

ISSN 1999-4125 (Print)

ISSN 2949-0642 (Online)

Научная статья

УДК 662.648.24

DOI: 10.26730/1999-4125-2023-5-73-80

**РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРОЦЕССА МАСЛЯНОЙ ГРАНУЛЯЦИИ С ПРИМЕНЕНИЕМ МАСЛЯНЫХ АГЕНТОВ КОКСОХИМИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА**

Мурко Василий Иванович<sup>1,2</sup>  
Заостровский Анатолий Николаевич<sup>3</sup>  
Глобина Елена Андреевна<sup>1</sup>  
Бобровников Никита Сергеевич<sup>1</sup>  
Кулаковский Александр Сергеевич<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Сибирский государственный индустриальный университет<sup>2</sup>ООО «НПЦ «Сибэкотехника»<sup>3</sup>Федеральный исследовательский центр угля и углехимии СО РАН

\*для корреспонденции: catalys01@rambler.ru

**Информация о статье**

Поступила:

18 октября 2023 г.

Одобрена после

рецензирования:

20 ноября 2023 г.

Принята к публикации:

22 ноября 2023 г.

Опубликована:

05 декабря 2023 г.

**Ключевые слова:**

каменный уголь, масляная  
грануляция, углемасляный  
гранулят, масло  
каменноугольное, обогащение,  
угольный шлам

**Аннотация.**

Переработка и использование угольных шламов и тонкодисперсных отходов углеобогащения (осадков фильтр-прессов, фильтр-кеков) является в настоящее время одной из важнейших проблем при эксплуатации обогатительных фабрик (ОФ), решение которой позволит не только снизить потери топлива с отходами, но и улучшить процесс обогащения углей, увеличить выход концентрата и снизить его себестоимость, существенно оздоровить окружающую среду. Наиболее эффективным методом обогащения тонких классов углей являются методы масляной грануляции, которые активно разрабатываются в России и за рубежом в течение последних десятилетий. Выполнены исследования процесса обогащения тонкоизмельченного угля методом масляной грануляции с использованием в качестве масляного агента продуктов улавливания химических летучих веществ коксохимического производства. При отработке методики эксперимента по обогащению углей методом масляной грануляции в качестве реагента предполагается использование масла каменноугольного среднего марки «В» и «В1». Из-за сравнительно низкой стоимости этих продуктов в дальнейшем их стоит рассматривать как перспективное связующее. Полученные результаты обогащения различных углей показали высокую селективность процесса масляной грануляции при использовании в качестве связующего каменноугольного масла. Установлено, что при расходе связующего 5,0% от исходного угля получили углемасляный концентрат с зольностью 12,6-12,9% при исходной зольности 22,0-21,2%.

**Для цитирования:** Мурко В.И., Заостровский А.Н., Глобина Е.А., Бобровников Н.С., Кулаковский А.С. Результаты исследований процесса масляной грануляции с применением масляных агентов коксохимического производства // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2023. № 5 (159). С. 73-80. DOI: 10.26730/1999-4125-2023-5-73-80, EDN: TXMТTZ

Для обогащения тонкоизмельченного угля с целью получения из него концентрата наиболее перспективным можно считать метод масляной грануляции, в основе которого лежит использование явления различной смачиваемости маслом угольных и породных частиц в воде и способности аполярных жидкостей образовывать в суспензии малозольные углемасляные гранулы, служащие основой для получения суспензионного топлива, топливных брикетов, компонентов шихт для коксования. При масляной грануляции в результате турбулизации пульпы происходит селективное образование углемасляных агрегатов, которые уплотняются и преобразовываются в прочные гранулы сферической формы, затем легко отделяются от минеральной суспензии [1, 2].

Масляная грануляция – процесс сложный, многоэтапный. Основными факторами на завершающем этапе этого процесса, влияющими на крупность и механическую прочность грануляционного концентрата, являются тип и расход связующего, длительность процесса, степень турбулизации суспензии и ее плотность.

Кроме того, **выбор связующего компонента** во многом определяет себестоимость процесса. Как отмечается в работе [3], самым важным параметром процесса масляной грануляции является **концентрация масла**. Так, постепенное добавление количества связующей жидкости к суспензии тонких частиц может привести к различным агломерированным продуктам. В зависимости от концентрации углеводородного связующего образование агрегатов может происходить либо слипанием омасленных угольных частиц через тонкую пленку связующего, либо избирательным наполнением капелек масла гидрофобными угольными частицами.

Химические продукты коксохимического производства – продукты термического разложения каменных углей, образующиеся в процессе высокотемпературного коксования угольных шихт в коксовой камере. В результате процесса коксования улавливаемые летучие химические продукты представляют собой сложную неоднородную систему, состоящую из газообразных и парообразных веществ, из которых затем выделяются химические продукты, такие как каменноугольное, поглотительное и антраценовое масла, сырой бензол, сернистые соединения, аммиак, кислая смола и др.

При отработке методики эксперимента по обогащению углей методом масляной грануляции в качестве реагента предполагается использование масла каменноугольного среднего марки «В» и «В1». Из-за сравнительно низкой стоимости этих продуктов в дальнейшем их стоит рассматривать как перспективное связующее.

#### **Экспериментальная часть**

В экспериментальных исследованиях по обогащению методом масляной грануляции были использованы водоугольные суспензии (ВУС), полученные на основе фильтр-кеков углеобогащительных предприятий Кузбасса (Таблица 1).

Для приготовления ВУС исходное сырье, т.е. фильтр-кек класса 0-1 мм загружали в механический смеситель, куда одновременно дозировано подавали водный раствор реагента-пластификатора (для используемого исходного сырья расход реагента-пластификатора составлял 0,3% от твердой фазы в суспензии). На выходе из смесителя количество твердой фазы в суспензии должно составлять от 20 до 40%. Если требовался домол (при выходе класса +250 мм свыше 5%), то суспензию предварительно подавали на измельчение [4].

Экспериментальная установка для обогащения угля методом масляной грануляции представляет собой емкость круглого сечения (камера агрегации) и подключенный по системе соединительных шлангов специальный роторно-пульсационный аппарат (РПА), а также разделительную воронку для фазового разделения водо-углемасляной суспензии. Общий вид роторно-пульсационного аппарата показан на Рис. 1. Особенности и преимущества РПА заключаются в том, что за счет особой конструкции рабочих органов совмещает в себе одновременно:

- диспергатор – тонкое измельчение компонентов, приготовление эмульсий и суспензий, многокомпонентные составы из трудносмешивающихся жидкостей;
- гомогенизатор – получение и стабилизация однородного состава высокой дисперсности;
- насос – перекачивание готового продукта без дополнительного насоса.

Аппарат является энергосберегающим звеном любого технологического процесса за счет совмещения функций различных изделий и сокращения технологического цикла.



Рис. 1. Роторно-пульсационный аппарат  
Fig. 1. Rotary pulsation apparatus

Таблица 1. Характеристика суспензионного угольного топлива для проведения масляной грануляции  
Table 1. Characteristics of suspended coal fuel for oil granulation

№ № п/п	Дата	Зольность, $A^a$ , %	Количество добавки от твердой фазы, %	Массовая доля твердой фазы, $C_T$ , %	Гранулометрический состав, классы, мм					Низшая теплота сгорания, $Q_i^r$ , МДж/кг (ккал/кг)
					+1,0	0,355÷1 ,0	0,250÷ 0,355	0,071÷ 0,250	-0,071	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	11	12
<b>ОФ «Коксовая» филиала «Бачатский угольный разрез»</b>										
1, 2	29.05., 13.06.2023	22,0	0,3	63,97	-	0,1	0,7	23,3	75,9	3482
<b>ОФ «Краснобродская-Коксовая» филиала «Краснобродский угольный разрез»</b>										
3, 4	30.05., 31.05.2023	25,3	0,3	58,73	-	0,3	1,5	21,4	76,8	3206
<b>ОФ «Энергетическая» филиала «Калтанский угольный разрез»</b>										
5	13.06.2023	21,2	0,3	57,50	-	0,5	0,7	17,4	81,2	3483

За счет применения в проведенных исследованиях специального роторно-пульсационного аппарата, в котором происходит механохимическая активация углемаляной суспензии, резко возрастает число столкновений твердых частиц с масляными гранулами. При этом образуются более крепкие углемаляные гранулы. Мелкие гидрофобные частицы угля при столкновении с такими гранулами, закрепляясь на пленке масла, образуют микрофлукулы. Подобные микрофлукулы при сталкивании друг с другом образуются гранулы больших размеров. На поверхности водной среды в емкости образуется пористый слой угольной пены (масляный гранулят – концентрат), способный легко отделиться от водной среды (минеральной части – отходов).

В экспериментах перемешивание приготовленной пульпы осуществляли ручной электрической мешалкой с активным элементом диаметром 150 мм и длиной 200 мм, с регулируемой скоростью вращения. Мешалку погружали в рабочую емкость и перемешивали пульпу до однородного состояния (определяется визуально) в течение определенного времени (примерно 1-2 мин.)

Затем готовую суспензию переливали в емкость, подключенную к РПА, после чего перемешивали в нем в течение 5 минут. Далее добавляли реагент-собиратель и перемешивали еще вместе 10 минут. Для проведения экспериментов по обогащению углей методом масляной

грануляции в качестве реагента-собирателя использовали масло каменноугольное среднее марки «В» и «В1».

В конце эксперимента на поверхности водной среды в емкости образовался пористый слой угольной пены, способной легко отделиться от водной среды. Разделение всплывшего продукта (пены) проводили сначала в разделительной воронке и далее на неподвижном лабораторном сите с размером ячейки 0,25 мм. Конечными продуктами разделения во всех экспериментах являются масляный гранулят (концентрат) и минеральная часть (отходы).

### Результаты и обсуждение

Полученные при обогащении результаты подтвердили высокую селективность процесса масляной агломерации при использовании в качестве связующего каменноугольного масла

Таблица 2. Результаты обогащения угля методом масляной грануляции

Table 2. Results of Coal Enrichment by Oil Granulation

№ опыта и	Режим диспергирования	Марка угля	Реагент	Характеристики продуктов обогащения						
				Исходное питание (ВУТ)		Масляный гранулят (концентрат)			Минеральная часть (отходы)	
				Wt <sup>r</sup> , %	A <sup>d</sup> , %	W <sup>r</sup> , %	ВЫХОД, %	A <sup>d</sup> , %	ВЫХОД, %	A <sup>d</sup> , %
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
ОФ «Коксовая» филиала «Бачатский угольный разрез»										
1 29.05.2023	t <sub>1</sub> =5 мин. (вода+ВУТ), t <sub>2</sub> = 10 мин. (+масло каменноугольное «В»)	КО	Масло каменноуголь ное «В» 5%	36,0	22,0	61,65	72,9	14,7	27,1	41,6
4 13.06.2023	t <sub>1</sub> =5 мин. (вода+ВУТ), t <sub>2</sub> = 10 мин. (+ масло каменноугольное «В1»)	КО	Масло каменноуголь ное «В1» 5%	36,0	22,0	57,8	50,6	12,6	49,4	31,6
ОФ «Краснобродская-Коксовая» филиала «Краснобродский угольный разрез»										
2 30.05.2023	t <sub>1</sub> =5 мин. (вода+ВУТ), t <sub>2</sub> =10 мин. (+масло каменноугольное «В»)	КС	Масло каменноуголь ное «В» 5%	41,3	25,3	65,2	62,8	14,7	34,8	46,2
3 31.05.2023	t <sub>1</sub> =5 мин. (вода+ВУТ), t <sub>2</sub> =10 мин. (+ масло каменноугольное «В1»)	КС	Масло каменноуголь ное «В1» 5%	41,3	25,3	68,0	55,9	16,2	44,1	36,8
ОФ «Энергетическая» филиала «Калтанский угольный разрез»										
5 13.06.2023	t <sub>1</sub> =5 мин.(вода+ВУТ), t <sub>2</sub> =10 мин. (+ масло каменноугольное «В1»)	Т	Масло каменноуголь ное «В1» 5%	42,5	21,2	64,7	67,0	12,9	33,0	38,1

обеих марок. Выход органической части в концентрат получили в пределах 52,6% – 72, 9%, зольность отходов при этом составила  $A^d = 36,8\% - 46,2\%$  при исходной  $A^d = 21,2\% - 25,3\%$ . Необходимо отметить, что выход и зольность концентрата (гранулята) включает содержание связующего, так как основная часть связующего остается в гранулированном продукте и повышает его теплотворную способность.

Кроме того, исследованиями было установлено, что скорость процесса грануляции с каменноугольным маслом марки «В1» значительно ниже, чем с использованием масла марки «В».

Анализ Таблицы 2 показал возможность получения гранулята методом масляной агломерации с указанными связующими при обогащении водоугольных суспензий, приготовленных из разных марок угля: КО, КС, Т.

Сжигание водоуглемасляного концентрата в виде композиционного водоугольного топлива имеет свои особенности. Зажигание и горение такого топлива облегчается за счет повышенного содержания в нем летучих веществ, несмотря на сравнительно невысокое содержание твердой фазы ( $\leq 50\%$ ) [5-9].

Таким образом, на основе переработки проб исходного материала методом масляной агломерации при расходе связующего (масло каменноугольное марки «В1» – 5% от массы исходного угля) получили качественный углемасляный концентрат с зольностью 12,6 – 12,9% при исходной 22,0 % – 21,2%.

Использование метода масляной грануляции в практике имеет большие перспективы. Потребности современной технологии подготовки ВУТ диктуют необходимость дальнейшего развития теоретических и экспериментальных работ по определению закономерностей различных технологических марок углей подвергаться глубокой деминерализации, знание которых необходимо для оптимизации процесса получения высокорекреационного ВУТ [10-16].

*Исследование выполнено за счёт гранта ФГБОУ ВО «СибГИУ», договор № 134/2023 от 2 июня 2023 г. НИР «Исследование процесса обогащения угольных шламов методом масляной грануляции».*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мурко В. И. Научные основы процессов получения и эффективного применения водоугольных суспензий: дисс. ... докт. техн. наук. М., 1999. 237 с.
2. Мурко В. И., Заостровский А. Н., Аникин А. Е., Темлянцева Е. Н. Получение и использование углемасляного гранулята // Кокс и химия. 2022. № 10. С. 45–50.
3. Шохин В. Н., Лопатин А. Г. Гравитационные методы обогащения. М. : Недра, 1993.
4. Пат. RU № 2268289. Способ получения композиционного водоугольного топлива / В. И. Мурко, В. И. Федяев, Д. А. Дзюба, А. Н. Заостровский, Т. А. Папина, М. С. Клейн. Опубл. 20.01.2006. Бюл. № 02.
5. Вершинина К. Ю., Глушков Д. О., Кузнецов Г. В., Стрижак П. А. Отличия характеристик зажигания водоугольных суспензий и композиционного жидкого топлива // Химия твердого топлива. 2016. № 2. С. 21–33.
6. Вершинина К. Ю., Кузнецов Г. В., Стрижак П. А. Влияние технологии приготовления органоводоугольных топлив на характеристики их зажигания // Кокс и химия. 2016. № 4. С. 8–17.
7. Зенков А. В. Свойства водоугольных топлив с добавлением жидких горючих компонентов и характеристики их распыления для котлов промышленной теплоэнергетики: дисс. ... канд. техн. наук. Томск, 2021. 122 с. : ил.
8. Няшина Г. С. Исследование способов снижения влияния тепловых электрических станций на окружающую среду при сжигании суспензионных топлив из отходов углеобогащения и биомассы: дисс. ... канд. техн. наук. Томск. 2018. 201 с.
9. Сыродой С .В. Тепломассоперенос при воспламенении частиц перспективных композиционных топлив на основе угля: дисс. ... докт. техн. наук. Томск, 2022. 404 с.
10. Мурко В. И., Кравченко А. Е., Бондаренко А. Н., Заостровский А. Н. Обогащение тонких угольных шламов методом масляной грануляции // Вестник КузГТУ. 2020. № 4. С. 42–48.
11. Заостровский А. Н., Мурко В. И. Технология получения и использования высокорекреационного водоугольного топлива // Кокс и химия. 2023. № 9. С. 18–25.
12. Зайденварг В. Е., Трубецкой К. Н., Мурко В. И., Нехороший И. Х. Производство и использование водоугольного топлива. М. : Изд-во Академии горных наук, 2001. 174 с.
13. Заостровский А. Н., Сарычев В. Д., Уманский А. А., Мурко В. И. Термический анализ углей и водоугольных суспензий // Кокс и химия. 2012. № 1. М. 13–17.

14. Кучин И. В., Заостровский А. Н., Папин А. В., Солодов Г. А., Мурко В. И., Папина Т. А. Математическая модель процесса обогащения угольных шламов методом масляной агломерации // Вестник Кузбасс. гос. техн. ун-та. Кемерово, 2004. № 6.1. С. 104–108.

15. Мурко В. И., Федяев В. И., Хямяляйнен В. А. Физико-технические основы водоугольного топлива. Кемерово : Кузбассвузиздат, 2009. 196 с.

16. Хямяляйнен В. А., Мурко В. И., Заостровский А. Н. Физические процессы в нетрадиционных геотехнологиях: учеб. Пособие. ГУ КузГТУ. Кемерово : Кузбассвузиздат, 2010. 180 с.

© 2023 Авторы. Эта статья доступна по лицензии Creative Commons «Attribution» («Атрибуция») 4.0 Всемирная (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

*Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.*

*Об авторах:*

Мурко Василий Иванович, Сибирский государственный индустриальный университет (г. Новокузнецк, 654000, Россия; ООО «НПЦ «Сибэкотехника», г. Новокузнецк, 654000, Россия), докт. техн. наук, профессор, [sib\\_eco@mail.ru](mailto:sib_eco@mail.ru)

Заостровский Анатолий Николаевич, Федеральный исследовательский центр угля и углехимии СО РАН (650000, Россия, г. Кемерово, Советский пр., 18), ведущий научный сотрудник, канд. техн. наук, доцент, [catalys01@rambler.ru](mailto:catalys01@rambler.ru)

Глобина Елена Андреевна, Сибирский государственный индустриальный университет (г. Новокузнецк, 654000, Россия)

Бобровников Никита Сергеевич, Сибирский государственный индустриальный университет (г. Новокузнецк, 654000, Россия)

Кулаковский Александр Сергеевич, Сибирский государственный индустриальный университет (г. Новокузнецк, 654000, Россия)

*Заявленный вклад авторов:*

Мурко Василий Иванович – постановка исследовательской задачи, концептуализация исследования, анализ данных, выводы, написание текста.

Заостровский Анатолий Николаевич – научный менеджмент; обзор соответствующей литературы; сбор и анализ данных; выводы, написание текста.

Глобина Елена Андреевна – проведение эксперимента по обогащению угольных шламов методом масляной грануляции.

Бобровников Никита Сергеевич – проведение эксперимента по обогащению угольных шламов методом масляной грануляции.

Кулаковский Александр Сергеевич – проведение эксперимента по обогащению угольных шламов методом масляной грануляции.

*Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.*

## Original article

### RESULTS OF STUDIES OF THE OIL GRANULATION PROCESS USING OIL AGENTS OF COKE CHEMICAL PRODUCTION

Vasiliy I. Murko<sup>1,2</sup>, Anatoly N. Zaostrovsky<sup>3</sup>,  
Elena A. Globina<sup>1</sup>, Nikita S. Bobrovnikov<sup>1</sup>,  
Alexander S. Kulakovskiy<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Siberian State Industrial University

<sup>2</sup>ООО “Сибекотехника”

<sup>3</sup>The Federal Research Center of Coal and Coal Chemistry of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences

\*for correspondence: [catalys01@rambler.ru](mailto:catalys01@rambler.ru)

**Article info**

Received:

18 October 2023

Accepted for publication:

20 November 2023

Accepted:

22 November 2023

Published:

05 December 2023

**Keywords:** Coal, petrographic analysis of coal, vitrinite reflection index, reflectogram, charge, free swelling index, sinterability, coking coal

**Abstract.**

Processing and use of coal sludge and fine coal enrichment waste (precipitation of filter presses, filter cakes) is currently one of the most important problems in the operation of coal processing plants (CPP), the solution of which will not only reduce fuel losses with waste, but also improve the process of coal preparation, increase the output of concentrate and reduce its cost, significantly improve the environment. The most effective method of enrichment of fine classes of coals is oil granulation methods, which have been actively developed in Russia and abroad over the past decades. Studies of the process of enrichment of finely ground coal by the method of oil granulation using the products of capture of chemical volatile substances of coke chemical production as a collecting agent have been carried out. When working out the methodology of the experiment on coal enrichment by oil granulation method, it is supposed to use medium coal oil of "B" and "B1" types as an oil agent. Due to the relatively low cost of these products, in the future they should be considered as a promising binder. The obtained results of the enrichment of various coals showed high selectivity of the oil granulation process when using coal oil as a binder. It was found that at a binder consumption of 5.0% of the initial coal, a coal oil concentrate with an ash content of 12.6-12.9% was obtained with an initial ash content of 22.0-21.2%.

**For citation:** Murko V.I., Zaostrovsky A.N., Globina E.A., Bobrovnikov N.S., Kulakovskiy A.S. Results of the oil granulation process using oil agents of coke chemical production. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*=Bulletin of the Kuzbass State Technical University. 2023; 5(159):73-80. (In Russ., abstract in Eng.). DOI: 10.26730/1999-4125-2023-5-73-80, EDN: TXMTTZ

## REFERENCES

1. Murko V.I. Nauchnyye osnovy protsessov polucheniya i effektivnogo primeneniya vodougol'nykh suspenziy: diss. ... dokt. tekhn. nauk. M., 1999. 237 s.
2. Murko V.I., Zaostrovskiy A.N., Anikin A.Ye., Temlyantseva Ye.N. Polucheniye i ispol'zovaniye uglemaslyanogo granulyata. *Koks i khimiya*. 2022; 10:45–50.
3. Shokhin V.N., Lopatin A.G. Gravitatsionnyye metody obogashcheniya. M.: Nedra; 1993.
4. Pat. RU № 2268289. Sposob polucheniya kompozitsionnogo vodougol'nogo topliva. V.I. Murko, V.I. Fedyayev, D.A. Dzyuba, A.N. Zaostrovskiy, T.A. Papina, M.S. Kleyn. Opubl. 20.01.2006. Byul. № 02.
5. Vershinina K.Yu., Glushkov D.O., Kuznetsov G.V., Strizhak P.A. Otlichiya kharakteristik zazhiganiya vodougol'nykh suspenziy i kompozitsionnogo zhidkogo topliva. *Khimiya tverdogo topliva*. 2016; 2:21–33.
6. Vershinina K.Yu., Kuznetsov G.V., Strizhak P.A. Vliyaniye tekhnologii prigotovleniya organovodougol'nykh topliv na kharakteristiki ikh zazhiganiya. *Koks i khimiya*. 2016; 4:8–17.
7. Zenkov A.V. Svoystva vodougol'nykh topliv s dobavleniyem zhidkikh goryuchikh komponentov i kharakteristiki ikh raspyleniya dlya kotlov promyshlennoy teploenergetiki: diss. ... kand. tekhn. nauk. Tomsk, 2021. 122 s. : il.
8. Nyashina G.S. Issledovaniye sposobov snizheniya vliyaniya teplovykh elektricheskikh stantsiy na okruzhayushchuyu sredu pri szhiganiy suspenzionnykh topliv iz otkhodov ugleobogashcheniya i biomassy: diss. ... kand. tekhn. nauk. Tomsk. 2018. 201 s.
9. Syrodoy S.V. Teplomassoperenos pri vosplamnenii chastits perspektivnykh kompozitsionnykh topliv na osnove uglia: diss. ... dokt. tekhn. nauk. Tomsk, 2022. 404 s.
10. Murko V.I., Kravchenko A.Ye., Bondarenko A.N., Zaostrovskiy A.N. Obogashcheniye tonkikh ugol'nykh shlamov metodom maslyanoy granulyatsii. *Vestnik KuzGTU*. 2020; 4:42–48.
11. Zaostrovskiy A.N., Murko V.I. Tekhnologiya polucheniya i ispol'zovaniya vysokoreaktsionnogo vodougol'nogo topliva. *Koks i khimiya*. 2023; 9:18–25.
12. Zaydenvarg V.Ye., Trubetskoy K.N. Murko V.I., Nekhoroshiy I.Kh. Proizvodstvo i ispol'zovaniye vodougol'nogo topliva. M.: Izd-vo Akademii gornykh nauk; 2001. 174 s.
13. Zaostrovskiy A.N., Sarychev V.D., Umanskiy A.A., Murko V.I. Termicheskii analiz ugley i vodougol'nykh suspenziy. *Koks i khimiya*. 2012; 1; 13–17.
14. Kuchin I.V., Zaostrovskiy A.N., Papin A.V., Solodov G.A., Murko V.I., Papina T.A. Matematicheskaya model' protsessa obogashcheniya ugol'nykh shlamov metodom maslyanoy aglomeratsii // *Vestnik Kuzbass. gos. tekhn. un-ta*. Kemerovo. 2004; 6.1:104–108.
15. Murko V.I., Fedyayev V.I., Khyamyalyaynen V.A. Fiziko-tekhnicheskiye osnovy vodougol'nogo topliva. Kemerovo: Kuzbassvuzizdat; 2009. 196 s.

16. Khyamyalyaynen V.A., Murko V.I. Zaostrovskiy A.N. Fizicheskiye protsessy v netraditsionnykh geotekhnologiyakh: ucheb. posobiye. KuzGTU. Kemerovo: Kuzbassvuzizdat; 2010. 180 s.

© 2023 The Authors. This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

*The authors declare no conflict of interest.*

*About the authors:*

Vasiliy I. Murko, Siberian State Industrial University, Novokuznetsk, Russia; OOO “Sibecotechnika”, Novokuznetsk, Russia. [sib\\_eco@mail.ru](mailto:sib_eco@mail.ru)

Anatoly N. Zaostrovsky, Federal State Budget Scientific Centre “The Federal Research Center of Coal and Coal Chemistry of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences”, Kemerovo, Russia (650000, Russia, Kemerovo, Sovetsky pr., 18), Ph. D. tech. Sciences, Associate Professor, [catalys01@rambler.ru](mailto:catalys01@rambler.ru)

Elena A. Globina, Siberian State Industrial University, Novokuznetsk, Russia

Nikita S. Bobrovnikov, Siberian State Industrial University, Novokuznetsk, Russia

Alexander S. Kulakovskiy, Siberian State Industrial University, Novokuznetsk, Russia

*Contribution of the authors:*

Vasiliy I. Murko – formulation of a research task, conceptualization of research, data analysis, conclusions, writing a text.

Anatoly N. Zaostrovsky – statement of the research problem, scientific management; review of relevant literature; conceptualization of the study; data collection and analysis; conclusions, text writing.

Elena A. Globina – conducting an experiment on the enrichment of coal sludge by oil granulation.

Nikita S. Bobrovnikov – conducting an experiment on the enrichment of coal sludge by oil granulation.

Alexander S. Kulakovskiy – conducting an experiment on the enrichment of coal sludge by oil granulation.

*All authors have read and approved the final manuscript.*

