

УДК 544.77+662.757



К. В. МАКАРОВА,
канд. хим. наук
(ИКХХВ им. А. В. Думанского
НАН Украины)



А. С. МАКАРОВ,
доктор техн. наук
(ИКХХВ им. А. В. Думанского
НАН Украины)



Д. П. САВИЦКИЙ,
канд. хим. наук
(ИКХХВ им. А. В. Думанского
НАН Украины)



А. И. ЕГУРНОВ,
канд. техн. наук
(ЗАО «АНА-ТЕМС»)

Влияние температуры на реологическое поведение водоугольных суспензий на основе антрацита

Изучено влияние температуры на реологические характеристики высококонцентрированных водоугольных суспензий на основе антрацита и показано, что с повышением температуры вязкость систем уменьшается независимо от применяемого химического реагента.

В топливно-энергетическом комплексе Украины уголь – основной вид топлива. Около трети добываемого угля используется металлургической промышленностью, а остальная часть – в энергетике. Перспективным направлением эффективности использования угля в качестве топлива является создание высококонцентрированных водоугольных суспензий. Этот вид топлива безопасен на всех стадиях производства и транспортирования, а также позволяет снизить количество вредных выбросов в атмосферу при сжигании [1]. Особый интерес для использования в качестве дисперсной фазы высококонцентрированных водоугольных суспензий представляет антрацит, что связано с его высокой калорийностью по сравнению с другими видами угля.

Водоугольные суспензии (ВУС) на основе малозольного антрацита ($A^d < 10\%$) должны обладать высокой текучестью, седиментационной и агрегативной устойчивостью при высоких кон-

центрациях твердой фазы. Однако повышение концентрации угля в суспензии возможно только до определенного предела, выше которого получить однородную систему вязкостью до 2 Па·с трудно. В процессе получения и использования такого топлива надо учитывать и влияние температуры, которая может изменяться во время транспортирования, перекачивания насосами или при подаче к форсункам [2, 3].

Реологические свойства ВУС – основной показатель, характеризующий их технологическую пригодность [4]. Они определяются физико-химическими процессами, которые происходят между дисперсной фазой и дисперсионной средой системы, и должны рассматриваться в определенных условиях их использования. В работах [5, 6] и других приводится влияние температуры на реологические характеристики водоугольных суспензий на основе бурого угля и других марок. Для водоугольных суспензий на основе малозольного антрацита такие исследования до настоящего времени не проводились.

В ходе исследования использовали антрацит зольностью $A^d = 5,4\%$. Для получения ВУС уголь измельчали в щековой дробилке до 0 – 3 мм, затем проводи-

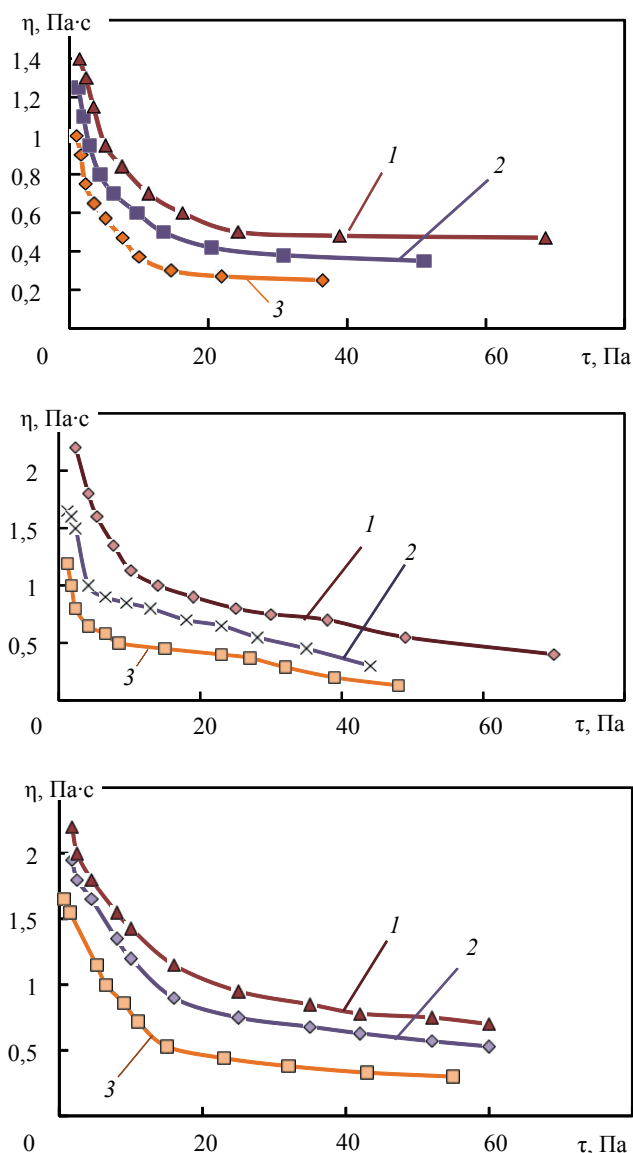


Рис. 1. Зависимость вязкости ВУС антрацита ($C_T = 68\%$) от напряжения сдвига с использованием химических реагентов: а – 1% ДФ; б – 1% [85% ДФ + 15% Na_2CO_3] + H_2O ; в – 1% [85% ДФ + 15% Na_2CO_3] + H_2O , стабилизированной 0,01 г/100 г угля Na-КМЦ при: 1 – 20 °С; 2 – 40 °С; 3 – 60 °С.

ли механохимическую обработку методом мокрого помола в шаровой мельнице рабочим объемом 2 дм³. В качестве реагентов регуляторов реологических свойств высококонцентрированных водоугольных суспензий на основе малозольного антрацита применяли дофен (ДФ – продукт конденсации нафталинсульфокислоты с формальдегидом) совместно с карбонатом натрия [7].

Высокомолекулярные соединения – эффективные стабилизаторы дисперсных систем, весьма ма-

лые количества которых могут увеличить седиментационную и агрегативную устойчивость растворов. Стабилизирующее действие водорастворимых полимеров объясняется образованием структурированных водных растворов, в которых вода связывается макромолекулами полимера. В качестве стабилизаторов ВУС на основе малозольного антрацита исследовали следующие водорастворимые полимеры: полиакриламид (ПАА), полиэтиленимин (ПЭИ), поливинилпирролидон (ПВП), полиэтиленкарбоксилат (ПЭК), натрий карбоксиметилцеллюлозу (Na-КМЦ). В качестве дисперсионной среды использовали дистиллированную воду [8].

Основные реологические параметры водоугольных суспензий – эффективную вязкость $\eta_{\text{эф}}$ (Па·с) и напряжение сдвига τ (Па) – определяли на приборе «Rheotest'2» с помощью коаксиальных гладких цилиндров измерительной системы S/S2 при скоростях сдвига $D_r = 1 \dots 437,4 \text{ с}^{-1}$, термореологические параметры – в специальной термостатированной ячейке, прилагающейся к прибору. Термостатирование происходило с помощью жидкостного циркуляционного термостата U15C конструктивного ряда MLW (Германия).

Во время исследования реологических характеристик водоугольных суспензий на основе малозольного антрацита при массовой доле твердой фазы 68% с различными химическими реагентами (таблица) было установлено, что наиболее седиментационно устойчивы системы, в которых в качестве стабилизаторов применялись ПАА и Na-КМЦ. При использовании ПЭИ, ПВП и ПЭК в суспензиях образуется плотный осадок и седиментационная устойчивость не превышает и 5 сут. Кроме того, с повышением температуры ВУС с различными химическими реагентами от 20 до 60 °С вязкость уменьшается для всех систем независимо от применяемого химического реагента.

Как видно из рис. 1, кривые имеют вогнутый вид при температурах 20, 40, 60 °С, что указывает на псевдопластический тип течения. Увеличение напряжения сдвига при одной и той же температуре сопровождается сначала резким, а затем более плавным падением вязкости до определенных значений напряжения сдвига, когда вязкость становится наименьшей и далее остается постоянной. В областях напряжения сдвига до 20 Па резко снижается вязкость суспензии, что характеризуется интенсивным разрушением связей в структуре. При 30 – 60 Па система ведет себя как ньютоновская жидкость с постоянной вязкостью – это соответ-

АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ ВИДЫ ТОПЛИВА

Состав	Вязкость, Па·с, при температуре, °С					Седиментационная устойчивость, сут
	20	30	40	50	60	
1 % ДФ + H ₂ O	0,86	0,76	0,70	0,62	0,57	1
1 % [85 %ДФ + 15 %Na ₂ CO ₃] + H ₂ O	1,39	1,25	0,96	0,94	0,87	4
1 % [(85 %ДФ+15 %Na ₂ CO ₃)+H ₂ O] + 0,01 г/100 г угля ПАА	0,50	0,50	0,30	0,26	0,20	7
1 % [(85 %ДФ+15 %Na ₂ CO ₃)+H ₂ O] + 0,01 г/100 г угля ПЭИ	0,60	0,50	0,40	0,40	0,20	4
1 % [(85 %ДФ+15 %Na ₂ CO ₃)+H ₂ O] + 0,01 г/100 г угля ПВП	1,20	1,10	1,00	1,00	1,00	3
1 % [(85 %ДФ+15 %Na ₂ CO ₃)+H ₂ O] + 0,01 г/100 г угля ПЭК	1,40	1,30	1,00	1,00	1,00	5
1 % [(85 %ДФ+15 %Na ₂ CO ₃)+H ₂ O] + 0,01 г/100 г угля Na-КМЦ	1,10	1,00	0,80	0,50	0,40	20

ствует полному разрушению структурной сетки суспензий. В этой области происходит предельное разрушение структуры в процессе течения и незначительное ее восстановление. Такая закономерность наблюдается во всех водоугольных суспензиях при исследуемых температурах.

Таким образом, с увеличением температуры вязкость высококонцентрированных водоугольных суспензий на основе малозольного антрацита уменьшается, что благоприятствует использованию такого водоугольного топлива в энергетических установках при распылении через форсунки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Макаров А. С. Водоугольное топливо на основе углей различной стадии метаморфизма / А. С. Макаров, Д. П. Савицкий, А. И. Егурнов // Современная наука. – 2011. – № 1. – Т. 6. – С. 16 – 20.
2. Редькина Н. И. Реология водоугольных суспензий / Н. И. Редькина, Г. С. Ходаков, Е. Г. Горлов // Химия твердого топлива. – 2009. – № 6. – С. 15 – 24.
3. Влияние температуры на реологические свойства водоугольных суспензий и их пластифицирование солями гуминовых кислот / С. Л. Хилько, Е. В. Титов, А. А. Фе-

досеева [и др.] // Химия твердого топлива. – 2003. – № 6. – С. 27 – 37.

4. Макаров А. С. Фізико-хімічні основи одержання висококонцентрованих водовугільних суспензій / А. С. Макаров, Е. П. Олофінський, Т. Д. Дегтяренко // Вісн. АН УРСР. – 1989. – № 2. – С. 66 – 75.

5. Кондратьев А. С. Транспортирование водоугольных суспензий: гидродинамика и температурный режим / А. С. Кондратьев, В. М. Овсянникова, Е. П. Олофинский. – М.: Недра, – 1988. – 213 с.

6. Савицкая Т. А. Влияние водорастворимых полимеров на устойчивость и реологические свойства суспензий волокнистого активированного угля / Т. А. Савицкая, Т. П. Певар, Д. Д. Гриншпан // Коллоидный журнал. – 2006. – Т. 68. – № 1. – С. 93 – 99.

7. Макаров А. С. Влияние солевого состава воды на свойства водоугольных суспензий / А. С. Макаров, Р. Е. Клищенко, В. А. Завгородний, К. В. Макарова // Химия и технология воды. – 2011. – Т. 33. – № 6. – С. 601 – 611.

8. Макарова К. В. Водоугольное топливо на основе антрацита / К. В. Макарова, Д. П. Савицкий, А. С. Макаров, А. И. Егурнов // Энерготехнологии и ресурсосбережение. – 2010. – № 5. – С. 3 – 5.