

**ОБОГАЩЕНИЕ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ**

DOI: 10.26730/1999-4125-2020-4-42-48

УДК 622.7

**ОБОГАЩЕНИЕ ТОНКИХ УГОЛЬНЫХ ШЛАМОВ МЕТОДОМ МАСЛЯНОЙ ГРАНУЛЯЦИИ****ENRICHMENT OF FINE COAL SLUDGE BY OIL GRANULATION****Мурко Василий Иванович**<sup>1</sup>,

доктор техн. наук, профессор,

заместитель управляющего филиалом по науке, e-mail: sib\_eco@mail.ru

**Vasily I. Murko**<sup>1</sup>,

Dr. Sc. in Engineering, Professor, Deputy Manager of the Branch for Science

**Кравченко Антон Евгеньевич**<sup>2</sup>,

менеджер по развитию бизнес-системы

**Anton E. Kravchenko**<sup>2</sup>, Business System Development Manager**Бондаренко Алексей Николаевич**<sup>1</sup>,

старший научный сотрудник, e-mail: bondarenkoal@suek.ru

**Alexey N. Bondarenko**<sup>1</sup>, Senior Researcher**Заостровский Анатолий Николаевич**<sup>3</sup>,

канд. техн. наук, доцент, ведущий научный сотрудник, e-mail: catalys01@rambler.ru

**Anatoly N. Zaostrovsky**<sup>3</sup>, C. Sc. in Engineering, Associate Professor, Leading Researcher<sup>1</sup>ООО «Сибниинуглеобогащение», 653000, Россия, Кемеровская обл., г. Прокопьевск, ул. Горная, д.1<sup>1</sup>LLC "Sibniyugleobogaschenie", 653000, Russia, Kemerovo region., Prokop'evsk, st. Gornaya, 1<sup>2</sup>ООО «Распадская угольная компания», 654027, Россия, Кемеровская обл., г. Новокузнецк, проспект Курако, д.33<sup>2</sup>Raspadskaya Coal Company LLC, 654027, Russia, Kemerovo Region, Novokuznetsk, Kurako Avenue, 33<sup>3</sup>Институт углехимии и химического материаловедения Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр угля и углехимии Сибирского отделения Российской академии наук» (ИУХМ ФИЦ УУХ СО РАН)), 650000, Россия, г. Кемерово, пр-т Советский, 18<sup>3</sup>Institute of Coal Chemistry and Materials Science of the Federal Research Centre of Coal and Chemistry Siberian Branch of the Russian Academy of Science; Russia, 650000, Kemerovo, Soviet Avenue, 18**Аннотация:**

В статье описана проблема неиспользованных отходов углеобогащения. Большие площади в Кузбассе заняты шламохранилищами и отстойниками, поскольку объемы производств увеличиваются, а тонкие угольные шламы обогащать методами флотации и гравитации трудозатратно и дорого. Решением является использование методов масляной грануляции, которые активно разрабатываются в России и за рубежом в течении последних десятилетий. Несмотря на разработки, в отечественной промышленности масляная грануляция распространения не получила в связи с дороговизной используемых масляных реагентов. В НИИП «Сибэкотехника» были проведены предварительные лабораторные опыты, в ходе которых был предложен способ обогащения с низким расходом масляных реагентов, высоким выходом и низкой зольностью конечного продукта. Показана высокая эффективность обогащения с использованием сырой нефти и гидрофуза при их расходе до 11%.

**Ключевые слова:** масляная грануляция, обогащение, угольный шлам, сырая нефть, гидрофуз.

**Abstract:**

*This article describes the problem of unused coal preparation waste. Large areas in Kuzbass are occupied by sludge storages and sedimentation tanks, since the volume of production increases, and it is labor-intensive and expensive to enrich thin coal sludge using flotation and gravity methods. The solution is to use oil granulation methods that have been actively developed in Russia and abroad over the past decades. Despite the developments, in the domestic industry, oil granulation did not receive distribution due to the high cost of the used oil reagents. At NPP "Sibekotekhnika" preliminary laboratory experiments were carried out, during which, a method of enrichment with a low consumption of oil reagents, high yield and low ash content of the final product was proposed. The high efficiency of enrichment with the use of crude oil and hydrofuse is shown, with their consumption up to 11%.*

**Key words:** oil granulation, beneficiation, coal sludge, crude oil, hydrofuse.

Экономическое благополучие России в значительной степени определяется состоянием топливно-энергетического комплекса страны. Объективная оценка текущей ситуации в ТЭК России свидетельствует о необходимости значительного повышения роли угля и как основного топливного ресурса, призванного обеспечить прирост выработки электроэнергии и тепла, и как гарантированной сырьевой составляющей при производстве продукции черной металлургии, углехимического производства, медицины, сельского хозяйства и многих других производств [1].

Согласно стратегии энергетического развития России ИУУ СО РАН спрогнозировал уровень добычи угля на период до 2030 г. С позиции обеспечения энергетической безопасности стран угля в России в 2010 г., согласно расчетам, необходимо было добыть 380-400 млн т., в 2020 г. должно добываться порядка 450 млн т., а к 2030 г. нужно добывать до 550 млн т.

Основную нагрузку в достижении таких объемов добычи угля должны нести сибирские угольные бассейны, и в первую очередь Кузбасс.

Реализация Энергетической стратегии России для Кузбасса выражается в увеличении объемов производства, сопровождающимся усилением негативного воздействия угольной отрасли на окружающую среду, образованием значительно большего объема отходов производства и более масштабным нарушением земель и загрязнением вод. Увеличение масштабов добычи угля определяет непрерывный рост объемов обогащаемых углей и, следовательно, ведет к значительному увеличению количества шламовых вод и угольных шламов в отстойниках и шламонакопителях.

Для снижения негативного воздействия предприятий угольной отрасли на окружающую среду и улучшения экологической обстановки необходимо в первую очередь решать проблему утилизации или дообогащения угольных шламов и отходов углеобогащения. Перевод угольных шламов в технологически приемлемое топливо позволит не только улучшить экологическую

обстановку в регионе, но и получить существенный экономический эффект, поскольку в шламах и отходах угольной промышленности может находиться до 80% товарного (коксующегося и энергетического) угля

Ухудшает ситуацию переработки шламов тот факт, что в последнее время значительно увеличилось количество тонкодисперсных частиц в угольных шламах и шламовых водах на предприятиях угольной отрасли Кузбасса. К примеру, количество класса <100 мкм на таких угледобывающих и углеперерабатывающих предприятиях, как шахта «Тырганская», ЦОФ «Абашевская», ОФ «Распадская», ОФ «Заречная» и др. превышает 40-50% от общего количества шлама. Высокое содержание шлагообразующих тонкодисперсных частиц в рядовом угле негативно влияет на эффективность как гравитационных, так и флотационных процессов обогащения различных классов угля и на их глубину. Исследования, проведенные в работе [2], показывают, что с уменьшением крупности шлама и повышением содержания твердой фазы в среде зольность концентрата и размер обогащенных зерен увеличиваются.

Единственным широко применяемым на производстве методом обогащения тонких классов угля и шламовых вод является пенная флотация. Однако флотационный метод обогащения не всегда обеспечивает получение желаемых результатов, что связано с недостаточной эффективностью разделения тонкодисперсных частиц, а также сложностью и высокой стоимостью обезвоживания и сушки флотационного концентрата. Согласно [3], эффективность флотационного процесса для угольных зерен различной крупности различна. В частности, не обеспечиваются требуемые качественно-количественные показатели при обогащении шламов, имеющих зерна < 100-150 мкм и содержащих значительное количество глинистых примесей. Для шламов крупностью < 3-10 мкм метод флотации вообще не приемлем ввиду малой эффективности. Мелкие зерна, обладая огромной удельной поверхностью, занимают большую часть

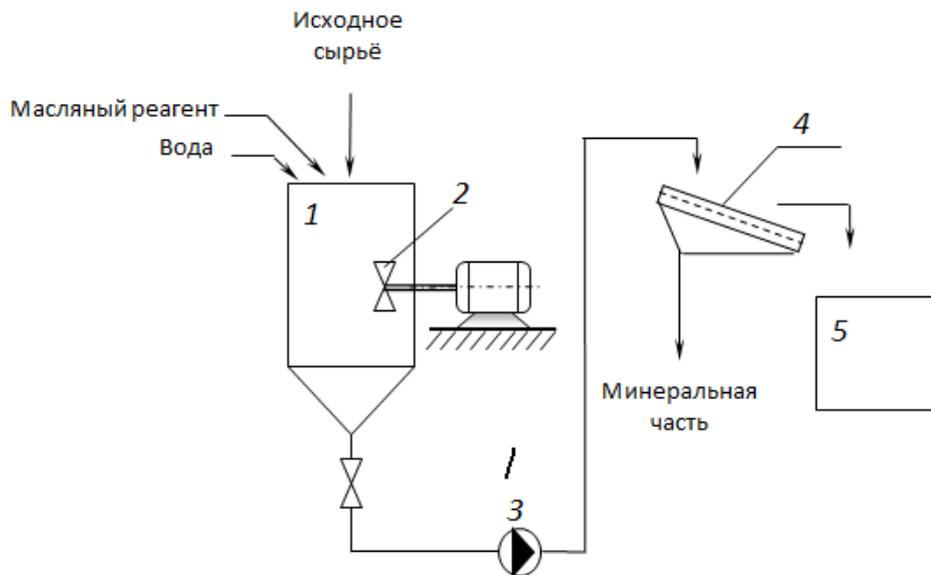


Рис. 1. Схема лабораторной установки обогащения углей методом масляной грануляции. 1 – рабочая емкость, 2 – турбинная мешалка, 3 – насос, 4 – стационарное сито, 5 – емкость для гранулята.

Fig. 1. Diagram of a laboratory plant for coal preparation by oil granulation. 1 – working container, 2 – turbine mixer, 3 – pump, 4 – stationary sieve, 5 – granulate container

флотационно-активной поверхности воздушных пузырьков и затрудняют ведение процесса обогащения более крупных частиц, что заметно снижает скорость флотации, особенно в первых камерах машин.[4]

Эффективное разделение органической и минеральной составляющих такого труднообогащаемого сырья можно осуществить, используя новый физико-технический метод обогащения, основанный на принципе масляной селекции – масляную грануляцию. При этом не только получаются кондиционные по качеству концентраты для коксования и энергетики, но и одновременно создаются условия для утилизации минеральной части отходов в качестве компонента строительных материалов.[5]

Суть метода масляной грануляции заключается в том, что естественно гидрофобные или гидрофобизованные угольные частицы при турбулизации в водной среде с углеводородной жидкостью образуют агломераты, состоящие из частиц угля, связанных между собой тонкой пленкой масла. Постепенно агломераты уплотняются, структурно преобразуясь в плотные гранулы преимущественно сферической формы, которые легко отделяются на стационарных ситах или в иных обезвоживающих аппаратах от суспензии, содержащей гидрофильные частицы [6].

Метод масляной грануляции основан на различной способности к смачиванию углеводородами связующими угольной и породной

частиц в водной среде под действием турбулентных сил, что определяет высокую селективность предлагаемого метода [7].

Преимущество данного метода заключается в следующем:

- возможность обогащения высокозольных угольных шламов;
- высокая селективность процесса обогащения;
- простота обезвоживания продукта масляной грануляции до необходимой влажности;
- практически полное извлечение (>95%) в угольный концентрат органической части угля и углеводородного связующего, что приводит к снижению зольности конечного продукта и повышению его теплотворной способности [8].

Метод масляной грануляции представляется перспективным в зависимости от условий его применения и разрабатывается в настоящее время как в России, так и за рубежом (США, Австралия, Япония). Первое упоминание о процессе масляной грануляции или масляной агломерации, реализованной в промышленном варианте, относится еще к началу прошлого века. В США были построены четыре обогатительные фабрики для обогащения угля [9]. Процесс обогащения включал обработку угольной суспензии, содержащей 40% тонких твердых частиц, мазутом – 30% от веса сухого угля (Trent-процесс). Несмотря на получение гранулированного продукта размером 25 мм и зольность 4%, данный процесс не получил дальнейшего развития из-за

Таблица 1. Результаты обогащения угольных шламов и отходов углеобогащения методом масляной грануляции  
 Table 1. Results of beneficiation of coal sludge and waste coal by oil granulation

Исходный материал	Марка угля	Реагент	Характеристики продуктов обогащения							Фактическая зольность масляного гранулята $A^d$ , %
			Исходное питание		Масляный гранулят			Минеральная часть		
			$W^r$ , %	$A^d$ , %	$W^r$ , %	выход, %	$A^d$ , %	выход, %	$A^d$ , %	
Отсев ОФ «Листвяжная»	Д	Сырая нефть (8%)	13,4	19,0	26,1	84,2	7,8	15,8	78,6	<b>7,1</b>
		Гидрофуз (8%)	13,4	19,0	27,8	86,1	9,9	13,9	75,4	<b>9,1</b>
		Сырая нефть (11%)	13,4	19,0	26,1	83,8	7,0	16,2	80,9	<b>6,2</b>
		Гидрофуз (11%)	13,4	19,0	25,2	84,9	8,7	15,1	76,9	<b>7,7</b>
Отсев разреза «Бунгурский»	Т	Сырая нефть (8%)	5,6	24,8	30,3	77,7	9,6	22,3	73,6	<b>8,7</b>
		Гидрофуз (8%)	5,6	24,8	26,8	79,9	12,3	20,1	70,1	<b>11,2</b>
		Сырая нефть (11%)	5,6	24,8	29,0	78,0	8,7	22,0	77,9	<b>7,6</b>
		Гидрофуз (11%)	5,6	24,8	28,5	78,4	10,6	21,6	72,3	<b>9,3</b>

высоких затрат на углеводородные реагенты.

С 1952-1965 гг. в Германии работали два завода по обогащению мелких углей коксующихся марок методом масляной селекции. Это процесс обогащения получил название Convertol-процесс. Отличительной особенностью процесса являлось снижение расхода связующей жидкости до 3-10% мас. сухого угля[10].

CFRI-процесс (Central Fuel Research Institute) разрабатывается Центральным исследовательским институтом топлива в Индии [11] для обогащения труднообогатимых углей, в первую очередь коксующихся, составляющих порядка 60% всех геологических запасов. После сухого измельчения уголь смешивался с водой и с 1-2% по массе легкого дизельного топлива и подавался в шаровую, стержневую или коллоидную мельницу. Смесь содержит 35-40% твердых частиц[12]. Подготовленная смесь подвергается скоростному перемешиванию с добавлением 5-12% котельного топлива. Дизельное топливо является гидрофобизирующим веществом, а котельное топливо – связующим. Здесь происходит слипание угольных частиц, а минеральные – остаются взвешенными в воде. Гранулированные угольные частицы затем обезвоживаются на сите[13].

Промышленные установки обогащения для обогащения рядового угля, шлама или

промпродукта посредством CFRI-процесса работают в Японии (10 т/ч) и в Австралии (30 т/ч). На первой зольность гранул составляет 8-9% при зольности шлама 20%, а на второй – до 80% гранул зольностью 12,5% из рядового угля – зольностью 25% [14].

В России и странах ближнего Зарубежья фундаментальными и прикладными исследованиями процессов масляной селекции занималась группа ученых во главе с доктором А.Т. Елишевичем. Также вопросами масляной агломерации занимались академик Солодов Г.А., Клейн М.С. совместно с сотрудниками Кузбасского государственного технического университета.

Вопреки возрастающей всемирной популярности процесса обогащения тонкодисперсных углей методами масляной селекции, а также большого интереса к ним со стороны отечественных ученых промышленного внедрения в России метод масляной грануляции не получил. Причиной этого может являться дороговизна углеводородного связующего (сырая нефть, мазут и др.), поскольку себестоимость процесса масляной грануляции на 70% зависит от стоимости связующего компонента. В связи с этим поиск дешевых масляных реагентов является актуальным научным направлением,

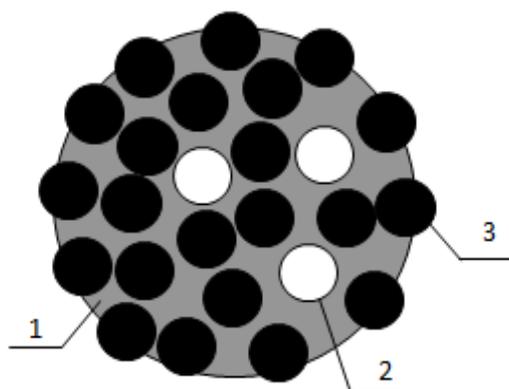


Рис. 2. Фазовые составляющие масляного агломерата. 1 – масляный агент; 2 – угольная частица; 3 – минеральная частица.

Fig. 2. Phase components of the oil agglomerate. 1 – oil agent; 2 – coal particle; 3 – mineral particle.

определяющим рентабельность процесса масляной грануляции. [15]

НПП «Сибэкотехника» были проведены предварительные лабораторные опыты по обогащению тонкодисперсных шламов и отходов углеобогащения Кузнецких углей различных стадий метаморфизма методом масляной грануляции с использованием в виде связующего сырой нефти и гидратационного фуза (гидрофуза) – отход, образующийся при щелочной рафинации растительных масел. Лабораторная установка, на которой проводились опыты, показана на рис. 1.

Согласно методике эксперимента в рабочую емкость наливалась вода, затем загружалось исходное сырье аналитической влажности. Отношение твердого к жидкому было определено как 1/3. Вода смешивалась с углем в течение 1-2 мин. Затем добавлялся масляный реагент (сырая нефть, гидрофуз) в различных концентрациях и перемешивался 7-8 мин. Поэтому в конце эксперимента на поверхности водной среды в емкости образуется слой плотной пористой угольной пены, способной легко отделяться от водной среды. Разделение всплывшего продукта (пены) проводится на неподвижном лабораторном сите или в разделительной воронке. Конечными продуктами разделения являются масляный гранулят и минеральная часть (отходы). Результаты обогащения угольных шламов и отходов углеобогащения методом масляной грануляции приведены в таблице.

Одной из основных характеристик, определяющих качество углемасляного гранулята, является его зольность. Однако стандартная методика расчета зольности подобной углемасляной смеси не дает полного фактического значения полученной зольности.

Согласно рис. 2 органическая часть масляного агломерата состоит из твердой органической части

угля и органической части масляного агента.

Следовательно, фактически общая часть органической массы масляного агломерата увеличивается на количество добавляемого масляного реагента. Но стандартная методика расчета зольности проб не предназначена для определения зольности углемасляной смеси. Поэтому органическая часть масляного реагента при подобном методе расчета не учитывается. Таким образом, для расчета зольности углемасляного гранулята с учетом органической части масляного связующего были приняты следующие поправки в формулах расчета зольности:

$$A^d = \frac{A_{исх}^d \cdot \gamma_{исх} - A_{реагента}^d \cdot \gamma_{реагента}}{\gamma_{исх} + \gamma_{реагента}} \quad (1);$$

где:

$\gamma_{исх}$  – общий выход исходного сырья 100%;

$\gamma_{реагента}$  – доля добавляемого масляного реагента от исходного сырья, %;

$A_{исх}^d$  – исходная зольность сырья, %;

$A_{нефти}^d$  – зольность масляного реагента, % ( $\approx 0\%$ );

$A^d$  – зольность полученного продукта (углемасляной суспензии), %.

Формула (1) рассчитывает зольность исходного твердого сырья с добавлением масляного реагента, т.е. углемасляной суспензии. При расчете зольности углемасляной суспензии с использованием сырой нефти и гидрофуза в роли масляного реагента принимаем  $A_{реагента}^d \approx 0\%$ .

$$A_{к}^d = \frac{A^d \cdot \gamma' - A_{от}^d \cdot \gamma_{от}}{\gamma_{к} + \gamma_{реагента}} \quad (2);$$

$$\gamma' = \gamma_{исх} + \gamma_{реагента} \quad (3).$$

где:

$\gamma_{от}$  – выход минеральной части, %;

$\gamma_{к}$  – выход органической части, %;

$\gamma'$  – выход углемасляной суспензии, %;

$A_{к}^d$  – зольность масляного гранулята, %;

$A_{от}^d$  – зольность отходов, %.

По формуле (2) рассчитывается зольность масляного гранулята с учетом органической части

масляного агента.

Полученные фактические значения зольности проб масляного гранулята приведены в таблице.

Согласно данным, приведенным в таблице, масляный гранулят, полученный на основе гидрофуза при расходе 11% от исходного сырья, может является кондиционным сырьем как для энергетики, так и для коксового производства.

Использование масляного гранулята в энергетике возможно в виде высококалорийного обеззоленного топлива. В энергетике полученный масляный гранулят можно использовать для приготовления твердых (топливные брикеты и гранулы) и жидких (водоугольное топливо) топлив и последующего их сжигания с целью получения более дешевой тепловой и электрической энергии.

Объективная оценка текущей ситуации в ТЭКе России свидетельствует о необходимости значительного повышения роли угля и топлив,

приготовленных на его основе, призванных обеспечить прирост выработки электроэнергии и тепла. В настоящее время все больший интерес в российской энергетике приобретают водоугольные суспензии. Получение высококалорийного водоугольного топлива на основе масляного гранулята является перспективным научным направлением, которое обуславливается неуклонным сокращением запасов природного газа и нефти.

Другим не менее значимым перспективным направлением является использование масляного концентрата для получения низкотемпературных топливных брикетов.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта №20-43-420016/20.*

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Грицко Г.И. Уголь в топливно-энергетическом балансе: прошлое, настоящее, прогноз на будущее // Уголь, 2002. - №6. – С. 18-20.
2. Шламы, их улавливание и обезвоживание // Т.Г. Фоменко [и др.]; под ред. Е.А. Макрушина. – Москва: Изд-во «Недра», 1968.– 203 с.
3. Внедрение флокуляционно-флотационного способа обогащения угольных шламов / И.Н. Никитин [и др.] // Кокс и химия. – 1988. -№11. – С. 10-13.
4. Флотационные машины / Н.Ф. Мещеряков. – Москва: Изд-во «Недра», 1972.– 250 с.
5. Bulatovic Srdjan M. Chemistry, Theory and Practice 1st Edition // SBM Mineral Processing and Engineering Services LTD, Peterborough, Ontario, Canada – p. 458.
6. Елишевич А.Т. Обогащение угольных шламов методом масляной агломерации / А.Т. Елишевич, Ю.Л. Папушин, В.С. Белецкий // Кокс и химия. – 1991. – №5. – С. 7-9.
7. Гранулирование дисперсных материалов в жидких средах / О.К. Семакина [и др.] ; под ред. С.А. Бабенко. – Томск: Изд-во Института оптики атмосферы СО РАН, 2003. – 346 с.
8. Li Zengxue, Yu Jifeng, Wang Mingzhen, Han Meilian and Lv Dawei. Coal accumulation zones and their contribution to the enrichment of multi-energy source deposits in the Ordos Basin// Energy Exploration & Exploitation Sage Publications, Ltd. – Vol. 24, No. 3 (2006) – pp. 171-179.
9. Авдохин, В. Обогащение углей. Том 1. Процессы и машины // М.: Горная книга, 2017. – 425 с.
10. Авдохин, В. Обогащение углей. Том 2. Технологии // М.: Горная книга, 2017. – 497 с.
11. Федотов К.В. Проектирование обогатительных фабрик // М.: Горная книга, 2017. – 531 с.
12. Брагина, В.И. Кристаллография, минералогия и обогащение полезных ископаемых. Учебное пособие. Гриф МО РФ // М.: ИНФРА-М, 2018. – 233 с.
13. Обезвоживание продуктов обогащения полезных ископаемых // Звягинцева Н.А. [и др.] // Донецк, ДОН-НТУ, 2019 г., -№11. - 183 стр. – С. 10-13.
14. Barnwal J.P., Durga D. Patil, T.C. Rao, Kawatra S.K. Enrichment of coal macerals using froth flotation // Minerals & metallurgical processing, feb. 2000 - No 1 – pp. 56 - 61
15. Лукина, К.И. Обогащение полезных ископаемых. Учебное пособие. Гриф МО РФ // М.: ИНФРА-М, 2020. – 224 с.

## REFERENCES

1. Gricko G.I. Ugol' v toplivno-energeticheskom balanse: proshloe, nastoyashchee, prognoz na budushchee // Coal, 2002. – №6. – S. 18-20.
2. Shlamy, ih ulavlivanie i obezvozhivanie // T.G. Fomenko [and others]; ed. E.A. Makrushina. - Moscow: Publishing house "Nedra", 1968. – 203 p.

3. Vnedrenie flokulyacionno-flotacionnogo sposoba obogashcheniya ugol'nyh shlamov // I.N. Nikitin [and others.] // Koks i himiya. – 1988. – No.11. – P. 10-13.
4. Flotacionnye mashiny / N.F. Meshcheryakov. - Moscow: Publishing house "Nedra", 1972. – 250 p.
5. Bulatovic Srdjan M. Chemistry, Theory and Practice 1st Edition // SBM Mineral Processing and Engineering Services LTD, Peterborough, Ontario, Canada – p. 458.
6. Elishevich A.T. Obogashchenie ugol'nyh shlamov metodom maslyanoj aglomeracii // AT. Elishevich, Yu.L. Papushin, V.S. Beletsky // Koks i himiya. – 1991. – №5. – P. 7-9.
7. Granulirovanie dispersnyh materialov v zhidkih sredah // O.K. Semakin [and others]; ed. S.A. Babenko. – Tomsk: Publishing house of Instituta optiki atmosfery SO RAN, 2003. – 346 p.
8. Li Zengxue, Yu Jifeng, Wang Mingzhen, Han Meilian and Lv Dawei. Coal ac-cumulation zones and their contribution to the enrichment of multi-energy source deposits in the Ordos Basin// Energy Exploration & Exploitation Sage Publications, Ltd. - Vol. 24, No. 3 (2006) – pp. 171-179.
9. Avdohin, V. Obogashchenie uglej. Tom 1. Processy i mashiny // Moscow : Gornaya kniga, 2017. – 425 p.
10. Avdohin, V. Obogashchenie uglej. Tom 2. Tekhnologii // Moscow: Gornaya kniga, 2017. – 497 p.
11. Fedotov K.V. Proektirovanie obogatitel'nyh fabrik // Moscow: Gornaya kniga, 2017. – 531 p.
12. Bragin, V.I. Kristallografiya, mineralogiya i obogashchenie poleznyh iskopaemyh. Uchebnoe posobie. Grif MO RF // Moscow: INFRA-M, 2018. – 233 p.
13. Obezvozhivanie produktov obogashcheniya poleznyh iskopaemyh // Zvyagintseva N.A. [and others] // Donetsk, DON-NTU, 2019, – №11. – 183 pp. – P. 10-13.
14. Barnwal J.P., Durga D. Patil, T.C. Rao, Kawatra S.K. Enrichment of coal macerals using froth flotation // Minerals & metallurgical processing, feb. 2000 – No 1. – pp. 56-61.
15. Lukina, K.I. Obogashchenie poleznyh iskopaemyh. Uchebnoe posobie. Grif MO RF // Moscow: INFRA-M, 2020. – 224 p.

Поступило в редакцию 03.08.2020  
Received 03 August 2020