

UDC 662.772

**Murko V.I., Khyamyalyainen V. A., Volkov M.A., Baranova M.P.**

**The opportunities and prospects for the implementation of  
non-waste coal preparation technology**

Murko V.I., CJSC Scient. Production Enterprise «Sibecotechnika», Director of Science, Doctor of Technical Science, Professor, 654079 Kommunarov Street 2, Novokuznetsk, Kemerovo region, Russia +7 3843 74 37 00, e-mail: [sib\\_eco@kuz.ru](mailto:sib_eco@kuz.ru);

Khyamyalyainen V. A., Kuzbass State Technical University named after T.F. Gorbachev, Doctor of Technical Science, Professor, 650000 28 Vesennya st., Kemerovo, Russia

Volkov M.A., Deputy Technical Director, JSC «SUEK Kuzbas».

Baranova M.P., Siberian Federal University, Doctor of Technical Science, Professor, 660074 Kirensky Street 26, Krasnoyarsk city, e-mail: [marina60@mail.ru](mailto:marina60@mail.ru)

**Annotation.** A feature of modern coal preparation plants (CPP) in Russia is the use of closed water slime schemes (without discharging slurry water outside the plant to external waste dumps) and the lack of thermal drying of small classes of coal due to their effective mechanical dewatering. As a result, a significant amount (up to 10-12% of the volume of coal processing at the plant) of toxic fine-dispersed coal-enrichment waste (FDCEW) with a particle size of less than 0.5 mm, humidity of 30-45% and ash content of 25-65% appeared. This product is not in demand on the market, it is very difficult to process and, as a rule, it is shipped outside the factory with the breed or separately by road to waste dumps or sludge collectors. Considering the high toxicity of the FDCEW, due to the presence on the surface of particles of flocculants and coagulants used on CPP, which have carcinogenic and mutagenic effects, the storage of such wastes is associated with a high hazard, which creates significant environmental problems in the region. To solve the problem of using the FDCEW, a technology and a set of equipment have been developed for obtaining on their basis suspension coal-water fuel (CWF) and its efficient combustion with the capture and disposal of ash and slag waste (SW) generated. In addition, it is intended to use the fuel obtained at coal-steam plants (CSP) and regional hydro-electric power plants (RHEPP). In this case, by increasing the volume of combustion, an economic and ecological effect is achieved.

**Keywords:** fine coal preparation waste, filter-cake, preparation, burning of suspension coal-water fuels.

УДК 662.772

**В.И. Мурко, В.А. Хамяляйнен, М.А. Волков, М.П. Баранова**

**Возможности и перспективы реализации безотходной технологии обогащения углей**

Мурко В.И., Научно-производственное предприятие «Сибэкотехника», директор по науке, доктор технических наук, профессор, 654079 проспект Коммунаров 2, Новокузнецк, Кемеровская область, Россия +7 3843 74 37 00, E-mail: [sib\\_eco@kuz.ru](mailto:sib_eco@kuz.ru);

Хамяляйнен В. А., Кузбасский государственный технический университет, доктор технических наук, профессор, 650000 ул. Весенняя, Кемерово, Россия

Волков М.А., заместитель технического директора, АО «СУЭК Кузбасс».

Баранова М.П., Сибирский федеральный университет, доктор технических наук, профессор, 660074 ул. Киренского 26, город Красноярск, E-mail: [marina60@mail.ru](mailto:marina60@mail.ru)

**Аннотация.** Особенностью современных углеобогащительных фабрик (ОФ) России является использование замкнутых водношламовых схем (без сброса шламовых вод за пределы фабрики в наружные гидротвалы) и отсутствие термической сушки мелких классов угля за счёт их эффективного механического обезвоживания. В результате на выходе появилось значительное количество (до 10-12% от объёма переработки угля на фабрике) токсичных тонкодисперсных отходов углеобогащения (ТДОУ) с крупностью частиц менее 0,5 мм, влажностью 30-45% и зольностью 25-65%. Данный продукт не востребован на рынке, очень труден для переработки и, как правило, отгружается за пределы фабрики с породой или отдельно автотранспортом на породные отвалы или площадки-шламонакопители. Учитывая высокую токсичность ТДОУ, обусловленную наличием на поверхности частиц применяемых на ОФ флокулянтов и коагулянтов, обладающих канцерогенным и мутагенным воздействием, хранение таких отходов сопряжено с высокой опасностью, что создает значительные экологические проблемы в регионе. Для решения проблемы использования ТДОУ разработана технология и комплекс оборудования для получения на их основе суспензионного водоугольного топлива (ВУТ) и его эффективного сжигания с улавливанием и утилизацией образующихся золошлаковых отходов (ЗШО). Кроме того, предполагается использовать полученное топливо на угольных ТЭС и ГРЭС. В этом случае, за счёт увеличения объёмов сжигания достигается экономический и экологический эффект.

**Ключевые слова:** тонкодисперсные отходы углеобогащения, фильтр-кек, приготовление, сжигание суспензионных водоугольных топлив.

Особенностью технологических схем современных углеобогащительных фабрик (ОФ) России является использование замкнутого водношламового цикла, что позволяет ликвидировать сброс шламовых вод за пределы фабрики в наружные отстойники и гидротвалы, и отсутствие термической сушки мелких классов угля за счёт их более эффективного механического обезвоживания в осадительно-фильтрующих центрифугах – деканторах и вакуум-фильтрах различных конструкций. При этом намечалось решить две проблемы: снижение себестоимости процесса углеобогащения и повышение его экологичности. Однако, на самом деле, как показывает опыт эксплуатации ОФ, как минимум одна из проблем не решена в полной мере. В действительности на фабриках нербогащенные угольные шламы и отходы углеобогащения с крупностью частиц до 300 (1000) мкм сгущаются в радиальных сгустителях, сгущенный продукт которых направляется на ленточные или камерные фильтр-прессы для обезвоживания. Для интенсификации процессов сгущения, осветления или фильтрования используются флокулянты анионного и катионного типов, расход которых составляет до 460 г/т твердой фазы. Согласно данному процессу значительная доля растворенных флокулянтов содержится в жидкой фазе и на поверхности твердых частиц осадка (фильтр-кека) фильтр-пресса. Расчеты показывают, что в одной тонне фильтр-кека содержится до 300 г крайне токсичных флокулянтов, вывод которых за пределы фабрик недопустим.

Вместе с тем, в настоящее время фильтр-кек с крупностью частиц 0-1000 мкм при содержании класса 0-100 мкм до 90%, влажностью 30-45% и зольностью 23-62% не может быть добавлен к товарному продукту, не используется как самостоятельный продукт и направляется в отвал вместе с крупной породой. В результате существенно загрязняется окружающая среда и теряется значительная доля перерабатываемого угля (до 10-12%). Кроме того, оборотная вода насыщается остаточными флокулянтами, которые нарушают технологический процесс обогащения угля [1-5].

Для решения указанной проблемы компанией АО «СУЭК-Кузбасс» принято решение о создании пилотного образца технологического комплекса по переработке тонкодисперсных отходов углеобогащения, путем приготовления и сжигания суспензионного угольного топлива на базе фильтр-кека обогатительных фабрик АО «СУЭК-Кузбасс».

Данное решение было основано на проведенных исследованиях по приготовлению и сжиганию суспензионного угольного топлива, полученного на основе тонкодисперсных отходов углеобогащения выполненных на экспериментальном стенде Кузбасского государственного технического университета [5-7]. В данной работе представлены результаты выполненных исследований и показаны перспективы решения имеющейся проблемы.

Качественная характеристика исследуемых проб приведена в таблице 1.

Таблица 1

#### Характеристика проб

Показатель	ОФ «Шахты Комсомолец»		«ОФ имени С.М.Кирова»	
	Проба №1	Проба №2	Проба №3	Проба №4
Влага общая, %	35,2	34,8	40,3	40,8
Зольность (на сухое состояние топлива), %	30,7	26,8	32,8	48,4
Выход летучих веществ (на сухое беззольное состояние топлива), %	43,0	43,1	42,4	41,4
Низшая теплота сгорания рабочего топлива, МДж	13,75	14,3	11,8	8,7

Анализ данных таблицы 1. показал, что влажность представленных для проведения исследований проб фильтр-кека была стабильно высокой –  $W_t^r = 35,2-40,8\%$ . В отличие от влажности, зольность фильтр-кека зависит от качества исходного сырья и изменяется одновременно с ним и может меняться как в узком интервале значений ( $A^d = 30,7\%$ ;  $26,8\%$ ), так и в широком диапазоне отклонений - до  $15,6\%$  ( $A^d = 32,8\%$ ,  $48,4\%$ ) фильтр-кека с ОФ ш. «имени С.М. Кирова». Гранулометрический состав фильтр-кека с ОФ шахт «Комсомолец» и «имени С.М. Кирова» включал классы крупности до 3,0 мм.

Согласно разработанной технологической схемы, исходный фильтр-кек и водный раствор реагента-пластификатора подавали в смеситель периодического действия, далее полученную водоугольную суспензию дозировано подавали на универсальную виброустановку, где происходило доизмельчение и дополнительное перемешивание полученного топлива. Универсальная виброустановка представляет собой бикамерную вибромельницу, состоящую из концентрически расположенных цилиндрических камер, загруженных шарами и связанных между собой каналами. Исходная суспензия поступает во внутреннюю камеру вибромельницы, движется вниз и через каналы поступает во внешнюю камеру. Во внешней камере движение суспензии осуществляется вверх. Разгрузка измельченного материала осуществляется через внешний порог наружной камеры. Данный принцип работы вибромельницы позволяет обеспечить низкие энергозатраты на измельчение частиц в смеси при требуемом размере крупных частиц в готовом топливе. Приготовленное ВУТ перекачивали в емкости для хранения [11].

Для стабилизации качества ВУТ по зольности была предусмотрена возможность подачи в вибромельницу отсева или дробленого промпродукта крупностью от 0 до 10 мм.

Определено влияние механической активации на структурно-реологические характеристики тонкодисперсных угольных суспензий, полученных на основе фильтр-кеков в созданном экспериментальном образце специального насоса-активатора. В насосе-активаторе осуществляли обработку ВУТ в условиях сдвигового деформирования в зазоре  $0,2 \div 0,3$  мм между двумя дисками при относительной угловой частоте вращения подвижного диска 2900 об/мин. В результате на периферийной части диска скорость

сдвига достигала  $2100 \div 3160 \text{ с}^{-1}$ , т.е. заведомо реализовались условия, соответствующие предельному разрушению структуры. Пропускание полученного топлива через насос-активатор позволило снизить вязкость суспензии на 30% и повысить статическую стабильность топлива.

В таблице 2 приведены структурно-реологические и теплофизические показатели опытных партий ВУТ.

Таблица 2

Характеристика приготовленных опытных партий ВУТ

Зольность $A^d$ , %	Выход класса более 0,25мм, %	Массовая доля твердой фазы, $C_T$ , %	Эффективная вязкость при скорости сдвига $81 \text{ с}^{-1}$ , $\eta$ , мПа·с	Стабиль- ность, сутки	Низшая теплота сгорания, $Q_i^r$ , МДж/кг
<b>фильтр-кек ОФ ш. «Комсомолец»</b>					
26,8	1,9	56,9	178	15	12,22
<b>фильтр-кек ОФ ш. «им. С.М.Кирова»</b>					
48,4	1,4	56,6	148	15	8,24

Экспериментально было установлено, что производительность универсальной установки по исходной суспензии колеблется в диапазоне 0,155 т/ч - 0,217т/ч в зависимости от крупности частиц в исходной суспензии. На таком режиме работы установки выход класса +0.250мм в готовой суспензии не превышал требуемого по условиям сжигания ограничения ( $R_{250} \leq 5\%$ ) и составлял 1,4% - 1,9%.

Учитывая, что в исходном продукте – фильтр-кеке содержание микронных классов крупности, как правило, более 70% (таблица 1), на операции доизмельчения в пилотном технологическом комплексе целесообразно установить мельницу со стержневой мелющей загрузкой. Использование стержневой мелющей загрузки в барабанной мельнице позволяет получить более равномерный размер частиц твердой фазы, а наличие микронных частиц в исходном продукте еще более способствует этому факту. Таким образом, появляется возможность в готовом измельченном продукте обеспечить получение гранулометрического состава частиц твердой фазы, близкого к бимодальному. В результате повышается содержание твердой фазы в готовом топливе на 2-3% при сохранении структурно реологических характеристик, что, в свою очередь приводит к повышению теплоты сгорания топлива. Для реализации этого условия была разработана конструкция стержневой вибромельницы), принцип работы которой аналогичен механизму работы бикамерной шаровой вибрационной мельницы демонстрационного стенда.

### Сжигание ВУТ на экспериментальном стенде

Сжигание опытных партий ВУТ производилось на котельной установке, состоящей из котла с тепловой мощностью 0,63 МВт, системы подачи топлива, системы золоулавливания, калорифера для теплосъема, тягодутьевого оборудования. Созданный котел состоит из топки – вихревой камеры сгорания, расположенной в водоохлаждаемом корпусе и экономайзера для съема тепла от горячих дымовых газов, образовавшихся в топке. Подача ВУТ в вихревую топку осуществляется через горелочное устройство с пневмомеханической форсункой тангенциально внутренней цилиндрической поверхности камеры сгорания. Также тангенциально в камеру сгорания подается дутьевой воздух. Распыл топлива производится сжатым воздухом, подаваемым в форсунку. Подача топлива регулируется изменением частоты вращения двигателя топливного насоса. Камера сгорания топки оборудована водоохлаждаемым пережимом, что позволяет удерживать горящие частицы угля и распыленные капли ВУТ необходимое время для их

полного выгорания. Система пылеулавливания – двухступенчатая, и состоит из блока батарейных циклонов и тканевого фильтра, что обеспечивает высокую степень очистки уходящих газов от пыли. В таблице 3 представлены результаты сжигания опытных партий ВУТ

Таблица 3

Результаты сжигания опытных партий водоугольного топлива

Параметр	Числовое значение для ОФ шахты	
	«имени С. М. Кирова»	«Комсомолец»
Теплопроизводительность котла, МВт	0,47-0,57	0,52- 0,66
Температурный режим в топке, °С	980 - 1050	980 - 1050
Расход ВУТ, кг/ч	220 - 250	170 - 210
Давление ВУТ, МПа	0,20	0,19
Давление сжатого воздуха МПа	0,21	0,20
Температура дымовых газов, °С	250 - 260	250 - 260
Коэффициент полезного действия, %	0,83	0,85

Состав и количество вредных выбросов при сжигании приготовленных образцов топлива приведен в таблице 4. Как показывают данные таблицы, полученные значения вредных выбросов существенно меньше допустимых величин для угольных котлов такой мощности при использовании высокозольного топлива.

Таблица 4

Состав и количество вредных выбросов в дымовых газах

Наименование показателя	ПДК*	ВУТ	
		ОФ ш. «Комсомолец»	ОФ ш. «имени С.М. Кирова»
Пыль, мг/м <sup>3</sup>	250	не более 170	не более 200
СО, мг/м <sup>3</sup>	375	не более 75	не более 75
NO <sub>x</sub> , мг/м <sup>3</sup>	750	не более 250	не более 230
SO <sub>2</sub> , мг/м <sup>3</sup>	1200	не более 200	не более 200
ПАУ (бенз(а)пирен), мг/м <sup>3</sup>	0,1·10 <sup>-3</sup>	менее 0,1·10 <sup>-3</sup>	

\* - нормативы удельных выбросов в атмосферу твердых частиц, окиси углерода, оксидов азота и серы, бенз(а)пирена (ГОСТ Р50831-95).

На основании полученных результатов был спроектирован пилотный технологический комплекс по использованию фильтр-кека, параметры которого представлены в таблице 5.

Таблица 5

Технико-экономические показатели пилотного технологического комплекса

Назначение	производство тепловой энергии
------------	-------------------------------

Режим работы	круглосуточный
Производительность установки приготовления ВУТ, т/ч	2,0
Теплопроизводительность котельного участка, МВт•ч	0,58
Расход топлива (ВУТ), номинальный, т/ч	0,2
Расход сжатого воздуха, максимальный, м <sup>3</sup> /мин	1,0

В таблице 6 представлены расчетные технико-экономические показатели по частичной замене угольного топлива ВУТ на котлах ПК- 40 Беловской ГРЭС (ГРЭС расположена в 40 км от промплощадок ОФ шахт «Комсомолец» и «им. Кирова»).

Таблица 6

Расчетные технико-экономические показатели по частичной замене угольного топлива на котлах ПК-40 Беловской ГРЭС ВУТ на основе угольных шламов

Годовая потребность ВУТ, тыс.т.	1 000 ,0
Доля ВУТ в топливном балансе блока котла,%	до 25
Низшая теплота сгорания топлива, Гкал/т	2,8
Себестоимость ВУТ на ГРЭС, руб./т.	433
Экономический эффект замещения 1т угля на ВУТ, руб./т.	763
Снижение затрат на 1Гкал тепловой энергии, руб. /Гкал	144
Срок окупаемости капиталовложений, лет	не более 1,5

## Выводы

Разработаны технология и оборудование для приготовления и сжигания на котельных установках малой и средней мощности суспензионного водоугольного топлива, полученного на основе тонкодисперсных отходов углеобогащения (фильтр-кеков) обогатительных фабрик шахт «Комсомолец» и «имени С.М. Кирова». Показано, что на основе указанных отходов можно приготовить суспензионное водоугольное топливо с содержанием твердой фазы 56-60 %, с требуемыми структурно-реологическими характеристиками и низшей теплотой сгорания до 13 МДж/кг.

Разработан, изготовлен и испытан котел с тепловой мощностью 0,63 МВт с вихревой системой сжигания, эффективно работающий на топливе из отходов углеобогащения. Результаты работы котла на указанном топливе показали его высокую эффективность (к.п.д. составляет 83-86% ) при уровне вредных выбросов в дымовых газах существенно ниже допустимых значений. Достигнуты высокие показатели по уровню мех- и химнедожога топлива (соответственно, не более 5% и 80мг/м<sup>3</sup>, что существенно меньше допустимых значений).

По результатам исследований разработан рабочий проект создания пилотного технологического комплекса по переработке отходов углеобогащения с получением суспензионного водоугольного топлива и его сжигания на котельной установке. Произведена оценка использования всего объема ТДОУ ОФ СУЭК Кузбасс на близлежащей Беловской ГРЭС, которая показала высокую экономическую и экологическую эффективность предлагаемого проекта.

## References:

1. Wan E.I., Fraser M.D., Logan C.N. Low sulphur coal-water fuel to retrofit a coal-fired to comply with US clean air act ammendments of 1990. In: Proceedings og yhe IEA-CLM. Clearwater, FL, USA, (26 April 1993) – Paris, France, International Energy, (1993). p 22
2. Ashworth R.A., Melick T.A., Morrison D.K., Battista J.J. Electric utility CWS firing options to reduce NO<sub>x</sub> emissions, Twenty Third International Technical Conference on Coal Utilization & Fuel Systems, Coal & Slurry Technology Association and ASME-FACT, Clearwater, Florida (1998), -p. 719-730
3. Morrison J.D., Scaroni A.W., Battista J.J. The use of coal slurries for production of coal-water fuel. XIII International Coal Preparation Congress. Brisbane, Australia (4-10 Oct. 1998). –p. 643-645
4. Alaa M. Musalam and Abdel Fattah A. Qaraman. The thermal behavior of the coal-water fuel (CWF). International Journal of Energy and Environmental Research, Vol. 4, No.3, (August 2016). pp.27-36
5. Murko V.I., Karpenok V.I., Senchurova Yu.A., Khyamyalyainen V.A., Tailakov O.V. Study of sulfur oxide reduction during combustion of coal-water slurry. [Coal in the 21st Century: Mining, Processing and Safety](#) (2016). pp. 297-300
6. V. Murko, V. Hamalainen, E3S Web of Conferences, 21, 01029 (2016)
7. Baranova M., Energy and Resource-Saving Sources of Energy in Small Power Engineering of Siberia //Founder Of The Second International Innovative Mining Symposium, T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, Kemerovo. – 2017. – P. 02001
8. Murko V.I., Fedyaev V.I., Karpenok V.I., Zasytkin I.M., Senchurova Y.A., Riesterer A. Investigation of the spraying mechanism and combustion of the suspended coal fuel. Thermal Science. (2015). T. 19. № 1. pp. 243-251
9. Murko V.I., Puzyryov E.M., Karpenok V.I., Fedyaev V.I. Baranova M.P. The Usage Of Boilers With A Vortex Furnace For Burning Enrichment Products And Deballasting Coal. XVIII International Coal Preparation Congress 28 June–01 July 2016 Saint-Petersburg, Russia
10. Murko V.I., Fedyaev V.I., Aynetdinov H.L., Baranova M.P. Environmentally Clean Technology of Fine Waste Coal Utilization. XVII International coal preparation congress, Istanbul, Turkey (1-6 Oct. 2013)
11. Biletsky V. , Sergeev P. and Krut O. Fundamentals of highly loaded coal-water slurries. Mining of Mineral Deposits. Taylor & Francis Group, London (2013). pp. 105-113
12. Kijo-Kleczkowska, A., 2011. Analysis of cyclic combustion of the coal-water suspension Archives of Thermodynamics, 32(1). pp. 45-75
13. Kijo-Kleczkowska, A. Combustion of coal-water suspensions, Fuel, 90 (2011) 2, pp. 865-

Murko V.I., CJSC Scient. Production Enterprise «Sibecotechnika», Director of Science, Doctor of Technical Science, Professor, 654079 Kommunarov Street 2, Novokuznetsk, Kemerovo region, Russia +7 3843 74 37 00, e-mail: [sib\\_eco@kuz.ru](mailto:sib_eco@kuz.ru);

Khyamyalyainen V. A., T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, Doctor of Technical Science, Professor, 650000 28 Vesennya st., Kemerovo, Russia

Volkov M.A., Deputy Technical Director, JSC «SUEK Kuzbas».

Baranova M.P., Siberian Federal University, Doctor of Technical Science, Professor, 660074 Kirensky Street 26, Krasnoyarsk city, e-mail: [marina60@mail.ru](mailto:marina60@mail.ru)

### **Возможности и перспективы реализации безотходной технологии обогащения углей.**

**Аннотация.** Особенностью современных углеобогащительных фабрик (ОФ) России является использование замкнутых водношламовых схем (без сброса шламовых

вод за пределы фабрики в наружные гидроствалы) и отсутствие термической сушки мелких классов угля за счёт их эффективного механического обезвоживания. В результате на выходе появилось значительное количество (до 10-12% от объёма переработки угля на фабрике) токсичных тонкодисперсных отходов углеобогащения (ТДОУ) с крупностью частиц менее 0,5 мм, влажностью 30-45% и зольностью 25-65%. Данный продукт не востребован на рынке, очень труден для переработки и, как правило, отгружается за пределы фабрики с породой или отдельно автотранспортом на породные отвалы или площадки-шламонакопители. Учитывая высокую токсичность ТДОУ, обусловленную наличием на поверхности частиц применяемых на ОФ флокулянтов и коагулянтов, обладающих канцерогенным и мутагенным воздействием, хранение таких отходов сопряжено с высокой опасностью, что создает значительные экологические проблемы в регионе. Для решения проблемы использования ТДОУ разработана технология и комплекс оборудования для получения на их основе суспензионного водоугольного топлива (ВУТ) и его эффективного сжигания с улавливанием и утилизацией образующихся золошлаковых отходов (ЗШО). Кроме того, предполагается использовать полученное топливо на угольных ТЭС И ГРЭС. В этом случае, за счет увеличения объемов сжигания достигается экономический и экологический эффект.

**Ключевые слова:** тонкодисперсные отходы углеобогащения, фильтр-кек, приготовление, сжигание суспензионных водоугольных топлив,

#### References:

14. Wan E.I., Fraser M.D., Logan C.N. Low sulphur coal-water fuel to retrofit a coal-fired to comply with US clean air act ammendments of 1990. In: Proceedings og yhe IEA-CLM. Clearwater, FL, USA, (26 April 1993) – Paris, France, International Energy, (1993). p 22
15. Ashworth R.A., Melick T.A., Morrison D.K., Battista J.J. Electric utility CWS firing options to reduce NO<sub>x</sub> emissions, Twenty Third International Technical Conference on Coal Utilization & Fuel Systems, Coal & Slurry Technology Association and ASME-FACT, Clearwater, Florida (1998), -p. 719-730
16. Morrison J.D., Scaroni A.W., Battista J.J. The use of coal slurries for production of coal-water fuel. XIII International Coal Preparation Congress. Brisbane, Australia (4-10 Oct. 1998). –p. 643-645
17. Alaa M. Musalam and Abdel Fattah A. Qaraman. The thermal behavior of the coal-water fuel (CWF). International Journal of Energy and Environmental Research, Vol. 4, No.3, (August 2016). pp.27-36
18. Murko V.I., Karpenok V.I., Senchurova Yu.A., Khyamyalyainen V.A., Tailakov O.V. Study of sulfur oxide reduction during combustion of coal-water slurry. [Coal in the 21st Century: Mining, Processing and Safety](#) (2016). pp. 297-300
19. V. Murko, V. Hamalainen, E3S Web of Conferences, 21, 01029 (2016)
20. Baranova M., Energy and Resource-Saving Sources of Energy in Small Power Engineering of Siberia //Founder Of The Second International Innovative Mining Symposium, T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, Kemerovo. – 2017. – P. 02001
21. Murko V.I., Fedyaev V.I., Karpenok V.I., Zasyppkin I.M., Senchurova Y.A., Riesterer A. Investigation of the spraying mechanism and combustion of the suspended coal fuel. Thermal Science. (2015). T. 19. № 1. pp. 243-251
22. Murko V.I., Puzyryov E.M., Karpenok V.I., Fedyaev V.I. Baranova M.P. The Usage Of Boilers With A Vortex Furnace For Burning Enrichment Products And Deballasting Coal. XVIII International Coal Preparation Congress 28 June–01 July 2016 Saint-Petersburg, Russia
23. Murko V.I., Fedyaev V.I., Aynetdinov H.L., Baranova M.P. Environmentally Clean Technology of Fine Waste Coal Utilization. XVII International coal preparation congress, Istanbul, Turkey (1-6 Oct. 2013)



24. Biletskyy V. , Sergeev P. and Krut O. Fundamentals of highly loaded coal-water slurries. Mining of Mineral Deposits. Taylor & Francis Group, London (2013). pp. 105-113
25. Kijo-Kleczkowska, A., 2011. Analysis of cyclic combustion of the coal-water suspension Archives of Thermodynamics, **32(1)**. pp. 45-75
26. Kijo-Kleczkowska, A. Combustion of coal-water suspensions, Fuel, **90** (2011) 2, pp. 865-

