

**ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ НА РЕОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ
ВОДОУГОЛЬНЫХ СУСПЕНЗИЙ ИЗ БУРЫХ УГЛЕЙ****М.П. Баранова, М.Л. Щипко, Б.Н. Кузнецов***

Исследовано влияние температуры в пределах от 4 до 80 °С на реологические характеристики водоугольных суспензий, приготовленных из бурого угля марки Б2 Березовского месторождения Канско-Ачинского угольного бассейна. Изучена зависимость реологических характеристик от длительности хранения суспензий при положительных и отрицательных температурах.

Водоугольные суспензии (ВУС) представляют собой относительно новый вид энергетического топлива, используемый за рубежом, но не нашедший пока применения у нас в стране [1, 2]. Одним из их преимуществ является взрыво- и пожаробезопасность топлива на всех технологических стадиях приготовления и транспортирования. Кроме того, процессы приготовления ВУС исключают необходимость сушки угля, что делает эту технологию особенно привлекательной для углей с высокой природной влажностью, например, бурых углей Канско-Ачинского бассейна. С экономической точки зрения эти угли весьма перспективны, поскольку доступны для открытой добычи, имеют низкий коэффициент вскрыши и поэтому достаточно дешевы [3]. Всё это стимулирует разработки в области получения на основе бурых углей топлива в виде водных дисперсионных топливных систем [4].

Реологические характеристики ВУС являются основным показателем характеризующим их технологическую пригодность [5]. Они определяются физико-химическими процессами, происходящими между твердой и жидкой фазами системы, следовательно, должны рассматриваться применительно к конкретным условиям их использования [6]. Существует ряд работ, в которых изучается, в частности, влияние температуры на реологические характеристики суспензии из каменного угля [6, 7]. Для суспензий, полученных из бурых углей, такие исследования до настоящего времени не проводились.

Поэтому целью данной работы стало изучение реологических характеристик ВУС в диапазоне изменения температур от минус 8 до 80 °С. Выбор диапазона температур обусловлен возможными эксплуатационными параметрами.

Получение водоугольной суспензии производилось по методу мокрого помола в шаровой барабанной мельнице периодического действия типа МБЛ – 028. Количество воды и угля, подаваемых в мельницу, определялось расчетным путем по массе сухого угля, таким образом, чтобы концентрация ВУС соответствова-

* © М.П. Баранова, М.Л. Щипко, Институт химии и химической технологии СО РАН; Б.Н. Кузнецов, Красноярский государственный университет, 2005.

ла заданному значению. Время измельчения определялось эмпирически по выходу тонкой фракции (менее 50 мкм) и составило в среднем 40 минут.

В ходе эксперимента устанавливались реологические характеристики полученных суспензий, концентрация, гранулометрический состав.

Реологические характеристики, оцениваемые по структурной вязкости ($\mu_{\text{стр}}$) и динамическому напряжению сдвига (τ_d), измеряли на ротационном вискозиметре «РЕОТЕСТ –2» в диапазоне скоростей сдвига 0.3–145.8 с^{-1} со стандартной измерительной системой цилиндров «Н».

Концентрация твердой фазы ВУС определялась по ГОСТ 11074-81 сушкой при температуре 105 °С.

Гранулометрическое распределение частиц угля в ВУС определяли методом влажного фракционирования на ситах по ГОСТ 2093-82.

Полученные суспензии гомогенизировали в мешалке в течение 5-15 минут при 800 об/мин.

В качестве твердой фазы ВУС в данной работе использовали уголь марки Б2 Березовского месторождения Канско-Ачинского угольного бассейна. Физико-химические характеристики угля приведены в табл. 1. Для того чтобы исключить влияние количества фракций твердой фазы на реологические характеристики суспензий, фракционный состав всех полученных ВУС соответствовал значениям: фракция 0-200 мкм – 85-95 %; фракция 0-100 мкм – 70-80 %; более 1мм – до 1 %. Содержание твердой фазы составило 40-41 %.

В ходе экспериментальных работ исследовались суспензии, полученные без химических добавок и с применением NaOH в количестве 0,5 % на сухую массу угля. Выбор NaOH в качестве добавки обусловлен не только дешевизной и недефицитностью последнего, но и тем, что при взаимодействии гуминовых кислот исходного угля и щелочи в процессе механохимической деструкции образуются соли гуминовых кислот, которые являются хорошими пластификаторами [8].

Контроль содержания твердой фазы ВУС осуществлялся до и после измерений реологических параметров, путём отбора аликвотных проб и их высушиванием при температуре 105 °С. Изменение концентрации угля в ВУС за счет испарения воды в процессе проведения эксперимента не превышало 0,3-0,5 %.

Для определения реологических характеристик при различных температурах пробы суспензий помещались в измерительную полость прибора (РЕОТЕСТА) и термостатировались в течение 15 минут вместе с измерительной системой.

Таблица 1

Физико-химические характеристики Березовского угля

Содержание, %*							
W	A ^{d**}	V ^{daf***}	C ^{daf}	S ^d	N ^{daf}	O ^{daf}	H ^{daf}
33,0	6,0	47,9	72,0	0,7	1,2	21,4	4,7

* W – содержание влаги на рабочую массу топлива; A^d-зольности; S^d -серы; V^{daf}-летучих; C^{daf}-углерода; H^{daf}-водорода; O^{daf}-кислорода; N^{daf}-азота; (HA)^{daf}-гуминовых кислот,

**d – содержание на сухую массу угля,

***daf – на горючую массу угля.

На рис.1 представлены зависимости таких реологических характеристик, как структурная вязкость и динамическое напряжения сдвига, от температуры ВУС. Из графиков видно, что при повышении температуры от 6 до 80 °С структурная вязкость ВУС как с добавками, так и без таковых уменьшается практически в 2 раза. При этом использование пластификатора значительно снижает структурную вязкость суспензий, что, в свою очередь, дает возможность повысить количество твердой фазы в ВУС.

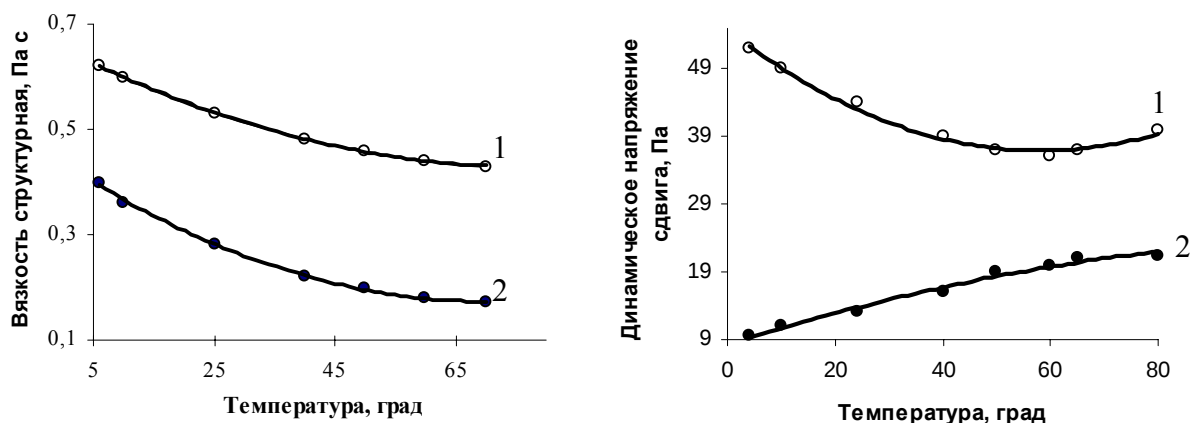


Рис. 1. Зависимость реологических характеристик от температуры ВУС.

1- ВУС, полученная без использования пластификатора, 2- ВУС с NaOH, взятом в количестве 0.5%

Динамическое напряжение сдвига у суспензий, полученных без использования щелочи, уменьшается до 36 Па с повышением температуры до 60 °С, а при дальнейшем повышении температуры начинает увеличиваться. При использовании в качестве пластификатора щелочи динамическое напряжение сдвига монотонно увеличивается с 9,5 Па при температуре 4 °С до 21,5 Па при 80 °С.

Динамическое напряжение сдвига определяет упругие свойства суспензий и зависит от характера взаимодействия твердых частиц в жидкой фазе. При повышении температуры от 4 до 60 °С упругие свойства этой структуры уменьшаются вследствие ослабления взаимодействия между частицами. При дальнейшем повышении температуры это взаимодействие вновь начинает увеличиваться, очевидно, за счет увеличения объема частиц при набухании. Для ВУС с использованием NaOH объем частиц твердой фазы начинает увеличиваться при более низких температурах (20 °С) в результате взаимодействия гидроксида натрия с углем.

Исследовано влияние продолжительности и температуры хранения на реологические характеристики ВУС. Пробы суспензий массой 100 г каждая выдерживались при температурах 4, 24 и 52 °С. После заданного времени хранения при фиксированной температуре определялись реологические характеристики ВУС. Рис.2 показывает, что при хранении суспензий в течение 15-20 суток происходит снижение динамического напряжения сдвига и увеличение структурной вязкости суспензий без добавок. Наибольшая степень изменения указанных реологических характеристик отмечается при 50-52 °С. У суспензий, полученных с использованием гидроксида натрия, реологические параметры при хранении при температурах 4 и 24 °С не меняются в течение указанного времени. При 52 °С наблюдается небольшое повышение значений вязкости и динамического напряжения сдвига.

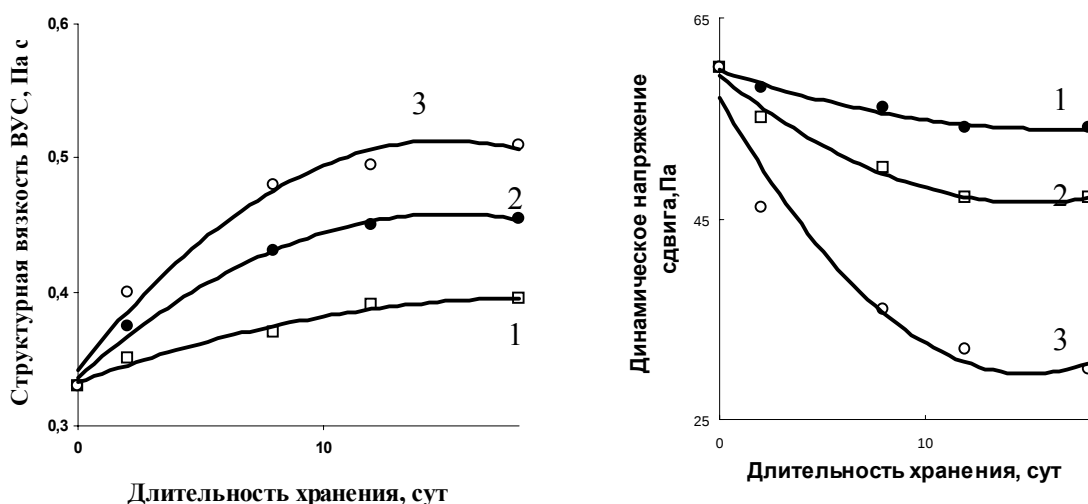


Рис 2. Влияние продолжительности и температуры хранения на реологические характеристики ВУС:
1 – температура хранения 4 °С; 2 – 24 °С; 3 – 52 °С

Так как под воздействием низких температур в зимнее время может произойти замораживание суспензии, было исследовано влияние низких температур на реологические характеристики ВУС.

Замораживание углей может приводить к деструкции макромолекул их органической массы вследствие возникновения механических сил, которые развиваются в процессе роста кристаллов льда. Кроме того, при замораживании угля наблюдаются механохимические изменения свойств угля [9]. На примере водоугольных суспензий из Березовского угля были исследованы изменения их реологических параметров в процессе замораживания при температуре до минус 10 °С. ВУС замораживались в морозильной камере в герметично закрытом сосуде и хранились от одних до 20 суток, затем нагревались до комнатной температуры. После оттаивания ВУС находились в нетекучем состоянии. Это состояние легко разрушалось при перемешивании и текучесть системы восстанавливалась. Пробы суспензий после замораживания и оттаивания перемешивались и анализировались. Сравнение полученных результатов дает основание говорить о том, что замораживание и последующее оттаивание не приводит к изменению реологических характеристик ВУС. Аналогичный результат наблюдается и для ВУС с гидроксидом натрия в качестве пластификатора.

Исследование влияния замораживания на начальное напряжение сдвига показало, что оно увеличивается практически в 4 раза после размораживания. Аналогичная зависимость прослеживается для ВУС, в процессе приготовления которых использовали пластификатор NaOH. Полученные данные говорят о том, что в слу-

чае замораживания и последующего оттаивания ВУС могут возникнуть проблемы с запуском технологического оборудования.

Таким образом, в результате проведенных исследований установлено следующее:

- при повышении температуры от 4 до 80 °С структурная вязкость ВУС из углей Березовского месторождения в присутствии пластификатора (NaOH 0,5%) уменьшается более чем в 2 раза, в то время как динамическое напряжение сдвига увеличивается практически в 2 раза;
- при хранении суспензий в течение 20 суток при температурах 4, 24 и 52 °С происходит снижение динамического напряжения сдвига и увеличение структурной вязкости, причем наиболее заметно это проявляется при 52 °С;
- хранение суспензии при отрицательных температурах и последующее размораживание не приводит к изменению структурной вязкости, но увеличивает начальное напряжение сдвига, что может повлечь аварийную остановку технологического оборудования в случае замерзания ВУС в трубопроводе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ходаков Г.С. Суспензионное угольное топливо (современный этап исследований, технологий и промышленной реализации)/Г.С. Ходаков//Известия Академии наук. Энергетика.- 2000.- №2.- С. 104-119.
2. Детков С.П. Актуальность переработки Канско-Ачинских углей на месте добычи/С.П. Детков, А.И. Борзов, Н.В. Гончаров, В.А. Маврин// Уголь.- 2003.- №7.- С.47-49.
3. Саламатин А.Г. О состоянии и перспективах использования водоугольного топлива в России/А.Г. Саламатин// Уголь.- 2000.- №3.- С. 10-15.
4. Делягин Г.Н. Водные дисперсные системы на основе бурых углей как энергетическое и технологическое топливо/Г.Н. Делягин, А.П.Петраков, Г.С. Головин, Е.Г. Горлов// Российский химический журнал.- 1997.- №6.- С.72-77.
5. Leong Y.K. Rheology of brown coal-water suspensions/ Y.K. Leong//Rheologica Acta.- 1987.- V26.-№3.- P291-300.
6. Кондратьев А.С. Транспортирование водоугольных суспензий: гидродинамика и температурный режим /А.С. Кондратьев, В.М. Овсянников, Е.П. Олофинский.- М.: Недра, - 1988.- 213 С.
7. Usui H., Ymasaki Y., Sano Y. Effect of temperature on the fluidity of a coal water mixture // Tecnology Reports of the Ymaguchi Univtrcity. – 1986. V.3 No.5. P. 393-398.
8. Chenggong Sun, Yaxiong Xie, Baoqing Li and Yongxin Li Dependence of the rheological behaviour and static stability of coal water slurry fuels on the structural characteristics of dispersant// Book of Proc. 9th Int Conf on Coal Science. Essen, Germany.-1997.- P 495-498.
9. Хренкова Т.М. Изменение свойств угля при циклическом замораживании в различных средах/Т.М. Хренкова, И.В. Кричко, В.Б. Рубинчик, В.С. Кирда // Химия твердого топлива .-1988.-№1.-С.28-32.

INFLUENCE OF TEMPERATURE ON THE REOLOGICAL CHARACTERISTICS OF COAL-WATER SUSPENSION FROM LIGNITE

M.P. Baranova, M.L. Shchipko, B.N. Kuznetsov.

Influence of temperature in the range 4-80 °C on the reological characteristics of coal-water suspensions, prepared from Kansk-Achinsk lignite B2 of Beresovsky coal field was investigated. The reological characteristics of suspensions on the time of storage at positive and negative temperatures was studied.