

УДК 622.813:622.76.1

**В.И. КРИВОЩЕКОВ**, канд. техн. наук  
(Украина, Днепропетровск, Государственное ВУЗ "Национальный горный университет")

## **НОВОЕ В ПЕРЕРАБОТКЕ БУРОУГОЛЬНЫХ ШЛАМОВ**

*Постановка проблемы и ее связь с научными и практическими задачами.* В последнее время проблема дефицита твердого топлива в Украине является доказанным фактом. Хотя добыча угля сократилась и соответственно уменьшилось его потребление, но это указанную проблему так и не разрешило. Обеспечение углеперерабатывающих предприятий сырьем стало проблематичным и дорогим. Вместе с тем в шламохранилищах накоплено большое количество угольных шламов (ежегодное поступление составляет до 4 млн т по твердому [1]), но лишь малая их доля утилизируется как топливо в виде брикетов или подвергается обогащению с последующей утилизацией.

Общеизвестно, что шламонакопители – это объекты повышенной экологической опасности и требуют значительных финансовых средств на соблюдение требований экологической безопасности. Как техногенные месторождения, они определяют актуальность исследований процессов переработки и утилизации шламов. Поэтому задача целесообразности удаления угольных шламов из шламонакопителей с последующей их переработкой и утилизацией является одной из актуальных. При этом многие элементы технологии переработки угольных шламов известны в мировой практике углеобогащения и в Украине, которые реализуются посредством использования стандартного оборудования.

Трудность переработки буроугольных шламов и брикетной крошки для утилизации состоит в том, что они имеют в своем составе частицы угля с гидрофобной поверхностью, которые не оседают в пульпе даже под действием коагулянта, что исключает возможность их сгущения, необходимого для утилизации без предварительного разделения.

Авторами статьи Кривощекова В.И и Мацюк И.Н. "Переробка та утилізація буровугільних шламів", зареєстрованої 26.03.2015 г. в редакції журналу "Науковий вісник НГУ", пропонується рішення наукової задачі, яке заключається в визначенні закономірностей процесу безреагентної флотосепарації буроугольного шламу, кінетики процесу його осадження і кондиціонування пульпи, що є основою технології окремої переробки відходів брикетування, складуваних в шламонакопителях.

Результати НІР, приведені в цій статті, мають наукову новизну і практичну значимість, оскільки на їх основі була успішно захищена кандидатська дисертація Мацюк І.Н. [2] (науковий керівник Кривощеків В.І.). Всі відгуки на дисертаційну роботу були позитивними. **Текст цитованої статті і автореферата дисертації ідентичні.**

Ідея НІР (по матеріалам цитованої статті або роботи [2]) складається в роз-

## **Загальні питання технологій збагачення**

дельной переработке легкой (всплывшей) и тяжелой (потонувшей) фракций буроугольного шлама на основе использования гидрофобности поверхности частиц первой и сгущения второй с последующим их перемешиванием с дробленой до 3 мм крошкой брикетов для получения транспортабельного готового продукта.

Научные положения и новизна полученных результатов (по материалам указанной статьи или работы [2]) заключается в следующем:

- обнаружено явление гидрофобности поверхности минеральных частиц (для всплывшей и потонувшей фракций буроугольного шлама краевой угол смачивания изменяется соответственно в пределах от 122 до 136° и от 85 до 90°) после термообработки и прессования бурового угля, которое принято за раздельный признак, позволяющий осуществить безотходную технологию переработки буроугольных шламов с применением безреагентной фотосепарации;
- установлены кинетические закономерности осаждения термообработанных буроугольных шламов, определен рациональный режим, обеспечивающий эффективное осаждение частиц потонувшей фракции при минимальном расходе флокулянта.

Практическое значение результатов НИР (по материалам указанной статьи или работы [2]) заключается в разработке технологии переработки отходов (шлама и крошки) брикетных фабрик (шламонакопителей), что позволяет получить транспортабельный готовый продукт и исключить загрязнение окружающей среды.

Однако получено решение рецензента "відхилити" опубликование указанной статьи в журнале "Науковий вісник НГУ", поскольку, по его мнению, "результати досліджень не мають наукову новизну та практичну значимість. Висновки аргументовані погано". При этом "коментарі" рецензента сформулированы так:

"1. Стаття не актуальна, оскільки в Україні не залишилося жодної працюючої брикетної фабрики.

2. Якщо матеріал статті автор рекомендує для використання на підприємствах Чехії і Німеччини, лігніт яких відрізняється від українського, то статтю треба писати англійською мовою.

3. Не зрозуміло, чому у технологічній схемі (рис. 3) матеріал розділяється у гідроциклоні з тим, щоб його об'єднати одразу за ним? Взагалі, схема потребує дуже великого уточнення.

4. Наведені в роботі залежності дуже віддалено стосуються вибору параметрів обладнання запропонованої технологічної схеми.

5. Після зневоднення на віброситі буре вугілля має дуже високу вологість (50% і більш). Для зменшення вологості використовується домішка подрібненого брикету, але в роботі не визначена вологість продукту, що переробляється, і не вказана пропорція домішок (основний результат роботи). Отриманий продукт не може бути безпосередньо використаний."

*Цель данной работы – обоснование и разработка безотходной технологии*

переработки буроугольных шламов.

*Изложение материала и результаты исследований.* Выбор и реализация технологии переработки минерального сырья определяются необходимой сырьевой базой, техническим уровнем развития страны и коррупцией в ней. В Украине ситуация в топливно-энергетической сфере доведена до абсурда, обсуждается в СМИ и автором не комментируется, почему "в Україні не залишилося жодної працюючої брикетної фабрики" и других предприятий угольной отрасли промышленности. Однако эта ситуация не является основанием для отказа от выполнения НИР по переработке техногенных месторождений (шламо-накопителей) и публикаций результатов исследований таких, как в указанной статье.

"Наведені в роботі залежності стосуються" закономірностей кинетики осаждения твердой фазы буроугольной пульпы и кинетики процесса безреагентной флотосепарации, но никак не "вибору параметрів обладнання запропонованої технології", поскольку конкретная схема цепи аппаратов (рис. 3 в указанной статье или рис. 12 в работе [2]) реализуется посредством стандартного оборудования с известными техническими характеристиками.

Показано, что для буроугольной пульпы коэффициенты  $k$  и  $n$  определяют характерную зависимость кинетики осаждения твердой фазы пульпы. При изменении (управлении) параметров процесса осаждения, например, масштабных и технологических, величины этих коэффициентов также изменяются. Из кинетических закономерностей показатели флотосепарации буроугольного шлама определяются соответствующими технологическими коэффициентами. При этом коэффициент скорости флотосепарации  $K_f$  в общем случае зависит от гидроаэродинамических параметров флотосепаратора и физических свойств буроугольного шлама. Установлено, что условия флотосепарации в интервале времени от  $t_1$  до  $t_2$  можно принять постоянными (рис. 5 в указанной статье или рис. 11 в работе [2]).

Материал указанной статьи или работы [2] актуален, рекомендуется специалистам Германии, Чехии, Польши, Австрии, Турции, России. С этой целью он подготовлен на английском языке (на украинском – для редакции журнала). В этих странах иное, чем в Украине отношение к топливно-энергетическому сырью, проблема обеспечения топливом там пытаются решать комплексно и поэтому использование предложенной технологии переработки буроугольных шламов вполне реально, что и позволит решить эту проблему.

Так, в Германии (последняя информация: телеканал "Discovery", 27.04.2015 г., 18:00) бурые угли относят к категории труднообогатимых. Образующийся при переработке углей шлам крупностью менее 2 мм сгущают с применением ПАА и последующим обезвоживанием в центрифуге. В результате получают 73% концентрата зольностью 29,6% (на сухую массу) с теплотой сгорания 7,75 МДж/кг (влажность 49%) при извлечении 71%. Предложенная авторами статьи технология переработки буроугольных шламов вполне приемлема для ее реализации без процесса обезвоживания в центрифуге.

## **Загальні питання технологій збагачення**

В Чехии (Северо-Чешский бурогольный бассейн) из-за нехватки сортового угля (сырья для газификации в генераторах низкого давления) используют бурогольные брикеты. Однако при их загрузке выделяется большое количество пыли крупностью менее 1 мм, т.е. шлама. Он в малом количестве используется в топливных смесях, предназначенных для тепло- и электростанций, из-за присутствия в нем глины, мелкой вкрапленностью пустой породы. Это ограничение может быть устранено при реализации технологии переработки бурогольного шлама, предложенной в указанной статье и работах [2, 3]. Технология обеспечивает комплексное использование сырья. Свежая (чистая) вода не требуется, так как реализуется замкнутый цикл водоснабжения.

На обогатительной фабрике Триммелькаме (Австрия) бурый уголь обогащают в тяжелосредних сепараторах (класс 35-120 мм) и гидроциклонах (класс -35 мм). Высокое содержание глинистых частиц в угле (каолина, монтмориллонита и мусковита) загрязняет магнетитовую суспензию и усложняет ее регенерацию. Предложенная авторами статьи и работ [2, 3] технология переработки бурогольного шлама проста, так как при ее реализации нет необходимости в магнетитовой суспензии.

В Турции (месторождения Эрзурум-Ашкале и Чаннакале-Чан) при общих запасах  $8,1 \cdot 10^9$  т лишь 35,9% углей содержат менее 2% серы, а 54,5% от 2 до 3%, остальные – свыше 3%. Удаляют зерна пирита с применением концентрационного стола, спирального классификатора, флотомашин и высокоградентного сепаратора. Установлено, что такая комбинированная технология позволяет удалить из класса – 3 мм до 78 % серы и 65 % золы. Сравнительный анализ показал, что данная технология может быть успешно заменена предложенной авторами статьи и работ [2, 3] упрощенной технологией переработки бурогольного шлама (класс 0-3 мм).

Исследованиями Московского горного института и Института обогащения твердого топлива доказана экономическая целесообразность комплексного использования бурых углей Подмосковного и Канско-Ачинского месторождений. Бурые угли рассматриваются не только как энергетическое топливо, но и как серосодержащее сырье. При этом существует проблема безотходной технологии, которая может быть решена посредством реализации технологии переработки бурогольного шлама, предложенной авторами статьи и работ [2, 3], поскольку поточная линия для переработки отходов бурогольных брикетных фабрик [4] имеет ряд недостатков.

В углеподготовительном цехе электростанции, работающей на местных бурых углях, в Мае-Мон (Тайланд) также может быть применена безотходная технология переработки бурогольного шлама, изложенная в статье и работах [2, 3].

Таким образом, согласно зарубежным технологиям работы, связанные с добычей, переработкой и использованием бурогольного сырья, сопровождается с неизбежным образованием шламов. Поэтому предложенная авторами указанной статьи и работ [2, 3] технология переработки бурогольного шлама мо-

жет вызвать профессиональный интерес и быть востребованной.

С мнением рецензента статьи, что "взагалі, схема потребує дуже великого уточнення" согласиться нельзя, так как для технолога-обогапителя она проста и понятна взаимосвязь ее технологических операций (рис. 3 в указанной статье или в работах [2, 3]). После термической обработки и прессования у бурого угля появляется свойство гидрофобности поверхности его мелкозернистой, в результате боя брикетов, шламовой фракции. Так, для всплывшей фракции (до 47%) шлама величина краевого угла смачивания составила 122...136°, а потонувшей (53%) – до 90°, что позволяет его принять как разделительный признак. В качестве критерия оценки разделительной способности безреагентной флотосепарации буроугольного шлама принят комплексный показатель, учитывающий влияние на этот процесс гидрофобности поверхности зерен, фракционного и гранулометрического составов всплывшей и потонувшей фракций. Процесс протекает в безреагентном флотосепараторе с эффективностью разделения до 65% и максимальной крупностью всплывавшей фракции 2,25 мм. Таким образом, раздельная переработка всплывшей и потонувшей фракции буроугольного шлама с последующим их перемешиванием с дробленным до 3 мм боем брикетов (крошкой) обусловлена поверхностными свойствами шлама [2] и способствует снижению влаги зернистой смеси (шихты). Безреагентный флотосепаратор состоит из стандартных комплектующих флотационной камеры, аэротора-эжектора и насадок к нему.

Раздельное кондиционирование потонувшей фракции флотосепарации путем гидроциклонирования и обработки реагентами песков гидроциклона с последующим их смешиванием со сливом позволяет значительно сократить расход флокулянтов. Поэтому техническая компоновка раздельного кондиционирования и безреагентной флотосепарации – это перспективное направление развития технологии переработки угольных шламов и других зернистых материалов. На схеме цепи аппаратов (рис. 3 в указанной статье или рис. 12 в работе [2]) поз. 5 – устройство для раздельного кондиционирования выполнено в виде стандартного гидроциклона, снабженного регулятором плотности пульпы крупнозернистой фракции и приспособлением для подачи реагента в зону песковой фракции [5, 6].

Рецензенту статьи "не зрозуміло, чому у технологічній схемі (рис. 3 в указанной статье или рис. 12 в работе [2]) матеріал розділяється у гідроциклоні з тим, щоб його об'єднати з ним?". Для технолога-обогапителя это не вопрос. Частицы имеют сложную форму и реагент не распределяется равномерно по их поверхности и, более того, не всегда покрывает частицу полностью. Кроме того, необходимая плотность покрытия реагентом мелких и крупных частиц для их флокуляции различна. Поэтому сгущенный (крупнозернистый) продукт, обработанный флокулянтом, и слив устройства раздельного кондиционирования объединяют в смесителе (на рис. 3 не показан, отмечена лишь точка смешения), где при перемешивании с поверхности крупных частиц часть флокулянта переходит на поверхность мелких частиц слива, что обеспечивает необходимую и

## **Загальні питання технологій збагачення**

достаточную обработку флокулянтom всех частиц и способствует снижению его расхода на процесс сгущения буроугольного шлама.

Для сгущения продуктов отдельного кондиционирования принят стандартный полочный сгуститель с наклонными пластинами, обеспечивающий относительно высокую производительность при небольшой занимаемой площади и малых эксплуатационных расходах.

Обезвоживание буроугольного шлама на стандартном вибросите (рис. 3 в указанной статье или рис. 12 в работе [2]) реализовано при амплитуде 1,5-2,0 мм и частоте колебаний сита 1500-2000 мин<sup>-1</sup> в зависимости от толщины слоя материала и времени его уплотнения 35-40 с. При этом влага обезвоженного продукта составила 36-42%. Этот продукт поступает в сдвоенный бункер (в секций 12), в который (секций 11) также подают дробленый до 3 мм бой брикетов (крошку). Затем крошку и обезвоженный шлам соответственно из секции 11 и 12 дозируют в герметичный шнек 15, а из него в смеситель 16. При долевом участии 35-40% (см. таблицу) дробленой крошки в шихте влажность транспортабельного готового продукта для сжигания или брикетирования составляет 26-28% [3, рис. 4.6], что является НОУ-ХАУ, как и другие параметры технологии, приведенные в работах [2, 3]

Долевое участие крошки в шихте, %	10	20	30	40
Влажность продукта, %	36-43	29-34	21-29	25-28

В результате промышленных испытаний (соответствующий акт утвержден генеральным директором ЗАТ "Енерговугілля") безотходной технологии переработки буроугольного шлама и крошки с замкнутым циклом водоснабжения (концентрация твердой фазы в осветленной воде не превышает 0,11 кг/м<sup>3</sup>) получен транспортабельный готовый продукт для сжигания или брикетирования с содержанием влаги 26-28% [2, 3]. Выбор оборудования для реализации предложенной технологии зависит от количества перерабатываемого шлама, а поскольку оно стандартное с известными для конкретного типоразмера техническими характеристиками, то последние в указанной статье не приводятся.

Таким образом, "коментарі" и решение рецензента статьи "Переробка та утилізація буровугільних шламів" ошибочны, несостоятельны и не соответствуют общепринятым представлениям в области обогащения полезных ископаемых.

На основании вышеизложенного, идентичности текстов указанной статьи и автореферата диссертации [2], положительных отзывов на диссертационную работу и успешную защиту, а также учитывая актуальность проблемы реализации в кратчайшие сроки конкурентоспособных, разработанных в ГВУЗ "НГУ" технологий, целесообразно повторное рецензирование статьи с целью ее публикации в журнале "Науковий вісник НГУ", поскольку она может заинтересовать зарубежных специалистов.

### **Список літератури**

1. Національна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Україні у 2011 році [Текст]. – К.: Міністерство екології та природних ресурсів України, LAT & K., 2012. – 258 с.
2. Мацюк І.Н. Обґрунтування безвідходної технології переробки буровугільних шламів брикетних фабрик: Автореф. дис ... канд. техн. наук [Текст] / І.Н. Мацюк. – Д.: Національний гірничий університет, 2006. – 17 с.
3. Кривошеков В.И. Технология переработки буроугольных шламов: монография [Текст] / В.И. Кривошеков, И.Н. Мацюк. – Д.: Национальный горный университет, 2010. – 140 с.
4. А.с. 590011 СССР, МКИ В03 В 9/06, С 02 С 5/06. Поточная линия для переработки отходов буроугольных брикетных фабрик / Ф.Е. Выскребенцов, М.М. Дергачев, Ю.З. Шпекторов. – 1978, Бюл. № 21. Оpubл. 15.10.1978.
5. А.с. 935133 СССР, МКИ В03 D 1/14, С 02 С 5/06. Устройство для подготовки пульпы к процессу флотации / В.И. Кривошеков, Я.С. Гольдберг, Л.М. Зинич. – 1982, Бюл. № 22. Оpubл. 23.10.1982.
6. Пат № 40854 України, МПК В03 D 1/14. Пристрій для підготовки пульпи до флотації / В.І. Кривошеков, І.М. Мацюк, І.В. Іменохоев; заявник і патентовласник Національний гірничий університет. – 2005, Бюл. № 2. Оpubл. 15.02.2005.

© Кривошеков В.И., 2016

*Надійшла до редколегії 08.02.2016 р.  
Рекомендована до публікації д.т.н. О.Д. Полуляхом*