

ВЛИЯНИЕ ЖИДКИХ ГОРЮЧИХ КОМПОНЕНТ НА ВЯЗКОСТЬ ВОДОУГОЛЬНОГО ТОПЛИВА

А.В. Зенков, Д.В. Гвоздяков, В.Е. Губин

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
г. Томск, Россия*

Выполнены экспериментальные исследования вязкости водоугольных топлив, а также суспензий с добавлением небольшого количества различных жидких горючих компонент (изопропиловый спирт, жидкие отходы переработки резинотехнических изделий, отработанное моторное масло). Полученные результаты показывают, что введение в состав суспензии жидкой горючей компоненты приводит к росту вязкости топлива, так как вязкость рассматриваемых жидких горючих компонент выше вязкости воды. Установлено, что вязкость суспензионного топлива на основе углей марки ЗБ, Д и Т увеличивается с ростом концентрации жидкой горючей компоненты ввиду того, что происходит замещение менее вязкой воды более вязким веществом. Определено, что из трех исследуемых марок углей суспензионное топливо на основе угля марки ЗБ обладает наибольшей вязкостью, а суспензионное топливо на основе угля марки Т – наименьшей. Установлено, что водоугольные топлива с добавлением небольшого количества различных жидких горючих компонент могут применяться для сжигания в топках котельных агрегатов, так как их вязкость и текучесть остаются в допустимых пределах.

Ключевые слова: водоугольное топливо, вязкость, жидкая горючая компонента, изопропиловый спирт, моторное масло, жидкие отходы переработки резинотехнических изделий.

Введение

Уголь является неотъемлемой частью не только энергетики, но и многих отраслей промышленности, таких как химическая, металлургическая и др. Ожидается [1], что потребление угля в мире к 2040 г. останется на прежнем уровне. Однако использование угля приводит к выбросу огромного количества вредных веществ (CO_2 , NO_x , SO_x и др.) в атмосферу, что приводит к заболеваниям дыхательных путей населения планеты и глобальному потеплению [2–5].

Последние десятилетия ведутся исследования по разработке технологий, альтернативных сжиганию угля в чистом виде. Известны работы, направленные на снижение выбросов и увеличение эффективности сжигания угля путем фильтрации уходящих газов [6–9], применения катализаторов [10], сжигания угля в смеси с биомассой [11, 12], красным шламом [13] и др.

Один из наиболее эффективных и экологически безопасных способов сжигания угля – сжигание в виде водоугольного топлива (ВУТ) [14]. ВУТ представляет собой взвесь мелкодисперсного угля в воде с добавлением пластификатора [15], а также других горючих и стабилизирующих веществ [16]. Однако такая технология имеет ряд ограничений, связанных с ее реологическими характеристиками.

Так, Jian-Zhong Liu и др. [17] исследовали реологические свойства углешламовой суспензии (УШС), состоящей из шлама сточных вод, угля, воды и добавок. Установлено, что тиксотропность УШС усиливается с увеличением концентрации твердой фазы; уменьшение характерного размера частиц приводит к улучшению текучести УШС;

тиксотропность положительно коррелирует с напряжением сдвига и стабильностью УШС.

Chen и др. [18] анализировали реологические свойства водоугольных топлив на основе низкосортного полукокса и полубитуминозного угля с добавлением воды и различных поверхностно активных веществ. Исследовалось влияние твердой фазы, распределения характерных размеров частиц и вида добавок на приготовление высококонцентрированных суспензий с желаемыми реологическими характеристиками. Значительное увеличение концентрации твердой фазы удалось достичь за счет увеличения плотности упаковки путем контроля распределения размеров частиц, а также сведения к минимуму прочности и числа взаимодействий между коллоидными частицами. Наименьшей вязкостью обладала суспензия со следующим содержанием твердой фазы: на основе полукокса Oil Mallee – 40 мас. %, на основе полубитуминозного угля – 56–63 мас. %, на основе полукокса бурого угля – 65 мас. %.

Kang Zhang и др. [19] исследовали возможность утилизации отработанного машинного масла в составе водоугольной суспензии. Было установлено, что низшая теплота сгорания такого топлива с содержанием угля 48 мас. % эквивалентна низшей теплоте сгорания водоугольного топлива с содержанием угля 67,88 мас. %.

Voynu и др. [20] установили, что распределение частиц по размерам является важным параметром, влияющим на вязкость водоугольного топлива. Определено, что суспензии с аналогичным средним характерным размером частиц, но на основе разных типов углей имеют различную вязкость. Это связано с объемными долями час-

тиц. Объемные доли суспензий, имеющих мелкие частицы, являются низкими. Таким образом, вязкость суспензий, приготовленных из угля с низкой объемной долей, была высокой.

Mohan Konduri и др. [21] исследовали влияние лигносульфоната на реологические свойства водоугольного топлива. Установлено, что смачиваемость частиц угля зависит от поведения полимеров на границе раздела уголь – вода и поверхностной энергии, связанной с водой и частицами угля. Добавление лигносульфоната снижает межфазное натяжение между углем и водой независимо от размера частиц угля.

Atesok и др. [22] установили, что взаимодействие между лигносульфонатом и частицами угля зависит от различных факторов, таких как поверхностная энергия и плотность заряда частиц угля, а также от межфазных характеристик частиц угля в суспензии.

Существует множество исследований, направленных на изучение реологических характеристик водоугольного топлива. Однако комплексных работ по изучению вязкости суспензий с добавлением различных жидких горючих компонент практически нет. Целью данной работы являются экспериментальные исследования вязкости водоугольных топлив с добавлением различных жидких горючих компонент в небольшом количестве.

Научная новизна

Впервые экспериментально выполнены комплексные исследования вязкости водоугольного топлива с добавлением небольшого количества различных жидких горючих компонент, таких как изопропиловый спирт, отходы переработки резинотехнических изделий (РТИ) и отработанное моторное масло. Отходы переработки (РТИ) и отработанное моторное масло являются продуктами, которые невозможно вернуть в производственный цикл, требующими утилизации. Их использование

в качестве компоненты водоугольного топлива решает две глобальные проблемы – повышение теплотворной способности топлива и утилизация отходов. Изопропиловый спирт – наиболее распространенный и доступный из спиртов. Его использование также обусловлено повышением теплотворной способности получаемого топлива.

Практическая значимость

Полученные результаты исследования могут использоваться при проектировании локальных котельных, работающих на жидком суспензионном топливе, таких как «Богатырь-ВУТ» мощностью до 10 МВт, котел мощностью 75 МВт в Коре, котел мощностью 300 МВт в Китае.

Методология проведения исследований

Схема подготовки топлива представлена на рис. 1. Первичная подготовка угля заключалась в его измельчении до размера менее 200 мкм. Затем уголь, вода и пластификатор (лигносульфонат) смешивались с помощью миксера в течение 15 мин. После этого в полученное водоугольное топливо добавлялась жидкая горючая компонента и проводился дополнительный помол в течение 5 мин до получения равномерного распределения компонентов суспензии. Концентрации компонентов представлены в табл. 1.

При проведении экспериментов использовались 3 марки угля разной степени метаморфизма: бурый уголь (ЗБ, Балахтинский разрез, Канско-Ачинский угольный бассейн), тощий уголь (Т, шахта Алардинская, Кемеровская область), длинно-пламенный уголь (Д, Шахта Красноярская, Кемеровская область), а также 3 вида жидких горючих компонент: изопропиловый спирт, жидкие отходы переработки резинотехнических изделий (РТИ), отработанное моторное масло. Характеристики исследуемых углей приведены в табл. 2. Для каждой марки угля было подготовлено 4 состава топ-

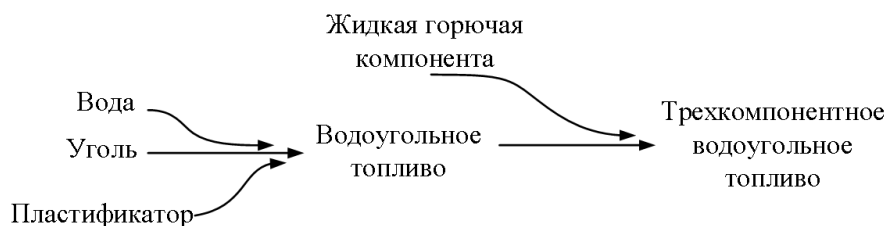


Рис. 1. Схема подготовки топлива

Таблица 1

Водоугольные топлива

Компоненты	ВУТ 1	ВУТ 2	ВУТ 3	ВУТ 4
Уголь, мас. %	50			
Вода, мас. %	46	44	41	37
Пластификатор, мас. %	1			
Жидкая горючая компонента, мас. %	3	5	8	12
ИТОГО	100	100	100	100

Характеристики исследуемых углей

Характеристика	Образцы исследуемых углей		
	ЗБ	Д	Т
Зольный остаток, мас. %	3,6	8,5	16,5
Внешняя влага, мас. %	0,8	0,5	0,3
Выход летучих веществ, мас. %	35,3	26,2	13,1
Содержание углерода, мас. %	60,3	63,8	70,1
Элементный состав, мас. %			
С	67,4	73,0	80,0
Н	5,1	3,5	2,2
N	1,8	2,0	2,5
S	< 1	< 1	< 1
O	24,7	20,5	14,3
Пористость			
Средний размер пор, нм	18,4	16,6	11,9
Суммарный объём пор, см ³ /г	0,02	0,02	0,01

лива – с 3, 5, 8 и 12 мас. % жидкой горючей компоненты. Помимо этого, для сравнения был подготовлен образец водоугольного топлива без добавления жидких горючих компонент.



Рис. 2. Вискозиметр Brookfield RVDV-II+Pro

Измерение вязкости выполнено с помощью ротационного вискозиметра Brookfield RVDV-II+Pro (рис. 2) при комнатной температуре ($25 \pm 0,5$ °С). Необходимое количество водоугольного топлива помещалось в мерный стакан цилиндрической формы диаметром 100 мм. Шпиндель вискозиметра помещался в стакан по центру. Измерения проводились в 2 этапа: 1) скорость сдвига плавно увеличивалась от 50 до 200 об/мин; 2) скорость сдвига плавно уменьшалась от 200 до 50 об/мин.

Результаты и обсуждение

По результатам экспериментов установлено, что все исследуемые составы топлива являются дилатантными жидкостями, так как их вязкость увеличивается с увеличением скорости сдвига.

Сравнение вязкости образцов выполнено при одинаковой скорости сдвига – 100 об/мин. На рис. 3–5 показано влияние концентрации различных видов жидкой горючей компоненты на динамическую вязкость топлива на основе угля марки ЗБ, Д и Т.

Анализ результатов позволяет сделать вывод о том, что вязкость суспензионного топлива на основе угля марки ЗБ повышается на 20,9 % при добавлении 3 мас. % изопропилового спирта, на 36,9 % – при добавлении 3 мас. % жидких отходов пиролиза РТИ и на 43,8 % – при добавлении 3 мас. % отработанного моторного масла относительно ВУТ без добавления жидкой горючей компоненты. Вязкость суспензионного топлива на основе угля марки ЗБ увеличивается на 34,6 % при добавлении 5 мас. % изопропилового спирта, на 42,6 % – при добавлении 5 мас. % жидких отходов пиролиза РТИ и на 53,7 % – при добавлении 5 мас. % отработанного моторного масла относительно ВУТ без добавления жидкой горючей компоненты. Вязкость суспензионного топлива на основе угля марки ЗБ возрастает на 47,3 % при добавлении 8 мас. % изопропилового спирта, на 54,5 % – при добавлении 8 мас. % жидких отходов пиролиза РТИ и на 62,3 % – при добавлении 8 мас. % отработанного моторного масла относительно ВУТ без добавления жидкой горючей компоненты. Вязкость суспензионного топлива на основе угля марки ЗБ повышается на 63,1 % при добавлении 12 мас. % изопропилового спирта, на 64,3 % – при добавлении 12 мас. % жидких отходов пиролиза РТИ и на 69,8 % – при добавлении 12 мас. % отработанного моторного масла относительно ВУТ без добавления жидкой горючей компоненты.

Экспериментально определено, что вязкость суспензионного топлива на основе угля марки Д повышается на 14,2 % при добавлении 3 мас. % изопропилового спирта, на 41,5 % – при добавлении

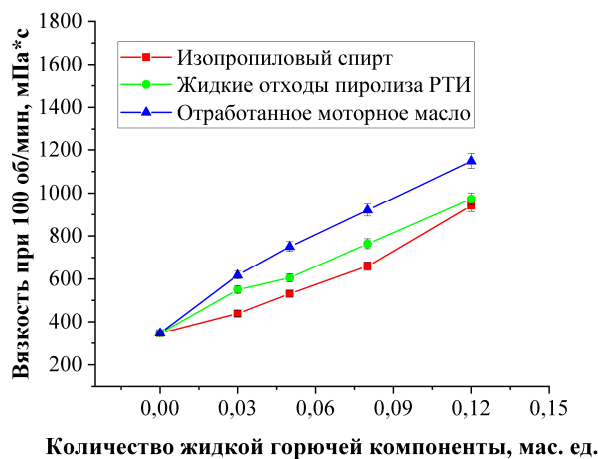


Рис. 3. Влияние концентрации различных видов жидкой горючей компоненты на динамическую вязкость топлива на основе угля марки ЗБ

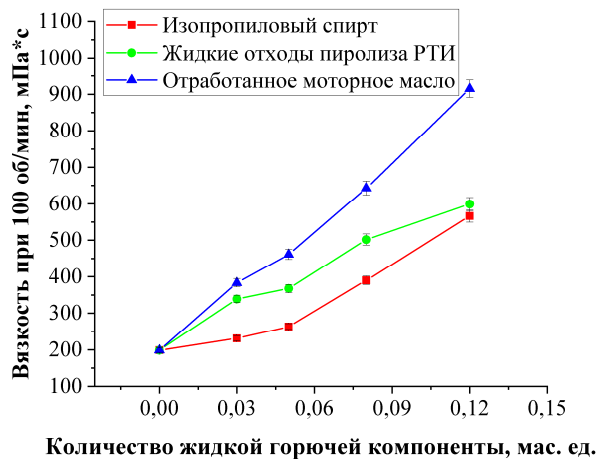


Рис. 4. Влияние концентрации различных видов жидкой горючей компоненты на динамическую вязкость топлива на основе угля марки Д

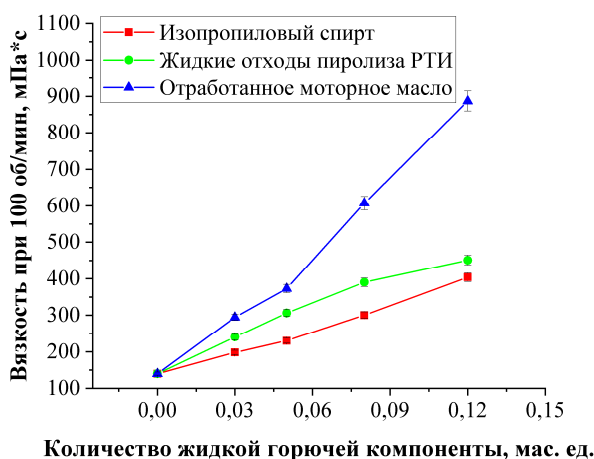


Рис. 5. Влияние концентрации различных видов жидкой горючей компоненты на динамическую вязкость топлива на основе угля марки Т

3 мас. % жидких отходов пиролиза РТИ и на 48,3 % – при добавлении 3 мас. % отработанного моторного масла относительного ВУТ без добавления жидкой горючей компоненты. Вязкость суспензионного топлива на основе угля марки Д увеличивается на 24,7 % при добавлении 5 мас. % изопропилового спирта, на 46,1 % – при добавлении 5 мас. % жидких отходов пиролиза РТИ и на 56,9 % – при добавлении 5 мас. % отработанного моторного масла относительного ВУТ без добавления жидкой горючей компоненты. Вязкость суспензионного топлива на основе угля марки Д возрастает на 49,1 % при добавлении 8 мас. % изопропилового спирта, на 60,5 % – при добавлении 8 мас. % жидких отходов пиролиза РТИ и на 69,1 % – при добавлении 8 мас. % отработанного моторного масла относительного ВУТ без добавления жидкой горючей компоненты. Вязкость суспензионного топлива на основе угля марки Д повышается на 64,9 % при добавлении 12 мас. % изопропилового спирта, на 66,9 % – при добавле-

нии 12 мас. % жидких отходов пиролиза РТИ и на 78,3 % – при добавлении 12 мас. % отработанного моторного масла относительного ВУТ без добавления жидкой горючей компоненты.

Установлено, что вязкость суспензионного топлива на основе угля марки Т повышается на 29,3 % при добавлении 3 мас. % изопропилового спирта, на 41,7 % при добавлении 3 мас. % жидких отходов пиролиза РТИ и на 52,4 % – при добавлении 3 мас. % отработанного моторного масла относительного ВУТ без добавления жидкой горючей компоненты. Вязкость суспензионного топлива на основе угля марки Т увеличивается на 39,1 % при добавлении 5 мас. % изопропилового спирта, на 54,2 % – при добавлении 5 мас. % жидких отходов пиролиза РТИ и на 62,5 % – при добавлении 5 мас. % отработанного моторного масла относительного ВУТ без добавления жидкой горючей компоненты. Вязкость суспензионного топлива на основе угля марки Т возрастает на 53,3 % при добавлении 8 мас. % изопропилового спирта, на

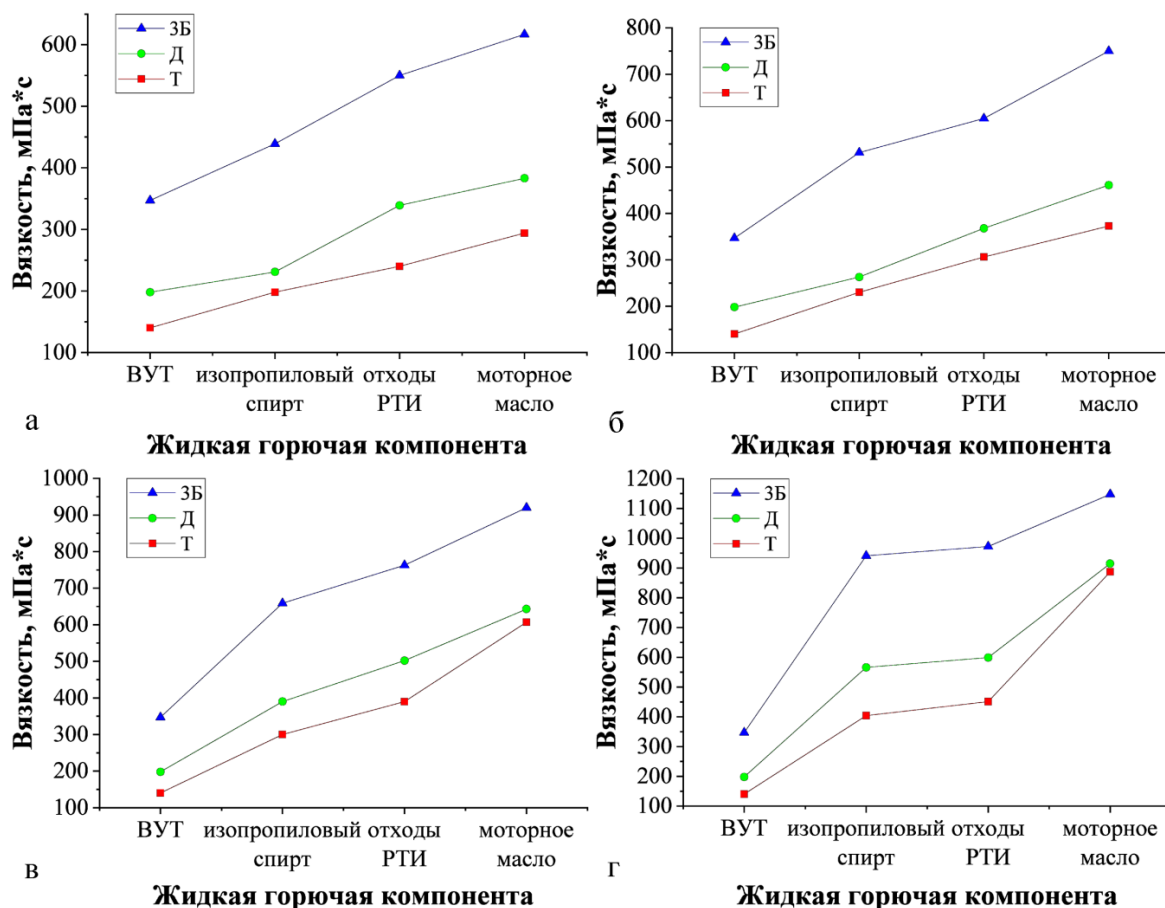


Рис. 6. Зависимость динамической вязкости топлива от типа жидкой горючей компоненты и ее концентрации (угли марки 3Б, Д и Т): а – 3 % жидкой горючей компоненты; б – 5 % жидкой горючей компоненты; в – 8 % жидкой горючей компоненты; г – 12 % жидкой горючей компоненты

64,1 % – при добавлении 8 мас. % жидких отходов пиролиза РТИ и на 76,9 % – при добавлении 8 мас. % отработанного моторного масла относительно ВУТ без добавления жидкой горючей компоненты. Вязкость суспензионного топлива на основе угля марки Т повышается на 65,3 % при добавлении 12 мас. % изопрпилового спирта, на 68,9 % – при добавлении 12 мас. % жидких отходов пиролиза РТИ и на 84,2 % – при добавлении 12 мас. % отработанного моторного масла относительно ВУТ без добавления жидкой горючей компоненты.

На рис. 6 представлена зависимость динамической вязкости топлива от типа жидкой горючей компоненты для углей марки 3Б, Д и Т при ее различных концентрациях.

По результатам проведенных экспериментов установлено, что добавление жидкой горючей компоненты приводит к повышению вязкости получаемого водоугольного топлива. При этом изопрпиловый спирт вызывает наименьшее увеличение данного параметра, а отработанное моторное масло приводит к наибольшему приросту. Также установлено, что вязкость водоугольного топлива неравномерно увеличивается с ростом концентрации жидкой горючей компоненты.

Определено, что из трех исследуемых марок углей суспензионное топливо на основе угля марки 3Б обладает наибольшей вязкостью, а суспензионное топливо на основе угля марки Т – наименьшей. Это связано с их степенью метаморфизма и, соответственно, средним размером пор. Установлено, что уголь марки 3Б имеет наибольший средний размер пор (18,4 нм), уголь марки Т – наименьший (11,9 нм). Средний размер пор угля марки Д составляет 16,6 нм.

Заключение

Согласно результатам проведенных экспериментальных исследований можно сделать три основных вывода:

1. Вязкость суспензионного топлива на основе углей марки 3Б, Д и Т увеличивается при добавлении жидкой горючей компоненты ввиду того, что их вязкость выше вязкости воды.

2. Вязкость суспензионного топлива на основе углей марки 3Б, Д и Т увеличивается с ростом концентрации жидкой горючей компоненты, так как происходит замещение менее вязкой воды более вязким веществом.

3. Из трех исследуемых марок углей суспензионное топливо на основе угля марки 3Б обладает

наибольшей вязкостью, а суспензионное топливо на основе угля марки Т – наименьшей.

Тем не менее вязкость и текучесть водоугольного топлива при добавлении исследуемых жидких горючих компонент (в предложенных концентрациях) остается в допустимых пределах.

Таким образом, можно сделать вывод о возможности применения водоугольного топлива с

добавлением небольшого количества различных жидких горючих компонент в топках котельных агрегатов тепловых электрических станций и локальных котельных, работающих на ВУТ.

Работа выполнена при финансовой поддержке
Минобрнауки РФ в рамках реализации проекта
FSWW-2020-0022.

Литература/References

1. IEA (2019), "World Energy Outlook 2019", IEA, Paris. Available at: <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2019> (accessed 20.05.2020).
2. Yang J., Wu J., He T., et al. Energy Gases and Related Carbon Emissions in China. *Resources, Conservation and Recycling*, 2016, vol. 113, pp. 140–148. DOI: 10.1016/j.resconrec.2016.06.016
3. Wu H., Shi Y., Xia O., et al. Effectiveness of the Policy of Circular Economy in China: a DEA-Based Analysis for the Period of 11th Five-Year-Plan. *Resources, Conservation and Recycling*, 2014, vol. 83, pp. 163–175. DOI: 10.1016/j.resconrec.2013.10.003
4. Li J., Zhang Y., Tian Y., et al. Reduction of Carbon Emissions from China's Coal-Fired Power Industry: Insights from the Province-Level Data. *Journal of Cleaner Production*, 2020, vol. 242, 118518. DOI: 10.1016/j.jclepro.2019.118518
5. Ren Y., Wu O., Wen M., et al. Sulfur Trioxide Emissions from Coal-Fired Power Plants in China and Implications on Future Control. *Fuel*, 2020, vol. 261, 116438. DOI: 10.1016/j.fuel.2019.116438
6. Aust H. Air Filtration and power generation: Flue gas desulphurization. *Filtration & Separation*, 2007, vol. 44, no. 10, pp. 36–37. DOI: 10.1016/S0015-1882(07)70325-7
7. Sun W., Shao Y., Zhao L., et al. Co-Removal of CO₂ and Particulate Matter from Industrial Flue Gas by Connecting an Ammonia Scrubber and a Granular Bed Filter. *Journal of Cleaner Production*, 2020, vol. 257, 120511. DOI: 10.1016/j.jclepro.2020.120511
8. Gusnawan P.J., Zou L., Zhang G., et al. Performance and Stability of a Bio-Inspired Soybean-Based Solvent for CO₂ Capture from Flue Gas. *Chemical Engineering Journal*, 2020, vol. 385, 123908. DOI: 10.1016/j.cej.2019.123908
9. Cheng J., Zhu Y., Zhang Z., et al. Modification and Improvement of Microalgae Strains for Strengthening CO₂ Fixation from Coal-Fired Flue Gas in Power Plants. *Bioresource Technology*, 2019, vol. 291, 121850. DOI: 10.1016/j.biortech.2019.121850
10. Larionov K.B., Gromov A.A. Non-Isothermal Oxidation of Coal with Ce(NO₃)₃ and Cu(NO₃)₂ Additives. *International Journal of Coal Science and Technology*, 2019, vol. 6, no. 1, pp. 37–50. DOI: 10.1007/s40789-018-0229-y
11. Kuznetsov G.V., Jankovsky S.A., Tolokolnikov A.A., et al. Mechanism of Sulfur and Nitrogen Oxides Suppression in Combustion Products of Mixed Fuels Based on Coal and Wood. *Combustion Science and Technology*, 2019, vol. 191, no. 11, pp. 2071–2081. DOI: 10.1080/00102202.2018.1543285
12. Yelverton T., Brashear A.T., Nash D.G., et al. Characterization of Emissions from a Pilot-Scale Combustor Operating on Coal Blended with Woody Biomass. *Fuel*, 2020, vol. 264, 116774. DOI: 10.1016/j.fuel.2019.116774
13. Zhang Y., Shen Z., Zhang B., et al. Emission Reduction Effect on PM_{2.5}, SO₂ and NO_x by Using Red Mud as Additive in Clean Coal Briquetting. *Atmospheric Environment*, 2019, vol. 223, 117203. DOI: 10.1016/j.atmosenv.2019.117203
14. Kurgankina M.A., Nyashina G.S., Strizhak P.A. Prospects of Thermal Power Plants Switching from Traditional Fuels to Coal-Water Slurries Containing Petrochemicals. *Science of the Total Environment*, 2019, vol. 671, pp. 568–577. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2019.03.349
15. Baranova M.P., Kulagin V.A., Tarabanko V.E. Nature of Stabilization of Water-Coal Fuel Suspensions. *Russian Journal of Applied Chemistry*, 2011, vol. 84, no. 6, pp. 939–944. DOI: 10.1134/s1070427211060073
16. Shukla S.C., Kukade S., Mandal S.K., et al. Coal–Oil–Water Multiphase Fuel: Rheological Behavior and Prediction of Optimum Particle Size. *Fuel*, 2008, vol. 87, no. 15–16, pp. 3428–3432. DOI: 10.1016/j.fuel.2008.05.027
17. Liu J., Wang R., Gao F., et al. Rheology and Thixotropic Properties of Slurry Fuel Prepared Using Municipal Wastewater Sludge and Coal. *Chemical Engineering Science*, 2012, vol. 76, pp. 1–8. DOI: 10.1016/j.ces.2012.04.010
18. Chen R., Wilson M., Leong Y.K., et al. Preparation and Rheology of Biochar, Lignite Char and Coal Slurry Fuels. *Fuel*, 2011, vol. 90, no. 4, pp. 1689–1695. DOI: 10.1016/j.fuel.2010.10.041

19. Zhang K., Cao Q., Jin L., et al. A Novel Route to Utilize Waste Engine Oil by Blending It With Water and Coal. *Journal of Hazardous Materials*, 2017, vol. 332, pp. 51–58. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2017.02.052

20. Boylu F., Dinçer H., Ateşok G. Effect of Coal Particle Size Distribution, Volume Fraction and Rank on the Rheology of Coal-Water Slurries. *Fuel Processing Technology*, 2004, vol. 85, no. 4, pp. 241–250. DOI: 10.1016/S0378-3820(03)00198-X

21. Konduri M., Fatehi P. Alteration in Interfacial Properties and Stability of Coal Water Slurry by Lignosulfonate. *Powder Technology*, 2019, vol. 356, pp. 920–929. DOI: 10.1016/j.powtec.2019.09.019

22. Atesok G., Boylu F., Sirkeci A.A., et al. The effect of coal properties on the viscosity of coal–water slurries. *Fuel*, 2002, vol. 81, no. 14, pp. 1855–1858. DOI: 10.1016/S0016-2361(02)00107-2

Зенков Андрей Викторович, ассистент, НОЦ И.Н. Бутакова, Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск; avz41@tpu.ru.

Гвоздяков Дмитрий Васильевич, канд. техн. наук, доцент, НОЦ И.Н. Бутакова, Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск; dim2003@tpu.ru.

Губин Владимир Евгеньевич, канд. техн. наук, доцент, НОЦ И.Н. Бутакова, Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск; gubin@tpu.ru.

Поступила в редакцию 18 июня 2020 г.

DOI: 10.14529/power200303

EFFECT OF LIQUID COMBUSTIBLE COMPONENTS ON COAL-WATER FUEL VISCOSITY

A.V. Zenkov, avz41@tpu.ru,

D.V. Gvozdyakov, dim2003@tpu.ru,

V.E. Gubin, gubin@tpu.ru

Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russian Federation

The paper presents the experimental studies of coal-water fuel viscosity and suspensions with addition of small amount of various liquid combustible components (isopropyl alcohol, liquid wastes of rubber products processing, and used engine oil) performed. The results show that a liquid combustible component introduced into the suspension causes an increase in the viscosity of the fuel, since the viscosity of the considered liquid combustible components is higher than the viscosity of water. It has been established that the viscosity of slurry fuels based on 3B, D, and T grade coals increases with the increase in the combustible components concentration in the liquid, as less viscous water is replaced by a more viscous substance. Slurry fuel based on 3B grade coal has been determined to have the highest viscosity among the three studied grades, while the slurry fuel based on T grade coal has the smallest viscosity. It has been established that coal-water fuels with addition of a small amount of various liquid combustible components can be used for combustion in boiler units furnaces, since their viscosity and fluidity remain within acceptable limits.

Keywords: coal-water fuel, viscosity, liquid combustible component, isopropyl alcohol, engine oil, liquid wastes of rubber products processing.

This work was supported by the Ministry of Education and Science of the Russian Federation, as part of FSWW-2020-0022 project.

Received 18 June 2020

ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Зенков, А.В. Влияние жидких горючих компонент на вязкость водоугольного топлива / А.В. Зенков, Д.В. Гвоздяков, В.Е. Губин // Вестник ЮУрГУ. Серия «Энергетика». – 2020. – Т. 20, № 3. – С. 26–32. DOI: 10.14529/power200303

FOR CITATION

Zenkov A.V., Gvozdyakov D.V., Gubin V.E. Effect of Liquid Combustible Components on Coal-Water Fuel Viscosity. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Power Engineering*, 2020, vol. 20, no. 3, pp. 26–32. (in Russ.) DOI: 10.14529/power200303