

УДК 66.09:539.4+622.7

к.т.н. Науменко В. Г.

(ДонГТУ, г. Донецк, ДНР, andiline.mail@gmail.com)

РЕГУЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОКИНЕТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ВОДОУГОЛЬНЫХ СУСПЕНЗИЙ В ПРОЦЕССАХ ОБОГАЩЕНИЯ

Работа посвящена сравнительному анализу двух методов регулирования электрокинетических свойств водоугольных суспензий — реагентному и безреагентному. Установлены закономерности изменения дзета-потенциала частиц различных марок донецких углей в зависимости от pH суспензии. Показано, что способ регулирования существенно не влияет на характер этих зависимостей. Предпочтительным является безреагентный метод как экологически более безвредный. Обосновано ведение технологических процессов обогащения в кислой или щелочной среде, когда достигается минимальное значение дзета-потенциала угольных частиц.

Ключевые слова: водоугольная суспензия, дзета-потенциал угольных частиц, электрокинетические свойства, методы регулирования.

Проблема и её связь с научными и практическими задачами. Электрокинетические явления в водоугольных суспензиях решающим образом влияют на ряд технологических процессов в обогащении полезных ископаемых, связанных с ионообменными процессами на границе раздела фаз «уголь — вода»: флотацию, флокуляцию, масляную грануляцию, сгущение, обезвоживание и т. п. [1, 2].

Анализ исследований и публикаций. В практике углепереработки сегодня применяются реагентные методы регулирования показателя pH суспензии. Однако этот метод имеет ряд недостатков. Во-первых, он нуждается в использовании дорогих и дефицитных и опасных в эксплуатации реагентов-регуляторов. Во-вторых, сопровождается коррозионным износом оборудования. В-третьих, не является экологически чистым, что в последнее время приобретает решающее значение [3]. Кроме того, электрокинетические явления во многом определяют свойства высококонцентрированных водоугольных суспензий как объектов для транспортирования и сжигания в специальных топках [4]. Следовательно, проблема регулирования электрокинетических свойств водоугольных смесей является актуальной.

Цель данной работы — исследование характера зависимости дзета-потенциала

угольных частиц (ζ -потенциала) от pH суспензии, а также сравнительный анализ реагентного и безреагентного методов регулирования показателя pH среды, который существенным образом влияет на электрокинетические явления на границе «уголь — вода».

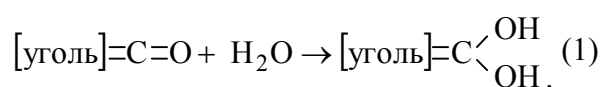
Объект исследования — электрокинетические свойства водоугольных суспензий.

Предмет исследования — способы регулирования этих свойств, закономерности изменения ζ -потенциала угольных частиц в зависимости от pH суспензии.

Изложение материала и результаты. Продолжительный контакт с водой приводит к существенным изменениям поверхностных свойств. Интенсивные ионообменные процессы сопровождаются возникновением на угольной поверхности двойных электрических слоёв (ДЭС), мощных гидратных плёнок, которые существенно затрудняют сближение и контакт угольных зёрен и различных реагентов в процессах подготовки и обогащения углей. Кроме того, гидратные плёнки, толщина и прочность которых во многом определяются структурой ДЭС, являются серьёзным препятствием для эффективного сгущения и обезвоживания продуктов обогащения. Очевидно, наилучшие условия для протекания указанных процессов имеют

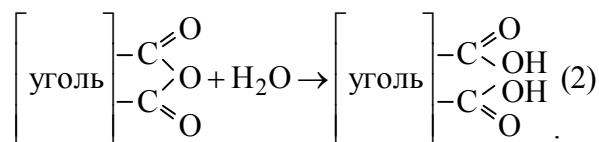
место при минимальном заряде угольной поверхности, или когда её ζ -потенциал равняется нулю [5, 6].

Величина и знак заряда угольной поверхности определяются природой поверхностных ионогенных групп, а также характером ионообменных процессов на границе «уголь — вода». Возникновение ионогенных групп, диссоциирующих по щелочному типу, можно представить как результат взаимодействия оксидов на поверхности угля с молекулами воды:



Формирование положительного заряда поверхности, вероятно, происходит в результате возникновения на поверхности радикалов типа $[\text{C} =]$ после отщепления гидроксидов OH^- от ионогенных групп, которые возникают по указанной реакции.

Возникновение диссоциирующих по кислотному типу групп можно представить как результат взаимодействия оксидов на поверхности с молекулами воды:

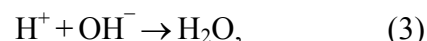


Формирование отрицательного заряда поверхности происходит в результате возникновения на поверхности радикалов типа $[-\text{COO}^-]$ после отщепления протонов от карбоксильных групп, которые образуются по указанной реакции.

Методика исследований. С целью определения величины и знака ζ -потенциала частиц углей в воде, а также его зависимости от pH суспензии нами проведены исследования методом электроосмоса. Дзета-потенциал угля измеряли на приборе оригинальной конструкции кафедры коллоидной и физической химии Донецкого национального технического университета. Исследования проводились на донецких углях марок Д, Ж и Т. Регуляторами ки-

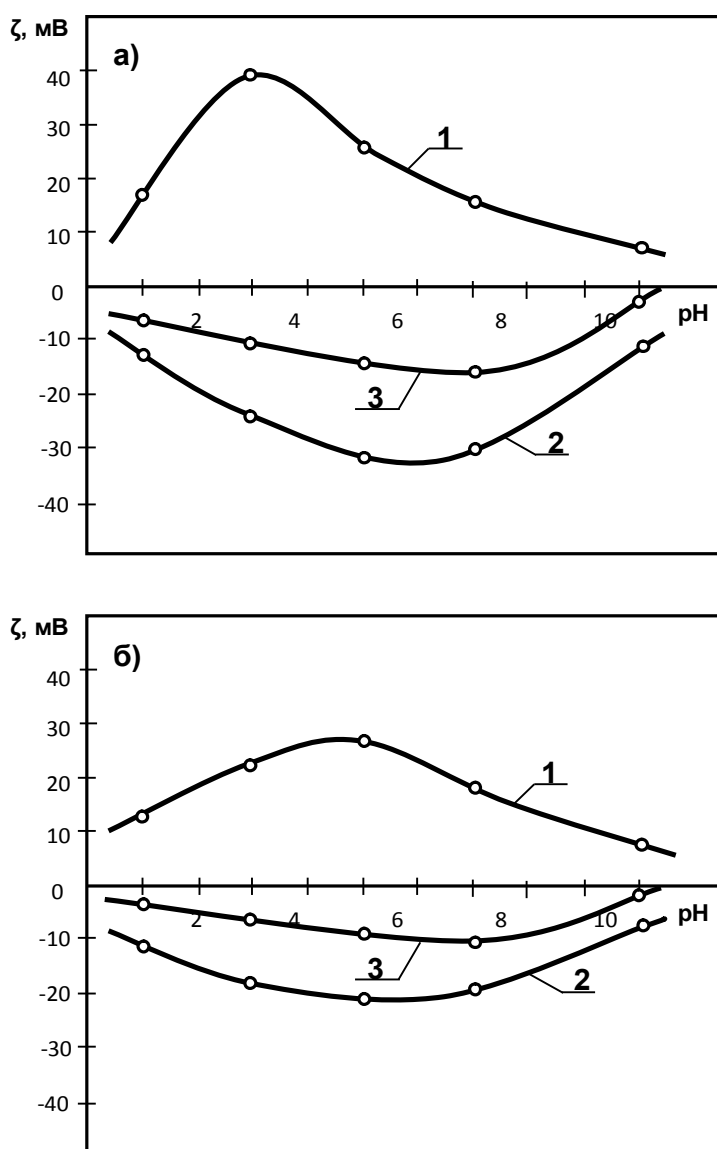
слотно-щелочных свойств среды по первому варианту (реагентный метод регулирования) были приняты соляная кислота и гидроксид натрия соответственно.

Установлено (рис. 1, а), что в диапазоне pH суспензии 1–11 угли марок Ж и Т имеют отрицательный знак заряда поверхности, а уголь марки Д — положительный. Для всех проб угля наблюдается экстремальный характер зависимости $\zeta = f(\text{pH})$. Причём для угля марки Г ζ -потенциал частиц в кислой среде сначала возрастает, а потом по мере увеличения pH суспензии падает, достигая экстремального значения при $\text{pH} = 3-3,2$. В условиях стабильной ионной силы среды, которая выдерживалась во всей серии экспериментов, ДЭС имеет постоянную толщину. Можно предположить, что при подкислении среды до $\text{pH} = 3-3,2$ в пределах ДЭС протекает реакция



которая приводит, в силу связывания OH^- -ионов, к дальнейшей диссоциации поверхностных ионогенных групп. В результате этого возрастает положительный заряд поверхности и, следовательно, ζ -потенциал.

Максимальная величина ζ -потенциала достигается в момент предельной диссоциации всех ионогенных групп и при максимальном положительном заряде поверхности угольных частичек. Дальнейшее повышение концентрации протонов вплоть до $\text{pH} = 1$ ведёт к снижению количества гидроксильных ионов в диффузном слое противоионов согласно реакции (3). В результате уменьшается толщина диффузного слоя ДЭС, а значит, и величина ζ -потенциала. Если предположить, что такое объяснение справедливо, то становится понятным уменьшение величины электрокинетического потенциала в щелочной области. Действительно, гидроксид натрия относительно данной системы является индифферентным электролитом. Поэтому увеличение концентрации гидроксил-ионов приводит к увеличению ζ -потенциала угольной поверхности.



1 — уголь марки Д; 2 — уголь марки Ж; 3 — уголь марки Т

Рисунок 1 Зависимости ζ -потенциала донецких углей от рН суспензии:
а — реагентный метод регулирования рН; б — безреагентный метод

В случае угля марок Ж и Т для зависимостей $\zeta=f(\text{pH})$ также характерно снижение абсолютной величины электрокинетического потенциала в щелочной и кислой областях (см. рис. 1, а). Очевидно, снижение абсолютной величины ζ -потенциала по мере роста концентрации протонов в суспензии (кислотная область) связано с проявлением соляной кислотой свойств индифферентного электролита, то есть электролита, который имеет одинаковый с противоионами ДЭС угольных частиц ион — H^+ . По мере

увеличения в суспензии концентрации такого электролита толщина ДЭС приближается к толщине адсорбционного слоя. В результате электрокинетический потенциал угольных частиц уменьшается. Снижение ζ -потенциала в щелочной среде, вероятно, вызвано упомянутым процессом связывания в диффузной части ДЭС противоионов H^+ по реакции (3).

Существует безреагентный метод изменения рН воды путём её обработки электрическим током. Его суть состоит в дис-

социации молекул воды под действием электрического поля постоянного тока на ионы OH^- и H^+ , которые разделяют под действием того же поля на катион- и анионсодержащие фракции воды.

В наших опытах применялся прибор для электролиза воды, который представлял собой сосуд объемом 400 мл, оборудованный двумя графитовыми электродами и тканевой диафрагмой, разделяющей сосуд на анодное и катодное отделения. Последние имели сливные отверстия для вывода соответствующей фракции ионизированной воды. Напряжение на электродах составляло 220 В, сила тока — 1 А. Продолжительность электролиза — 5 минут. За исходную бралась водопроводная вода с показателем $\text{pH}=7,8-8,2$. Измеренный диапазон pH составлял 2–10.

Используя катион- и анионсодержащие фракции воды готовили их смеси с разными показателями pH , помещали в них пробу исследуемого угля и определяли зависимость ζ -потенциала от показателя pH . Согласно методике эксперимента, обязательным условием было достижение сорбционного равновесия в водоугольной смеси, которая достигалась выдержкой угля в суспензии на протяжении суток.

Характер зависимостей $\zeta(\text{pH})$ практически идентичный для обоих способов регулирования pH суспензии (см. рис. 1, б). Наблюдается несколько «сглаженный», «мягкий» характер кривых $\zeta(\text{pH})$ в случае безреагентного метода регулирования pH . Из этого можно сделать предположение, что способ регулирования pH среды существенно не влияет на характер процессов в межфазной зоне «уголь — вода». Очевидно, решающим является абсолютное значение концентрации ионов H^+ и OH^- , а не способ их достижения. Именно эти ионы, по-видимому, формируют двойной электрический слой на поверхности угля в воде.

Безреагентный метод регулирования показателя pH среды может быть с успехом использован в процессах обогащения

полезных ископаемых, в частности физико-химических процессах переработки горючих ископаемых. Зависимость эффективности процессов флотации, флокуляции и т. п. от pH водоугольной суспензии обуславливает востребованность этой технологии для регулирования соответствующих процессов. Вместе с тем продукты технологического процесса обогащения (концентраты, отходы, фугаты, фильтраты и др.) в случае безреагентного метода регулирования pH не содержат химически активных примесей (регуляторов среды).

Выводы и направления дальнейших исследований.

1. Для всего исследуемого угля Донецкого бассейна наблюдается экстремальный характер зависимости $\zeta=f(\text{pH})$ при заметном снижении электрокинетического потенциала в кислой и щелочной областях. Исходя из этого, следует ожидать существенного повышения эффективности процессов обогащения при их ведении в кислой или щелочной среде. При этом в суспензиях с $\text{pH}=1$ и $\text{pH}=10-10,5$ достигается практически одинаковое снижение ζ -потенциала частиц угля. Как показывают исследования, в большинстве случаев водородный показатель технической воды, которая используется на углеобогащительных фабриках, составляет 7–8. Следовательно, в случае реагентного метода регулирования ведение физико-химических процессов обогащения в слабощелочной среде более экономично, так как нуждается в меньших расходах электролитов-регуляторов.

2. Способ регулирования электрокинетических свойств существенно не влияет на характер зависимостей $\zeta(\text{pH})$. Предпочтительным является безреагентный метод как экологически более безвредный.

В дальнейших исследованиях следует обратить внимание на теоретическое обоснование безреагентного метода регулирования pH водоугольных суспензий в конкретных разновидностях процессов физико-химической переработки и обогащения углей.

Библиографический список

1. Курченко, И. П. Состояние, проблемы и перспективы развития обогащения углей в Украине [Текст] / И. П. Курченко, А. А. Золотко // Обогащение полезных ископаемых : научн. техн. зб. — 2004. — Вып. 20 (61). — С. 3–13.
2. Смирнов, В. О. Технологія збагачення вугілля [Текст] / В. О. Смирнов, П. В. Сергєєв, В. С. Білецький. — Донецьк : Східний видавничий дім, 2011. — 476 с.
3. Саранчук, В. И. Физико-химические основы переработки горючих ископаемых [Текст] / В. И. Саранчук, В. В. Ошовский, Г. А. Власов. — Донецк : Східний видавничий дім, 2001. — 304 с.
4. Круть, О. А. Водовугільне паливо [Текст] / О. А. Круть. — К. : Наукова думка, 2002. — 172 с.
5. Саранчук, В. И. Основы химии і фізики горючих копалин [Текст] / В. И. Саранчук, М. О. Ільяшов, В. В. Ошовський, В. С. Білецький. — Донецьк : Східний видавничий дім, 2008. — 640 с.
6. Сергєєв, П. В. Селективна флокуляція вугільних шламів органічними реагентами [Текст] : монографія / П. В. Сергєєв, В. С. Білецький. — Донецьк : Східний видавничий дім, 2010. — 240 с.

© Науменко В. Г.

**Рекомендована к печати к.т.н., доц. каф. ОПИ ДонНТУ Корчевским А. Н.,
к.т.н., доц. каф. РМПИ ДонГТУ Леоновым А. А.**

Статья поступила в редакцию 02.03.20.

к.т.н. Науменко В. Г. (ДонНТУ, м. Донецьк, ДНР, andiline.mail@gmail.com)

РЕГУЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРОКІНЕТИЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ВОДОВУГІЛЬНИХ СУСПЕНЗІЙ В ПРОЦЕСАХ ЗБАГАЧЕННЯ

Роботу присвячено порівняльному аналізу двох методів регулювання електрокінетичних властивостей водовугільних суспензій — реагентному та безреагентному. Встановлено закономірності зміни дзета-потенціалу часток різних марок донецького вугілля в залежності від рН суспензії. Показано, що спосіб регулювання суттєво не впливає на характер цих залежностей. Кращим є безреагентний метод як екологічно більш безпечний. Обґрунтовано ведення технологічних процесів збагачення в кислому або лужному середовищі, коли досягається мінімальне значення дзета-потенціалу вугільних часток.

Ключові слова: водовугільна суспензія, дзета-потенціал вугільних часток, електрокінетичні властивості, методи регулювання.

PhD in Engineering Naumenko V. G. (DonNTU, Donetsk, DPR, andiline.mail@gmail.com)

REGULATION OF ELECTROKINETIC PROPERTIES OF COAL-WATER SLURRY IN TREATMENT PROCESSES

The paper is devoted to a comparative analysis of two methods for regulating the electrokinetic properties of coal-water slurry — reagent and reagentless treating. There have been determined the regularities of changing zeta potential particles of different grades of Donetsk coal on the pH slurry. It is shown that the method of regulation does not significantly affect the nature of these dependencies. A reagentless method is preferable, as it is more environmentally friendly. It is justified to conduct technological treatment processes in an acidic or alkaline environment, when the minimum value of zeta potential of coal particles is reached.

Key words: coal-water slurry, zeta potential of coal particles, electrokinetic properties, control methods.