Publications, 1997. – 677 p.

2. Siddique, R. Waste materials and by-products in concrete [Text] / R. Siddique. – Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2008 – 413 p.

3. Воюцкий, С. С. Курс коллоидной химии [Текст] : учеб. пособие для вузов / С. С. Воюцкий. – М.: Химия, 1976. – 512 с.

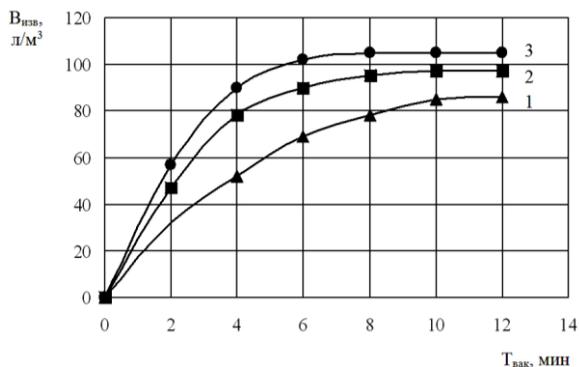


Рис. 2. Количество извлеченной воды при вакуумировании цементно-золяной смеси в зависимости от вида электролита: 1 – без добавки электролита; 2 – с добавкой электролита NaCl; 3 – то же, CaCl₂

4. Фрумкин, А. Н. Двойной слой и механизм электрохимических процессов [Текст] / А. Н. Фрумкин // Советская наука. – 1941. – №3. – С. 36-56.

5. Захарченко, В. Н. Коллоидная химия [Текст] : учеб. пособие для вузов / В. Н. Захарченко. – М.: Высшая школа, 1974. – 216 с.

6. Сергеев, А. М. Использование в строительстве отходов энергетической промышленности [Текст] : монография / А. М. Сергеев. – К.: Будівельник, 1984. – 120 с.

7. Сторожук, Н. А. Вибровакуумирование бетонных смесей и свойства вакуумбетона [Текст] : монография / Н. А. Сторожук. – Д.: Пороги, 2008. – 251 с.