

УДК 697.32

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ГИДРОТРАНСПОРТИРОВАНИЯ ВОДОУГОЛЬНОГО ТОПЛИВА

Чернецкая-Белецкая Н.Б., Баранов И.О., Мирошникова М.В.

INCREASE EFFICIENCY HYDROTRANSPORTATION OF WATER HEATED FUEL

Chernetskaya-Beletskaya N., Baranov I., Miroshnykova M.

Получение ВУТ с необходимыми технологическими свойствами возможно при достижении бимодального гранулометрического состава, а также при введении реагентов, создающих затруднение для коагуляции частиц угля и формировании электростатического барьера между частицами твердой фазы. Установлено, что бимодальность гранулометрического состава способствует снижению вязкости суспензии за счет роли мелкой фракции твердого компонента ВУТ. Определены реологические и гидродинамические характеристик ВУТ, изучены закономерности влияния гранулометрического состава твердого компонента ВУТ на его характеристики. Установлено, что наиболее перспективным направлением дальнейших исследований является применение полученного уравнения регрессии для определения сопротивления движению ВУТ трубопроводным транспортом по уравнению Букингема.

Ключевые слова: водоугольное топливо, эффективная вязкость, напряжение сдвига, концентрация, бимодальность, гранулометрический состав.

Введение. Наиболее перспективным направлением развития угольных технологий в Украине, является использование водоугольного топлива (ВУТ) в качестве альтернативного вида топлива для потребностей теплоэнергетического комплекса Украины.

Расширение сферы использования ВУТ как эффективной угольной технологии вызывает необходимость дальнейших исследований, направленных на совершенствование технологий приготовления для уменьшения энергозатрат на единицу продукта и режимов его транспортирования для уменьшения транспортной энергетики и упрощения насосного оборудования.

Наиболее существенное влияние на процессы транспортирования ВУТ трубопроводным транспортом оказывает концентрация угольных частиц, их гранулометрическое распределение и физико-химические особенности, зависящие от марки исходного угля.

В связи с этим актуальной является задача регулирования реологических свойств высококонцентрированных дисперсных водоугольных систем и получение ВУТ с необходимыми технологическими свойствами при достижении бимодальности гранулометрического состава исходного угля. Выполнение этого условия позволит снизить величину гидравлического сопротивления и общие энергетические затраты на транспортирование ВУТ промышленными гидротранспортными системами (ПГТС), что в свою очередь обусловит возможность повышения концентрации угольной компоненты и как следствие, к повышению теплотворной способности топлива.

Постановка проблемы. Исследование и уточнение закономерностей течения водоугольного топлива в ПГТС позволит уменьшить до необходимого уровня величину энергетических затрат на транспортирование на стадии приготовления ВУТ, что приведет к повышению эффективности работы гидротранспортной системы [1].

Кроме того, уточнение математического описания процессов транспортирования ВУТ позволит более достоверно прогнозировать необходимые гидромеханические параметры ПГТС на стадии ее проектирования.

Сложность получения ВУТ заключается в упрочнении пространственной структурной сетки, образованной частицами угля, по мере возрастания концентрации твердой фазы, что препятствует реализации максимальной текучести при сохранении наименьшего значения эффективной вязкости ($\eta=1-2$ Па·с при скорости сдвига $Dr \approx 9c^{-1}$). Естественно, что успешное решение одной из проблем неизбежно приводит к возникновению препятствий в решении остальных. Увеличение содержания твердой фазы в области критических значений характеризуется резким возрастанием

вязкости и напряжения сдвига. С другой стороны, высокое значение прочности, вязкости и особенно концентрации твердой фазы в жидкой среде способствует седиментационной устойчивости, то есть исключает опасность их расслоения, за счет создания стерического препятствия между частицами [2,5].

Исходя из методов регулирования реологических свойств высококонцентрированных дисперсных систем, получение ВУТ с необходимыми технологическими свойствами возможно при достижении бимодального гранулометрического состава, а также при введении реагентов, создающих стерическое затруднение для коагуляции частиц угля и формировании электростатического барьера между частицами твердой фазы [3,6].

Анализ последних исследований и публикаций. Фундаментальные исследования в области развития технологий приготовления и транспортирования ВУТ принадлежат таким известным ученым как: В. Е. Зайденварг, К. Н. Трубецкой, В. И. Мурко, И. Х. Нехороший. Особый вклад в развитие технологий водоугольного топлива внес Г. Н. Делягин.

При выполнении работы были проанализированы и исследованы разработки НПО ЦКТИ, ОПУ Белово-Новосибирск, ученых Н.С. Рассудова, В.В. Манцева и др. Основную веху исследования вопросов управления структурно-реологическими характеристиками ВУТ закрепил С.П. Костовецкий.

Цель статьи. В работе ставится задача повышение эффективности гидротранспортирования водоугольного топлива за счет управления реологическими свойствами при приготовлении ВУТ, что позволит получить требуемые параметры гранулометрического состава, минимизировать основной интегральный показатель - удельные потери давления при транспортировании.

Результаты исследований. Максимально возможная концентрация ВУТ с удовлетворительными реологическими и седиментационными характеристиками определяется гранулометрическим составом измельченного исходного продукта, а также применением диспергирующих и стабилизирующих химических добавок. При не контролируемом бимодальном гранулометрическом составе, приближающемся к составу максимальной упаковки, полученном в результате двухстадийного помола угля в шаровой мельнице, без применения химических добавок можно достичь массовой концентрации 56 % – 58 % при весьма неудовлетворительных реологических характеристиках (высокий уровень эффективной вязкости и напряжения сдвига) при неудовлетворительной агрегативной устойчивости и седиментационной стабильности. Снижение

концентрации, тем более при повышенной зольности, снижает энергетический потенциал водоугольного топлива, что ставит под сомнение экономическую целесообразность его использования как котельного и печного топлива [4].

Следует учесть, что теория пластифицирующего и диспергирующего эффекта различных химических добавок в плане регулирования реологических характеристик высококонцентрированных дисперсных (особенно угольных) систем к настоящему времени разработана недостаточно, поэтому выбор их в каждом конкретном случае целесообразно осуществлять опытным путем.

Как показывает опыт, для начала движения неньютоновских жидкостей необходимо создать некоторую определенную разность напоров, соответствующую равенству возникающего в жидкости касательного напряжения τ и ее начального напряжения сдвига τ_0 . При этом вся масса жидкости отрывается от стенок трубы и движется первоначально как одно целое (как твердое тело) с одинаковыми скоростями для всех частиц.

Поскольку в рассматриваемом случае силы трения будут возникать только у стенок трубы на боковой поверхности выделенного объема жидкости и равнодействующая этих сил [7]

$$T = \tau_0 \pi d l \quad (1)$$

То уравнение равновесия, составленное для системы сил, действующих на этот объем, по аналогии с выводом общего выражения для потерь напора при равномерном движении, будет иметь вид:

$$p_1 \pi d^2 / 4 - p_2 \pi d^2 / 4 - \tau_0 \pi d l = 0 \quad (2)$$

Отсюда получим следующие выражения:
Для разности давлений на концах трубопровода

$$\Delta p = p_1 - p_2 = 4 \tau_0 l / d \quad (3)$$

Для разности напоров в тех же сечениях

$$\Delta H = H_1 - H_2 = 4 \tau_0 l / \rho g d = 4 \tau_0 l / \gamma d \quad (4)$$

Суспензия в трубопроводе будет двигаться, причем в зависимости от приложенной разности напоров $H_1 - H_2$ здесь возможны три режима ее движения: структурный, ламинарный и турбулентный.

Данное выражение является исходным при исследовании начальных стадий движения (например, для расчета процесса течения ВУТ). При

этом, как уже указывалось, под τ_0 следует понимать статическое начальное напряжение сдвига $\tau_{0ст}$.

Вначале при соблюдении равенств (1) и (2) весь поток жидкости движется целиком как твердое тело с одинаковой скоростью по всему поперечному сечению. По мере увеличения разности напоров ΔH возрастает и скорость движения жидкости.

В ближайших к стенкам трубы частях потока развивается ламинарный режим, а в центральной части (так называемом центральном ядре) жидкость по-прежнему продолжает двигаться как твердое тело. Такой режим движения, характеризующийся наличием центрального ядра, называется структурным [8,9].

Радиус центрального ядра может быть найден путем рассуждений, аналогичных сделанным выше, и определяется выражением

$$r_0 = 2\tau_0 l / \Delta p = 2\tau_0 l / \rho g \Delta H \quad (5)$$

При дальнейшем возрастании ΔH область ламинарного режима будет расширяться, размеры же центрального ядра – соответственно уменьшается. Повышая ΔH , можно достичь того, что структурный режим полностью перейдет в ламинарный (что соответствует значению $\tau_0=0$) [10,11].

Установим закон распределения скоростей в поперечном сечении трубы при структурном режиме. Для этого будем исходить из общего уравнения [12,13]:

$$v_y = \frac{r}{\tau_r} \int_{\tau_r}^{\tau} f(\tau) d\tau \quad (6)$$

Кривая скоростей состоит из двух параболических ветвей у стенок в зоне ламинарного режима и прямолинейного участка в центральном ядре.

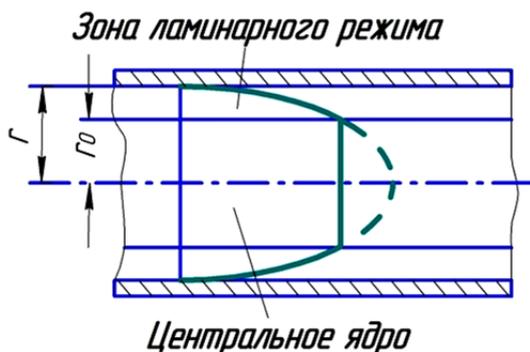


Рис.1. Кривая скоростей течения ВУТ

μ - пластическая вязкость жидкости. Для определения скорости движения центрального ядра в формуле v_y необходимо принять $y = r_0$ при этом получаем:

$$v_0 = \frac{\Delta P}{4\mu L} (r^2 - r_0^2) - \frac{\tau_0}{\mu} (r - r_0) \quad (7)$$

В частном случае, когда $\tau_0 = 0$, выражение v_0 превращается в обычную формулу Стокса для ламинарного режима (ей соответствует пунктирная кривая на рис. 1.).

Расход жидкости при структурном режиме может быть определен интегрированием уравнения

$$Q = \frac{\pi r^3}{\tau_r^3} \int_0^{\tau_r} f(\tau) \tau^2 d\tau \quad (8)$$

Δp - приложенная разность давлений; Δp_0 - разность давлений, соответствующая началу движения жидкости, вычисляемая по формуле (1). Подчеркнем также, что формула Букингема не может быть непосредственно разрешена относительно перепада давления Δp . При этом формула Букингема принимает более простой вид

$$Q = \frac{\pi^4}{8\mu L} \left[\Delta p - \frac{4}{3} \Delta p_0 \right] \quad (9)$$

При входе ВУТ в трубу круглого сечения скорости во всех точках входного поперечного сечения будут почти одинаковы, за исключением весьма тонкого пограничного (пристенного) слоя вблизи стенок, в котором вследствие прилипания жидкости к стенкам происходит почти внезапное падение скорости до нуля. Поэтому кривая скоростей во входном сечении может быть представлена достаточно точно в виде отрезка прямой (рис.2.)

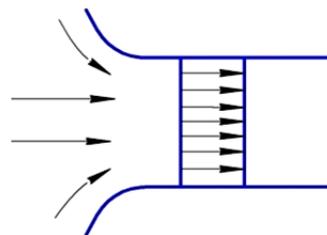


Рис.2. Кривая скоростей во входном сечении

По мере удаления от входа слои жидкости, соседние с пограничным слоем, вследствие трения у стенок начинают затормаживаться, толщина этого слоя постепенно увеличивается, а движение в нем, наоборот, замедляется. Центральная же часть потока (ядро течения), еще не захваченное трением, продолжает двигаться как одно целое с примерно одинаковой для всех слоев скоростью, причем (вследствие того, что количество протекающей жидкости остается неизменным) замедление

движения в пограничном слое неизбежно вызывает увеличение скорости в ядре [14,15].

Таким образом, в середине трубы, в ядре, скорость течения все время возрастает, а у стенок, в растущем пограничном слое, уменьшается. Это происходит до тех пор, пока пограничный слой не захватит всего сечения потока и ядро не будет сведено к нулю. На этом формирование потока заканчивается и кривая скоростей принимает обычную для ламинарного режима параболическую форму [16,17].

Проанализировав экспериментальные данные гранулометрического распределения исходного угля и проведя оценку значимости коэффициентов уравнения регрессии были исключены незначимые члены уравнения [18,19,20]. В связи с этим уравнения регрессии для выбранной матрицы планирования запишутся в виде кодированных параметров:

$$y(\eta) = 0,51438 + 0,08963x_1 + 0,13588x_2 + 0,07213x_3 - 0,00437x_1x_2 - 0,00463x_1x_3 - 0,01537x_2x_3 + 0,01838x_1x_2x_3$$

где $y(\eta)$ - эффективная вязкость ВУТ.

На основании полученных результатов были определены значения реологических параметров ВУТ, эффективной вязкости и предельного напряжения сдвига для трех вариантов концентраций твердого компонента (60, 62,5 и 65%). Оптимальным гранулометрическим составом угля, позволяющим получить водоугольное топливо с высокой степенью насыщения, обладающее сравнительно высокой стабильностью реологических характеристик, седиментационной и агрегативной устойчивостью и обеспечивающее беспрепятственное его прохождение через каналы и отверстия форсунок при подаче топливной системы на сжигание, является гранулометрический состав, при котором значения η составляют 0,278, 0,342 и 0,438 Па с, для концентраций 60, 62,5 и 65% соответственно. Значения τ_0 при этом составили 1,3, 1,55 и 3,18 соответственно

В работе были проведены экспериментальные исследования, целью которых является определение реологических и гидродинамических характеристик ВУТ, изучение закономерностей влияния гранулометрического состава твердого компонента ВУТ на его характеристики и получение уравнения регрессии для дальнейшего определения сопротивления движению ВУТ по трубопроводам на основе использования уравнения Букингема.

Вывод. Проведенные исследования позволяют утверждать, что бимодальность гранулометрического состава способствует снижению вязкости суспензии за счет роли мелкой фракции твердого компонента ВУТ, которая способствуют перемещению крупной фракции угля в составе ВУТ с более низкими показателями

сопротивления. Установлено, что с помощью методов коллоидной химии и физико-химической механики можно эффективно создавать высококонцентрированное водоугольное топливо на основе угля различных марок концентрацией до 75% с необходимыми коллоидно-химическими свойствами. Анализ исследований показал, что для приготовления ВУТ максимально возможной концентрации следует измельчать уголь до гранулометрического состава максимальной упаковки, который описывается формулой Альфреда.

В результате проведения экспериментальных исследований были определены реологические и гидродинамические характеристик ВУТ, изучены закономерности влияния гранулометрического состава твердого компонента ВУТ на его характеристики. В работе было установлено, что наиболее перспективным направлением дальнейших исследований является применение полученного уравнения регрессии для определения сопротивления движению ВУТ трубопроводным транспортом по уравнению Букингема.

Л и т е р а т у р а

1. Савицкий Д.П., Макаров А.С., Завгородний В.А. Реологические свойства водоугольных суспензий на основе бурых углей в присутствии натриевых лигносульфонатов и щелочи // Химия твердого топлива. – 2009. - №5. – С.73–77.
2. Макарова К.В., Савицкий Д.П., Макаров А.С., Егурнов А.И. Водоугольное топливо на основе антрацита // Энерготехнологии и ресурсосбережение. – 2010. – №5. – С. 3–5.
3. Mosa E.S., Saleh A.M., Taha T.A. Effect of chemical additives on flow characteristics of coal slurries // Physicochemical Problems of mineral Processing. – 2008. – Vol. 42. – P.107–118.
4. Урьев Н. Б. Высококонцентрированные дисперсные системы. – М.: Химия., 1980. – 320с.
5. Ходаков Г.С. Реология суспензий. Теория фазового течения и ее экспериментальное обоснование // Российский химический журнал. – 2003. Т.47. - №2. – С.33–44.
6. Keat-Teong Lee, Kok-Chong Tan, Irvan Dahlan, Abdul Rahman Mohamed. Development of kinetic model for the reaction between SO₂/NO and coal fly ash/ CaO/CaSO₄ sorbent // Fuel. — 2008. — Vol. 87. — P. 23–28.
7. Камерон Алистер. Теория смазки в инженерном деле [Текст] / Перевод с англ. инж. В. А. Бородина ; Под ред. д-ра техн. наук В. К. Житомирского. - Москва : Машгиз, 1962. - 296 с.
8. Хренкова Т.М. Механохимическая активация углей. — М., 1993.
9. Олофинский Е.П. Исследования гидромеханики трубопроводного транспортирования суспензии // Исследования гидромеханики суспензий в трубопроводном транспорте. — М.: ВНИИПИгидротрубопровод, 1985. — С. 4–8.
10. Pearson J.T. Hydrotropic and Adsorption Properties of Some Bis — Quaternary Ammonium Compounds and Related Cationic surfactants // J. Colloid and Interface Sci. — 1971. — Vol. 37. — №3. — P. 509–520.

11. Круть О.А. Водовугільне паливо / О.А. Круть. – К.: Наукова думка, 2002. – 172 с.
12. Білецький В.С. Перспективи впровадження технології водовугільного палива у малій теплоенергетиці України / В.С. Білецький, О.А. Круть, Ю.Г. Світлий // Форум гірників: матеріали міжнародної конференції. – Дніпропетровськ, 2007. – С. 177 – 180.
13. Круть А.А. Высокозольные угольные шламы – дополнительный источник энергоносителей / А.А. Круть // 36. наукових праць ДНТУ: серія електротехніка та енергетика. – 2001. – № 21. – С. 34 – 37.
14. Helle G., Nygaard B, Søren Kiilb, Johnssonb Jan E., Jørgen N. Jensen, Jørn Hansenb, Folmer Foghc, Kim Dam-Johansenb. Full-scale measurements of SO₂ gas phase concentrations and slurry compositions in a wet flue gas desulphurisation spray absorber // Fuel. — 2004. — Vol. 83. — p. 151–164.
15. Fu Xiao-an. A New Kind of Light Fuel Composed of Water/-Coal /Hydrocarbon / Xiao-an Fu [et al.] // The Proceedings of the 21st International Technical Conference on Coal Utilization & Fuel Systems, March 1996. – Clearwater, Florida, USA, 1996. – P. 259 – 266.
16. Huettenhain Horst. Premium Coal-Water Fuel (CWF) / Horst Huettenhain, M.V. Chari // The Proceedings of the 23rd International Technical Conference on Coal Utilization & Fuel Systems, March 1998. – Clearwater, Florida, USA, 1998. – p. 1099 – 1108.
17. Ю.П. Адлер, Е.В. Маркова, Ю.В. Грановский. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. Издательство “Наука”, Москва 1976, 279с.
18. Longlian Cui, Liqian An, Hejin Jiang. A novel process for preparation of an ultra-clean superfine coal-oil slurry // Fuel. — 2007. — Vol. 83. — P. 1016.
19. Гюльмалиев А.М., Головин Г.С., Гладун Т.Г. Теоретические основы химии угля. — М.: Изд-во МГГУ, 2003. — 524 с.
20. Рабинович Е.З. Гидравлика: учебное пособие для вузов / Е.З. Рабинович. – М.: Недра, 1990. – 278 с.
8. Hrenkova T.M. Mehanohimicheskaia aktivacija uglej. — M., 1993.
9. Olofinskij E.P. Issledovanija gidromehaniki truboprovodnogo transportirovanija suspenzii // Issledovanija gidromehaniki suspenzij v truboprovodnom transporte. — M.: VNIPIgidrotruboprovod, 1985. — S. 4–8.
10. Pearson J.T. Hydrotropic and Adsorption Properties of Some Bis — Quaternary Ammonium Compounds and Related Cationic surfactants // J. Colloid and Interface Sci. — 1971. — Vol. 37. — №3. — P. 509–520.
11. Krut O.A. Vodovugilne palivo / O.A. Krut'. – K.: Naukova dumka, 2002. – 172 s.
12. Bileckij V.S. Perspektivi vprovadzhenija tehnologii vodovugilnogo paliva u malij teploenergetici Ukraini / V.S. Bileckij, O.A. Krut, J.G. Svitlij // Forum gimikiv: materiali mizhnarodnoї konferencii. – Dnipropetrovsk, 2007. – S. 177 – 180.
13. Krut A.A. Vysokozolnye ugolnye shlamy – dopol-nitelnyj istochnik jenergonositelej / A.A. Krut // Zb. naukovih prac DNTU: serija elektrotehnika ta energetika. – 2001. – № 21. – S. 34 – 37.
14. Helle G., Nygaard B, Søren Kiilb, Johnssonb Jan E., Jørgen N. Jensen, Jørn Hansenb, Folmer Foghc, Kim Dam-Johansenb. Full-scale measurements of SO₂ gas phase concentrations and slurry compositions in a wet flue gas desulphurisation spray absorber // Fuel. — 2004. — Vol. 83. — p. 151–164.
15. Fu Xiao-an. A New Kind of Light Fuel Composed of Water/-Coal /Hydrocarbon / Xiao-an Fu [et al.] // The Proceedings of the 21st International Technical Conference on Coal Utilization & Fuel Systems, March 1996. – Clearwater, Florida, USA, 1996. – P. 259 – 266.
16. Huettenhain Horst. Premium Coal-Water Fuel (CWF) / Horst Huettenhain, M.V. Chari // The Proceedings of the 23rd International Technical Conference on Coal Utilization & Fuel Systems, March 1998. – Clearwater, Florida, USA, 1998. – p. 1099 – 1108.
17. J.P. Adler, E.V. Markova, J.V. Granovskij. Planirovanie jeksperimenta pri poiske optimalnyh uslovij. Izdatelstvo “Nauka”, Moskva 1976, 279s.
18. Longlian Cui, Liqian An, Hejin Jiang. A novel process for preparation of an ultra-clean superfine coal-oil slurry // Fuel. — 2007. — Vol. 83. — P. 1016.
19. Gjulmaliev A.M., Golovin G.S., Gladun T.G. Teoreticheskie osnovy himii uglja. — M.: Izd-vo MGGU, 2003. — 524 s.
20. Rabinovich E.Z. Hidravlika: uchebnoe posobie dlja vuzov / E.Z. Rabinovich. – M.: Nedra, 1990. – 278 s.

References

1. Savickij D.P., Makarov A.S., Zavgorodnij V.A. Reologicheskie svojstva vodougolnyh suspenzij na osnove buryh uglej v prisutstvii natrievyh ligno-sulfonatov i shhelochi // Himija tverdogo topliva. – 2009. - №5. – S.73–77.
2. Makarova K.V., Savickij D.P., Makarov A.S., Egunov A.I. Vodougolnoe toplivo na osnove antracita // Jenergotehnologii i resursoberezenie. – 2010. – №5. – S. 3–5.
3. Mosa E.S., Saleh A.M., Taha T.A. Effect of chemical additives on flow characteristics of coal slurries // Physicochemical Problems of mineral Processing. – 2008. – Vol. 42. – P.107–118.
4. Ur'ev N. B. Vysokokontcentrirovannye dispersnye sistemy. – M.: Himija., 1980. – 320s.
5. Hodakov G.S. Reologija suspenzij. Teorija fazovogo techenija i ee jeksperimental'noe obosnovanie // Rossijskij himicheskij zhurnal. – 2003. T.47. - №2. – S.33–44.
6. Keat-Teong Lee, Kok-Chong Tan, Irvan Dahlan, Abdul Rahman Mohamed. Development of kinetic model for the reaction between SO₂/NO and coal fly ash/ CaO/CaSO₄ sorbent // Fuel. — 2008. — Vol. 87. — P. 23–28.
7. Kameron Alistar. Teorija smazki v inzhenernom dele [Tekst] / Perevod s angl. inzh. V. A. Borodina ; Pod red. d-ra tehn. nauk V. K. Zhitomirskogo. - Moskva ; Mashgiz, 1962. - 296 s.
8. Hrenkova T.M. Mehanohimicheskaia aktivacija uglej. — M., 1993.
9. Olofinskij E.P. Issledovanija gidromehaniki truboprovodnogo transportirovanija suspenzii // Issledovanija gidromehaniki suspenzij v truboprovodnom transporte. — M.: VNIPIgidrotruboprovod, 1985. — S. 4–8.
10. Pearson J.T. Hydrotropic and Adsorption Properties of Some Bis — Quaternary Ammonium Compounds and Related Cationic surfactants // J. Colloid and Interface Sci. — 1971. — Vol. 37. — №3. — P. 509–520.
11. Krut O.A. Vodovugilne palivo / O.A. Krut'. – K.: Naukova dumka, 2002. – 172 s.
12. Bileckij V.S. Perspektivi vprovadzhenija tehnologii vodovugilnogo paliva u malij teploenergetici Ukraini / V.S. Bileckij, O.A. Krut, J.G. Svitlij // Forum gimikiv: materiali mizhnarodnoї konferencii. – Dnipropetrovsk, 2007. – S. 177 – 180.
13. Krut A.A. Vysokozolnye ugolnye shlamy – dopol-nitelnyj istochnik jenergonositelej / A.A. Krut // Zb. naukovih prac DNTU: serija elektrotehnika ta energetika. – 2001. – № 21. – S. 34 – 37.
14. Helle G., Nygaard B, Søren Kiilb, Johnssonb Jan E., Jørgen N. Jensen, Jørn Hansenb, Folmer Foghc, Kim Dam-Johansenb. Full-scale measurements of SO₂ gas phase concentrations and slurry compositions in a wet flue gas desulphurisation spray absorber // Fuel. — 2004. — Vol. 83. — p. 151–164.
15. Fu Xiao-an. A New Kind of Light Fuel Composed of Water/-Coal /Hydrocarbon / Xiao-an Fu [et al.] // The Proceedings of the 21st International Technical Conference on Coal Utilization & Fuel Systems, March 1996. – Clearwater, Florida, USA, 1996. – P. 259 – 266.
16. Huettenhain Horst. Premium Coal-Water Fuel (CWF) / Horst Huettenhain, M.V. Chari // The Proceedings of the 23rd International Technical Conference on Coal Utilization & Fuel Systems, March 1998. – Clearwater, Florida, USA, 1998. – p. 1099 – 1108.
17. J.P. Adler, E.V. Markova, J.V. Granovskij. Planirovanie jeksperimenta pri poiske optimalnyh uslovij. Izdatelstvo “Nauka”, Moskva 1976, 279s.
18. Longlian Cui, Liqian An, Hejin Jiang. A novel process for preparation of an ultra-clean superfine coal-oil slurry // Fuel. — 2007. — Vol. 83. — P. 1016.
19. Gjulmaliev A.M., Golovin G.S., Gladun T.G. Teoreticheskie osnovy himii uglja. — M.: Izd-vo MGGU, 2003. — 524 s.
20. Rabinovich E.Z. Hidravlika: uchebnoe posobie dlja vuzov / E.Z. Rabinovich. – M.: Nedra, 1990. – 278 s.

Чернецька-Білецька Н.Б., Баранов І.О., Мірошникова М.В. Підвищення ефективності гідротранспортування водовугільного палива.

Отримання ВВП з необхідними технологічними властивостями можливо при досягненні бімодального гранулометричного складу, а також при введенні реагентів, що створюють ускладнення для коагуляції часток вугілля і формування електростатичного бар'єру між частками твердої фази. Встановлено, що бімодальність гранулометричного складу сприяє зниженню в'язкості суспензії за рахунок ролі дрібної фракції твердого компонента ВВП. Визначено реологічні і гідродинамічні характеристики ВВП, вивчені закономірності впливу гранулометричного складу твердого компонента ВВП на його характеристики. Встановлено, що найбільш перспективним напрямком

подальших досліджень є застосування отриманого рівняння регресії для визначення опору руху ВВП трубопровідним транспортом по рівнянню Букінгема.

Ключові слова: водовугільне паливо, ефективна в'язкість, напруження зсуву, концентрація, бімодальність, гранулометричний склад.

Chernetskaya-Beletskaya N., Baranov I., Ostapenko V., Miroshnykova M. Increase efficiency hydrotransportation of water heated fuel.

Obtaining WCF with necessary technological properties is possible when bimodal granulometric composition is reached, as well by introducing reagents make it difficult coagulate coal particles and form electrostatic barrier between particles of solid phase. It is established that bimodality granulometric composition helps reduce viscosity suspension due to role of fine fraction solid component WCF. The rheological and hydrodynamic characteristics WCF are determined, regularities influence of granulometric composition solid component WCF on its characteristics are studied.

Analysis existing theoretical studies and experimental data shows that most important factors affecting parameters of hydrotreating water-coal fuel are concentration solid component (C) and parameters characterizing bimodality of grain size distribution solid phase WCF. The paper

established that with the help methods of colloid chemistry and physico-chemical mechanics is possible to efficiently create highly concentrated water coal fuel based on coal various grades with a concentration to 75% with necessary colloidal-chemical properties. Analysis studies showed to prepare the water-coal fuel (WCF) much possible concentration, it is necessary refine coal granulometric composition of maximum package, which is described by Alfred formula.

Keywords: water-coal fuel, effective viscosity, shear stress, concentration, bimodality, granulometric composition.

Чернецька-Білецька Н.Б. – д.т.н., проф., зав. кафедри «Логістичне управління та безпека руху на транспорті» СХУ ім. В. Даля.

Баранов І.О. – старший викладач кафедри «Логістичне управління та безпека руху на транспорті» СХУ ім. В. Даля. mail: baranov_90@inbox.ru

Мірошникова М.В. - асистент кафедри «Логістичне управління та безпека руху на транспорті» СХУ ім. В. Даля.

Рецензент: д.т.н., проф. **Марченко Д.М.**

Стаття подана 29.09.2017