

УДК 662.7:537.8

Пинчук В.А. – канд. техн. наук, доц., НМетАУ, Украина

Должанский А.М.- докт. техн. наук, проф., НМетАУ, Украина

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ВОДОУГОЛЬНЫХ СУСПЕНЗИЙ

В настоящее время в связи с расширением применения электромагнитных воздействий для предварительной подготовки и дальнейшей переработки топлив исследование их электрических свойств представляет научный и практический интерес. Экспериментальными исследованиями установлено, что водоугольная суспензия характеризуется начальным электрическим потенциалом порядка 12...200 мВ в зависимости от марки угля, из которого приготовлено топливо, что свидетельствует о спонтанной поляризации водоугольной суспензии. Кроме того, полученные результаты свидетельствуют о наличии в водоугольной суспензии явлений поляризации, связанной с подвижными носителями зарядов (электронами, ионами), и о развитии во времени процессов концентрационной поляризации.

Установлено, что удельное электрическое сопротивление водоугольной суспензии изменяется в диапазоне от 0,4 до 2,3 Ом·м в зависимости от вида исходного угля в топливе и значения напряжения.

Ключевые слова: водоугольная суспензия, электрический ток, поляризация, двойной электрический слой, удельное электрическое сопротивление

Введение

Одним из известных современных направлений повышения эффективности термической переработки угля является его использование в виде водоугольной суспензии, представляющей собой коллоидно-дисперсную систему, состоящую из тонкоизмельченного угля, воды и реагента-пластификатора. По своим теплофизическим, теплотехническим и электрическим свойствам водоугольная суспензия - вид топлива, характеристики которого существенно отличаются от характеристик составляющих его веществ [1, 2].

В настоящее время в связи с расширением применения электромагнитных воздействий для предварительной подготовки и дальнейшей переработки топлив исследование их электрических свойств представляет научный и практический интерес.

Одним из важных показателей электрических свойств топлива, в частности, водоугольной суспензии, является электрическое сопротивление и ее обратная величина – электропроводимость. Именно эти величины в

зависимости от ряда факторов определяют оптимальный уровень параметров предварительной электромагнитной подготовки и переработки топлива.

Постановка задачи и задачи исследований

Известно, что по своим электрическим свойствам угли низкой стадии метаморфизма являются диэлектриками, средней стадии - полупроводниками, антрациты – проводниками [3, 4]. При этом, по своей природе электропроводимость у них различна: у углей низкой стадии метаморфизма - ионная, у углей средней стадии - смешанная ионно-электронная, у антрацитов – электронная. Электропроводимость углей меняется в широких пределах в зависимости от влажности, степени углефикации, содержания минеральных примесей, петрографического состава, причем на разных стадиях метаморфизма влияние этих факторов различно (например, для бурых углей существенное влияние оказывает влажность, а для каменных углей и антрацитов — степень метаморфизма и содержание минеральных компонентов) [3, 4].

В технической литературе сведения о прямых измерениях электрических свойств водоугольных суспензий отсутствуют. Известны лишь немногочисленные данные об уровнях электрокинетического потенциала для смеси угля с водой [5].

Также известно, что в дисперсных системах, представителями которых являются и водоугольные суспензии, имеет место не только электронная («дырочная») проводимость, но и ионная, а также - перенос зарядов дисперсной фазой и токи смещения. Существенным при этом становятся физико-химический состав (количество органических и минеральных составляющих, их электропроводность и присутствие ионногенных групп) и физические свойства (дисперсность, форма и др.) дисперсной фазы, а также свойства (прежде всего – электропроводимость и количество) дисперсионной фазы в суспензии [6].

Как правило, в суспензии спонтанно формируется так называемый «двойной электрический слой» (ДЭС) [7]. ДЭС возникает при контакте дисперсной (твердой или жидкой) и дисперсионной (обычно - жидкой) фаз. При этом, на поверхности частиц дисперсной фазы образуется слой ионов в результате одного из механизмов: адсорбция ионов из раствора и переход электронов из одной фазы в другую; адсорбция в межфазном слое ионов одного знака и диссоциация поверхностного соединения; ориентирование полярных молекул на границе дисперсной и дисперсионной фаз.

Наложение на суспензию внешнего электрического поля приводит к ее поляризации (отклонение электродного потенциала от равновесного при прохождении электрического тока) одного или одновременно нескольких видов: электронная, ионная и дипольная, релаксационная, миграционная (концентрационная), спонтанная и др. [8]. В частности, спонтанная поляризация предполагает наличие некоторого исходного электрического

потенциала в суспензии, который может внести искажения в формирование и определение ее электрических свойств.

Дополнительную роль играет поляризация ДЭС, поскольку потенциал его поляризации совпадает по направлению с внешним электрическим полем и усиливает его, что отражается на значениях электропроводимости суспензии.

Представленные данные свидетельствуют о весьма сложном механизме формирования электропроводности суспензий вообще и водоугольных суспензий, в частности, и необходимости проведения экспериментальных исследований для определения закономерностей протекания электромагнитных процессов в водоугольной суспензии и ее электрических свойств.

Методика исследований и анализ полученных результатов

Экспериментальные исследования проводились для водоугольных суспензий, полученных из углей разной стадии метаморфизма¹. Характеристика исследуемых образцов водоугольных суспензий приведена в таблице 1.

Таблица 1

Характеристика образцов водоугольных суспензий

Исследуемая водоугольная суспензия	Содержание твердой фазы, %	Характеристика исходного угля		
		Зольность, %	Влага, %	Выход летучих, %
ВУС из бурого угля	58	19	18,5	40,1
ВУС из газового угля	65	59,9	3,5	17,4
ВУС из длинно-пламенного угля	65	34,7	12,2	26,2
ВУС из жирного угля	70	50,0	4,1	18,9
ВУС из тощего угля	68	17,9	4,5	8,4
ВУС из антрацита	70	43,5	5,2	3,8

При предварительных исследованиях электрических свойств указанных образцов водоугольных суспензий с прямым измерением электрического сопротивления R на постоянном напряжении $U=0,5...4$ В с последующим пересчетом на удельное сопротивление ρ и удельную электропроводимость

¹ Образцы водоугольных суспензий изготовлены в Институте коллоидной химии и химии воды НАН Украины (в отделе физико-химической механики дисперсных систем, зав. отделом, д.т.н., проф. Макаров А.С.).

Э установлено следующее.

Водоугольная суспензия характеризуется начальным электрическим потенциалом порядка 12...200 мВ в зависимости от марки угля, из которого приготовлено топливо, что свидетельствует о наличии эффекта ее спонтанной поляризации.

Выявлена явная зависимость результатов измерений R от уровня исходного напряжения U и времени действия электрического потенциала: наибольшие значения R и ρ наблюдалось при меньших значениях U и в начальный момент измерений. При увеличении U и времени воздействия электродного потенциала R и ρ уменьшаются, а ξ увеличивается. Переполюсовка омметра вызывала импульс («скачок») показаний прибора. Также отмечена коагуляция дисперсной фазы водоугольной суспензии на положительном электроде.

Полученные результаты свидетельствуют о наличии в водоугольной суспензии явлений поляризации, связанной с подвижными носителями зарядов (электронами, ионами), и о развитии во времени процессов концентрационной («мицельной») поляризации.

Влияние концентрационной поляризации на электропроводимость водоугольной суспензии исключили путем проведения аналогичных измерений при импульсном включении измерительной цепи. При этом, в диапазоне $U \leq 1,5...1,8$ В выявили значения R и ρ существенно меньшие (а ξ - большие), чем при постоянном включении прибора. Эти данные свидетельствуют о наличии некоторого электрического потенциала, при котором активно идет концентрационная поляризация водоугольной суспензии.

С точки зрения учета явлений и сохранения поляризации водоугольной суспензии, например, при ее транспортировке интерес представляют данные об изменении во времени остаточного потенциала после снятия импульса внешнего электрического поля. Полученные экспериментальные данные свидетельствуют о резком (за доли секунды) падении исходного электрического потенциала в 2...3 раза и последующем медленном (до десятков и сотен секунд) уменьшении потенциала до исходного уровня спонтанной электризации.

Для уменьшения концентрационной поляризации, что может быть важным для ряда промышленных применений водоугольных суспензий, согласно данным [8] следует повышать частоту электромагнитного воздействия. Также интерес представляют электрические свойства водоугольных суспензий, соответствующие более высоким значениям напряжения электрического поля (до 150 В).

В рамках этой задачи по определению значений электрических свойств водоугольных суспензий, приготовленных из разных марок угля разработана экспериментальная установка, принципиальная схема и фотография которой представлены на рис. 1.

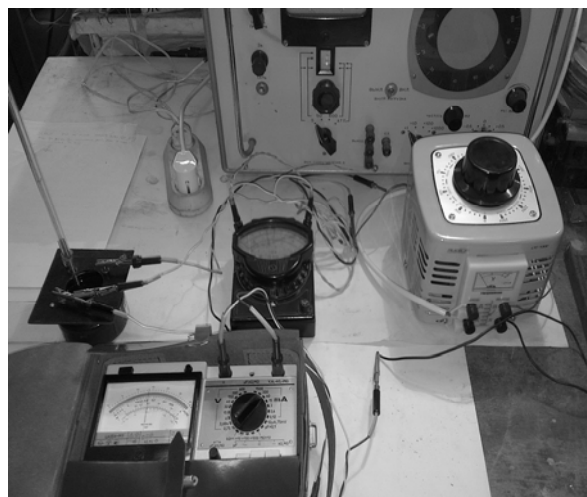
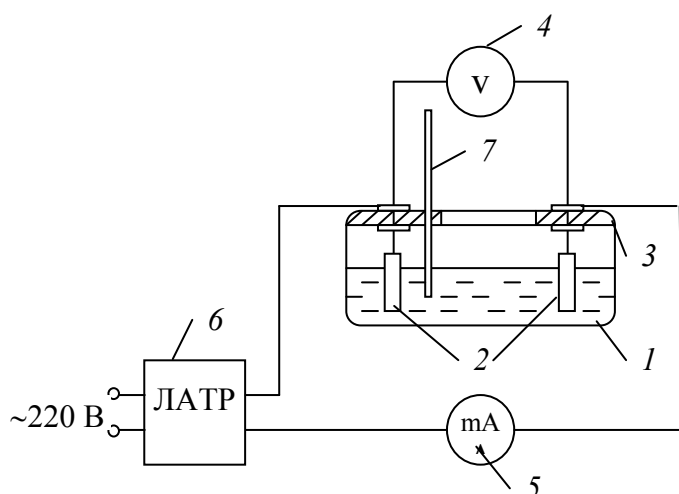
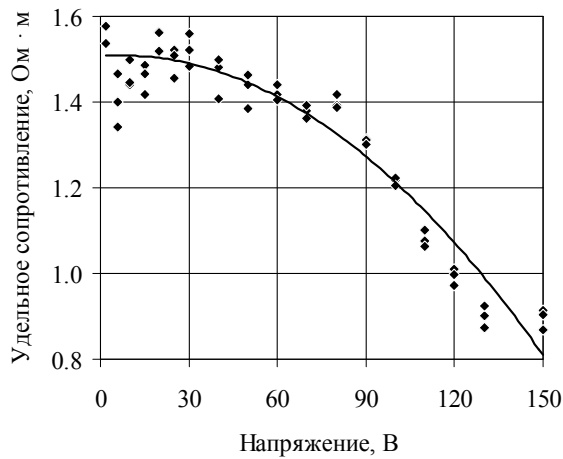


Рисунок 1 – Принципиальная схема и фотография экспериментальной установки для определения электрических свойств водоугольного топлива

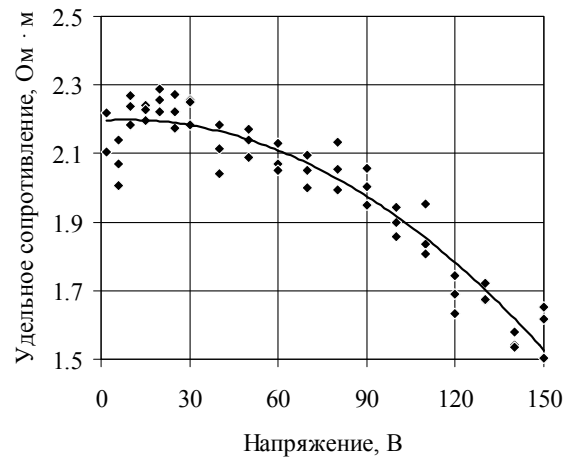
Экспериментальная установка состоит из емкости с образцом водоугольной суспензии *1*, в которой размещены медные электроды *2*, закрепленные в крышке *3*, что обеспечивало необходимый стабильный уровень размещения электродов в емкости по высоте. Для измерений в схеме предусмотрены стандартные вольтметр переменного тока *4* и миллиамперметр переменного тока *5*. Исследования проводились при напряжении U электрического тока с частотой 50 Гц, необходимый уровень которого обеспечивался лабораторным автотрансформатором *6* типа LTC-1000. Измерение температуры водоугольной суспензии во время исследований производилось термометром *7*, размещенным в отверстии крышки. В последней также было предусмотрено отверстие для перемешивания суспензии (при необходимости).

Результаты исследований влияния напряжения на удельное электрическое сопротивление образцов водоугольных суспензий при переменном токе приведены на рис.2 (а-е).

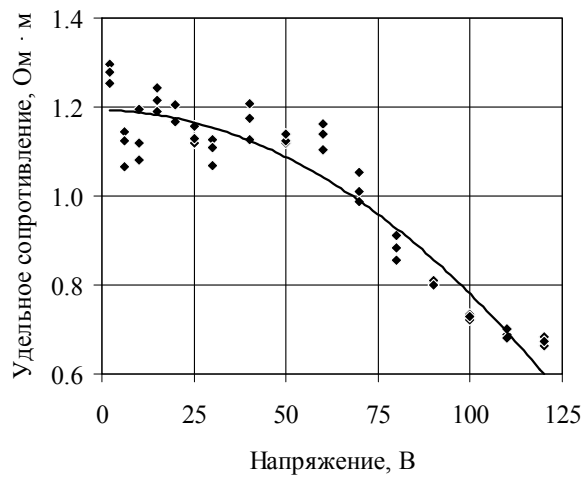
При увеличении напряжения до определенных значений наблюдалось повышение температуры топлива, а при значениях напряжения 120...140 В происходило вскипание водоугольной суспензии. На графиках рис. 2 это коррелируется с интенсивным уменьшением значений удельного сопротивления водоугольных суспензий. С достаточным обоснованием можно ожидать, что при дальнейшем росте U графики зависимости $\rho = f(U)$ будут асимптотически стремиться к некоторому соответствующему минимальному значению ρ .



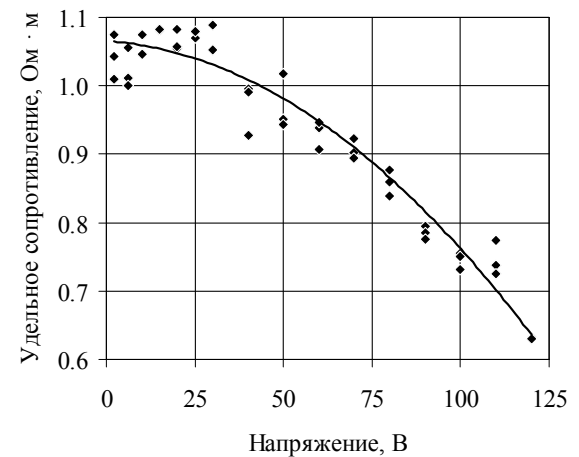
а



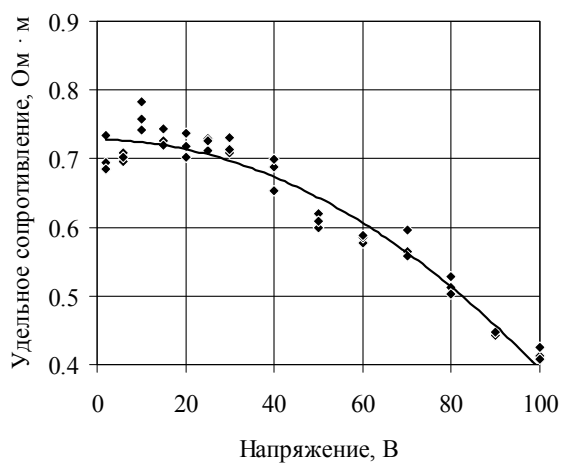
б



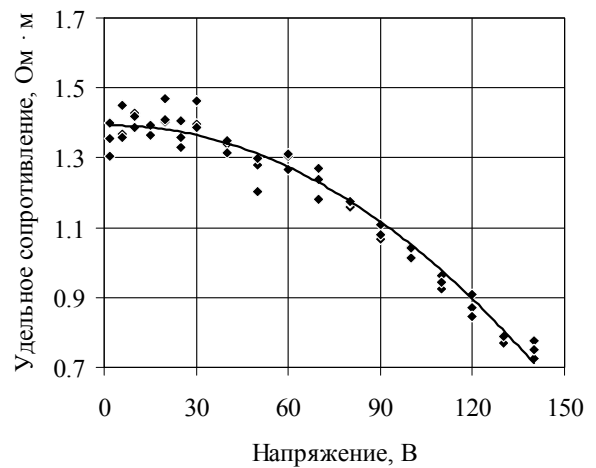
в



г



д



е

Рисунок 2 – Зависимость удельного электрического сопротивления от напряжения для водоугольной суспензии из углей: бурого (а); длиннопламенного (б); газового (в); жирного (г); тощего (д); антрацита (е)

Как видно из представленных данных, удельное электрическое сопротивление водоугольного топлива изменяется в диапазоне от 0,4 до 2,3 Ом·м в зависимости от вида исходного угля и значения напряжения. При этом, известно, что удельное электрическое сопротивление непосредственно углей составляет: для бурых и каменных углей - $1 \cdot 10^7 \dots 1 \cdot 10^9$ Ом·м, для антрацитов - $5 \cdot 10^3 \dots 2 \cdot 10^4$ Ом·м [3], а водной дисперсионной фазы - для технической воды 10...30 Ом·м, а для дистиллированной воды около 10^4 Ом·м [8].

Различия в уровнях ρ на рис. 2 позволяют предположить, что на значение удельного электрического сопротивления водоугольных суспензий оказывают влияние содержание водной фазы, степень метаморфизма исходного угля, содержание минеральных компонентов в нем. Известно, что при увеличении содержания минеральных компонентов электрическое сопротивление углей возрастает, а представленные образцы водоугольных суспензий характеризуются значительным содержанием этих компонентов.

Проведенные исследования и полученные данные свидетельствуют о наличии сложных процессов, протекающих в водоугольных суспензиях при электрических воздействиях на них. Дальнейшие исследования будут направлены на определение влияния степени измельчения угольных частиц, состава примесей, влажности, температуры и других факторов на электрические свойства водоугольных суспензий.

Практическое применение полученных результатов исследования электрических свойств водоугольных суспензий может быть непосредственно связано с разработкой технологии электромагнитной обработки топлива с целью повышения эффективности и технологичности его использования.

Выводы

В настоящее время в связи с расширением применения электромагнитных воздействий для предварительной подготовки и дальнейшей переработки топлив исследование их электрических свойств представляет научный и практический интерес. Одним из важных показателей электрических свойств водоугольной суспензии, является электрическое сопротивление и ее обратная величина – электропроводимость.

Выполненный анализ полученных данных и явлений, которые протекают при электрическом воздействии на водоугольную суспензию, показал наличие сложного механизма формирования электропроводности водоугольных суспензий и зависимость от большого количества параметров.

Для определения электрических свойств водоугольных суспензий, приготовленных из разных марок угля, разработана экспериментальная установка и проведены исследования влияния напряжения, частоты тока и времени воздействия на удельное электрическое сопротивление образцов водоугольных суспензий.

Как показали исследования, водоугольная суспензия характеризуется начальным электрическим потенциалом порядка 12...200 мВ в зависимости от марки угля, из которого приготовлено топливо, что свидетельствует о наличии эффекта ее спонтанной поляризации. Кроме того, полученные результаты свидетельствуют о наличии в водоугольной суспензии явлений поляризации, связанной с подвижными носителями зарядов (электронами, ионами), и о развитии во времени процессов концентрационной поляризации.

Удельное электрическое сопротивление водоугольного топлива изменяется в диапазоне от 0,4 до 2,3 Ом·м в зависимости от вида исходного угля и значения напряжения. Исследования показали, что на значение удельного электрического сопротивления водоугольных суспензий оказывают влияние содержание водной фазы, степень метаморфизма исходного угля, содержание минеральных компонентов в нем.

При увеличении напряжения до определенных значений наблюдалось повышение температуры топлива, а при значениях напряжения 120...140 В происходило вскипание водоугольной суспензии.

Практическое применение полученных результатов исследования электрических свойств водоугольных суспензий может быть непосредственно связано с разработкой технологии электромагнитной обработки топлива с целью повышения эффективности и технологичности его использования.

Список литературы

1. Делягин Г.Н., Петраков А.П., Головин Г.С., Горлов Е.Г. Водные дисперсионные системы на основе бурых углей как энергетическое и технологическое топливо // Российский химический журнал. -1997.- №6.- С. 72-77.
2. Пинчук В.А., Губинский М.В. Потапов Б.Б. Использование водоугольного топлива и продуктов его переработки в энергетике и металлургии // Металургійна теплотехніка: Збірник наукових праць Національної металургійної академії України. – Дніпропетровськ: «Нова ідеологія». -2009.– Выпуск 1(16).-с. 144-149.
3. Химия и переработка угля /В.Г. Липович, Г.А. Калабин, И.В. Калечиц и др. – М.: Химия, 1988.-336 с.
4. Агроскин А.А. Физические свойства угля. - М.: Металлургиздат, 1961. - 308 с.
5. Белосельский Б.С., Новицкий Н.В. Исследование электрических свойств водно-угольных суспензий/Теплоэнергетика.- 1986.- №3. –с. 42-44.
6. Духин С.С. Электропроводность и электрокинетические свойства дисперсных систем. – К.: Наукова думка, 1975. – 248с.
7. Духин С.С., Шилов В. Н. Диэлектрические явления и двойной слой в дисперсных системах и полиэлектролитах.- Киев: Наукова думка.- 1975.-246 с.

8. Большая энциклопедия нефти и газа [электронный ресурс – режим доступа к данным <http://ngpedia.ru/>].