

УДК 622.7

**С.Л. БУКИН**, канд. техн. наук,

**Р.А. ШОЛДА, А.С. БУКИНА,**

(Україна, Донецьк, Государственное ВУЗ "Донецкий национальный технический университет"),

**Ю.В. КАСТОРНЫЙ, Д.Ю. КАСТОРНЫЙ**

(Україна, Свердловск, ЧП "Снабтехмонтаж")

## **ПЕРСПЕКТИВНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПОДГОТОВКИ ВУТ ИЗ УГОЛЬНЫХ ШЛАМОВ ИЛОНАКОПИТЕЛЕЙ ОБОГАТИТЕЛЬНЫХ ФАБРИК**

*Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.* Несмотря на значительный прогресс в области разработки технологий использования альтернативных источников энергии (солнечная энергия, энергия ветра, морских приливов и пр.), на ближайшие десятилетия основным энергетическим ресурсом остается уголь. Новый вид жидкого топлива на его основе – водоугольное топливо (ВУТ) уже сейчас в ряде стран мира успешно конкурирует с дорогостоящими природными энергоносителями (природным газом, нефтепродуктами), а также электрической энергией.

Особенно перспективно применение ВУТ для котельных и миниТЭЦ, обслуживающих небольшие территориальные комплексы: поселки и хутора, теплицы и овощехранилища, мини обогатительные фабрики и карьеры, заводы по переработке твердых бытовых отходов и многие другие негазифицированные объекты. В Донбассе предельно актуальны вопросы энергообеспечения удаленных поселков. ВУТ позволяет снизить автономность каждого дома и перенести ее на уровень поселка. Кроме того, промышленность многих стран выпускает разнообразные малые когенерационные установки, вырабатывающие тепло и электричество, которые могут быть эффективно применены для задач энергообеспечения.

Современные требования к качеству ВУТ определяют достаточно высокие требования к исходному сырью – должны применяться только высококачественные энергетические угли с низким содержанием серы и золы.

Типовая схема подготовки ВУТ предусматривает обязательные операции дробления, измельчения и гомогенизации, фронт которых зависит, прежде всего, от используемого сырья: угольный концентрат крупных и мелких классов, флотоконцентрат или углесодержащий продукт илонакопителей.

В Донбассе наблюдаются благоприятные условия широкого применения ВУТ, так как в качестве источника топливной составляющей могут выступать многочисленные отстойники и илонакопители углеобогатительных фабрик с достаточно высоким содержанием органической массы. По разным данным в прудах-илонакопителях Донбасса находится свыше 120 млн тонн флотационных отходов [1], причем на Донецкую область приходится более 170 тыс. тонн балансовых шламов с зольностью не более 45%, забалансовых первой категории – более 13,5 млн тонн с зольностью менее 60% и забалансовых второй ка-

тегории – более 14,5 млн тонн с зольностью 70-75% [3]. Илонакопители занимают большие площади земель (свыше 1500 га), их эксплуатация требует значительных расходов, а сами они представляют большую экологическую проблему [1-4]. Из шламов, находящихся в илонакопителях, целесообразно выделять продукты, прежде всего для энергетики. Материал в илонакопителях обычно имеет максимальную крупность до 5 мм и среднюю – 0,2-0,3 мм. Используя это сырьё для получения ВУТ необходимо произвести его обогащение, доизмельчение до 100 мкм и гомогенизацию. Акцентируем внимание на то, что операция измельчения является одной из наиболее энергозатратных операций в технологической схеме подготовки ВУТ, во многом определяющая стоимость готовой продукции.

Таким образом, разработка энергосберегающей технологии получения ВУТ из илонакопителей обогатительных фабрик с высокими технико-экономическими показателями, является важной научно-технической задачей.

*Анализ исследований и публикаций.* Анализ существующих методов обогащения угольных шламов приведены в многочисленных работах, например [3, 5-14]. В итоге в конце прошлого века сформулированы основные принципы обогащения угольных шламов [1], которые используются и в наши дни:

- разделение по граничной крупности 0,1...0,2 мм исходных шламов на илистую и зернистую фракцию с использованием грохотов тонкого грохочения, гидроциклонов малого диаметра, гидравлических классификаторов;
- дополнительное извлечение горючей массы из илистой фракции, возможное только флотационными методами;
- обогащение зернистой части гравитационными методами: тяжело-средними гидроциклонами; винтовыми сепараторами, винтовыми шлюзами, конусными сепараторами, концентрационными столами и другими устройствами.

Для большинства илонакопителей Донбасса характерно высокое содержание высокозольных тонких классов, извлечение из которых углесодержащей фракции просто экономически нецелесообразно. Поэтому для этих условий целесообразно выделение класса более 0,2 мм с обогащением его эффективными и экономичными гравитационными методами.

Анализ конструкций и опыта работы машин для обогащения угольных шламов позволяет утверждать, что в настоящее время наиболее эффективным техническим средством для материалов крупностью выше 0,15 мм является концентрационный стол [14-16]. Максимально высокая технологическая эффективность разделения сырья достигается благодаря уникальной возможности управления многочисленными факторами, причем такой совокупности управляющих факторов не имеет ни одна из обогатительных машин.

*Цель работы.* Разработка технологической схемы комплекса подготовки ВУТ обогащения углесодержащих шламов илонакопителей с применением современного высокоэффективного оборудования.

*Изложение материала и результаты.* Предлагаемая технологическая схема подготовки ВУТ приведена на рис. 1.

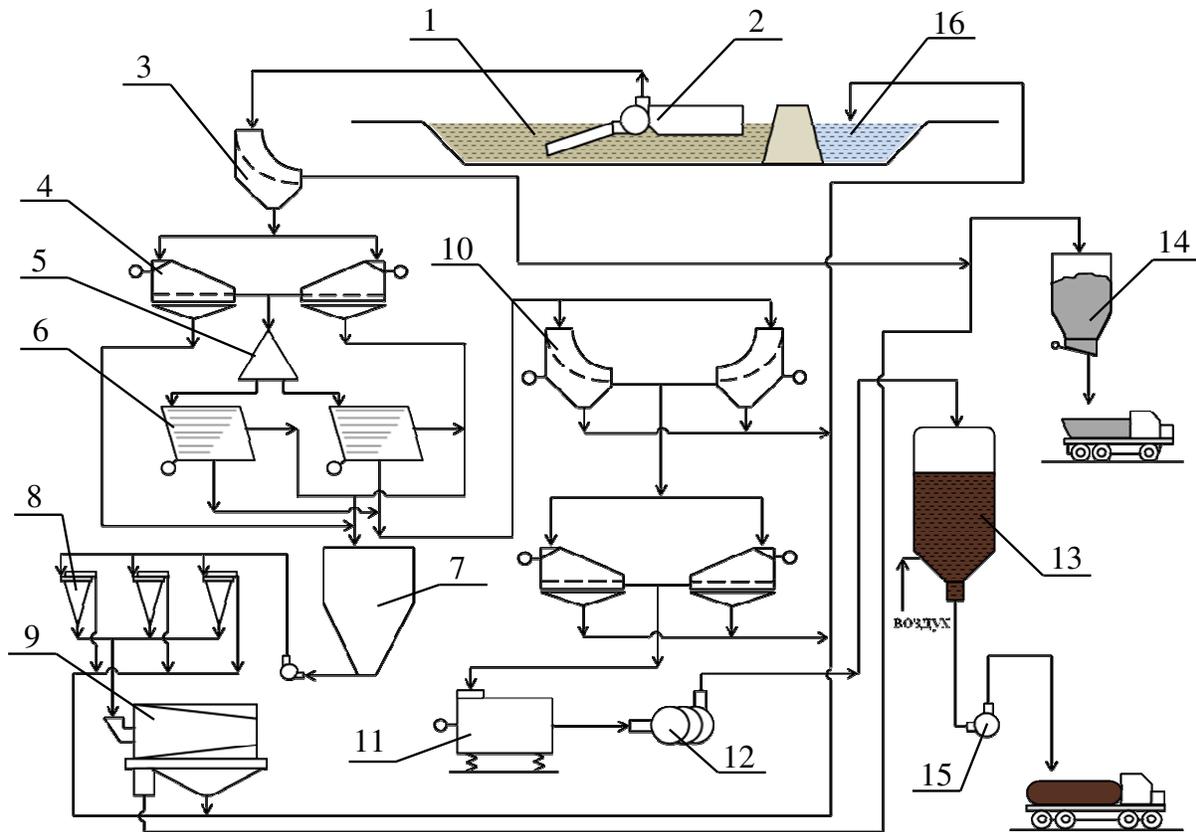


Рис. 1. Технологическая схема подготовки ВУТ:

- 1 – илонакопитель; 2 – земснаряд; 3 – дуговое сито; 4 – виброгрохот;  
 5 – делитель пульпы; 6 – концентрационный стол; 7 – зумпф; 8 – гидроциклон;  
 9 – осадительная центрифуга; 10 – вибрационное дуговое сито;  
 11 – вибромельница; 12 – гомогенизатор; 13 – ёмкость с ВУТ;  
 14 – бункер отходов с питателем; 15 – насос; 16 – секция илонакопителя

Комплекс переработки шлама и подготовки ВУТ предусматривает:

- гидродобычу шлама в илонакопителе;
- классификацию шлама на дуговых ситах по граничной крупности 3 мм;
- классификацию шлама на бигармонических виброгрохотах по крупности 0,2 мм;
- сгущение класса 0-0,2 мм (высокозолевые илы) в гидроциклонах;
- обезвоживание класса 0-0,2 мм в фильтрующей центрифуге;
- обогащение класса 0,2-3 мм на концентрационных столах;
- сгущение концентрата 0,2-3 мм в гидроциклонах;
- обезвоживание угольного концентрата на вибрационных грохотах;
- измельчение концентрата в вибрационной мельнице;
- гомогенизацию измельчённого продукта;
- сгущение и обезвоживание отходов концентрации на столах совместно с классом 0-0,2 мм.

Углеродсодержащий продукт, находящийся в илонакопителе, добывается зем-

## **Загальні питання технологій збагачення**

снарядом и транспортируется по трубам на участок обогащения. Пройдя, в случае необходимости, операцию отделения случайной крупной фракции (камыш, водоросли, куски крупной породы и пр.) на дуговом грохоте, шлам крупностью – 3 мм поступает в коллектор и распределяется по вибрационным грохотам для классификации по граничной крупности 0,2 мм. Класс 0-0,2 мм (высокозолевые илы) поступает в зумпф, затем подвергается сгущению в батарее гидроциклонов и обезвоживанию в осадительной центрифуге. Обезвоженные илы могут быть использованы в качестве сырья для производства стройматериалов (кирпича, пенобетона) или складироваться в балки, складки местности и др. Класс 0,2-3 мм направляется в делитель, а затем на деки концентрационных столов с выделением концентрата и отходов. Отходы самотеком поступают в бак илов, куда также поступает класс 0-0,2 мм. Из бака этот продукт насосом перекачивается на сгущение в батарее гидроциклонов, после чего обезвоживается в осадительной центрифуге. Концентрат самотеком направляется на операцию обезвоживания (I-я стадия на вибрационных дуговых ситах, II-я стадия на бигармонических виброгрохотах), затем поступает на операцию вибрационного измельчения.

Предлагаемая технология не предусматривают обезвоживание илистой фракции – этот продукт направляется в отдельную подготовленную секцию илонакопителя. Однако может применяться типовая замкнутая схема с глубоким обезвоживанием илов с применением камерных или ленточных фильтр-прессов. Естественно в этом случае себестоимость переработки шламов существенно возрастает.

Кроме концентрата в вибрационную мельницу дозировано подаются необходимые реагенты и присадки. Для обеспечения требуемого гранулометрического состава ВУТ измельченный продукт вибромельницы проходит контрольное измельчение и гомогенизацию, затем подается в емкость хранения ВУТ. Подача водоугольного топлива в автоцистерны осуществляется винтовым насосом.

ВУТ, приготовленное в соответствии с корректно составленным регламентом, хранится не менее 30 суток [17, 18]. Использование дополнительных процедур может практически неограниченно увеличить срок хранения ВУТ. Для хранения ВУТ возможно использование существующих мазутных ёмкостей. ВУТ. Приготовленное топливо с соблюдением гранулометрического состава, массовой доли угля и чётко подобранным реагентом пластификатором, не расслаивается в течение длительного времени. Но и без применения пластификаторов в стандартных емкостях хранение может успешно осуществляться не менее 4 мес. В этом случае для поддержания стабильности раз в неделю осуществляется перемешивание ВУТ его циркуляционной прокачкой насосом для подачи ВУТ в автоцистерны. Необходимо отметить, что в зимнее время ВУТ требуется хранить при положительной температуре, что вызывает потребность в обогреве ёмкостей.

Целесообразно поставлять ВУТ на миниТЭЦ или отопительные коммунальные котельные полуприцепами-цистернами ёмкостью до 30 м<sup>3</sup> которые

предназначены для транспортирования и кратковременного хранения нефти. При разнице температуры перевозимого продукта в 20 °С (продукт +10 °С, воздух -10 °С), падение температуры происходит за 10 ч на 4-5 °С [19]. Экономически оправдано перевозить топливо автотранспортом на расстояние до 100 километров [20].

Технико-экономические показатели работы установки по подготовки ВУТ во многом определяются эффективностью используемого оборудования.

В настоящее время для обработки различных материалов используются вибрационные машины с вибровоздействием гармонического характера. В то же время, эффективность многих из них может быть существенно повышена без какой либо дорогостоящей и сложной перестройки технологии только за счет изменения конфигурации колебаний – преобразования их из гармонических в полигармонические асимметричные или специальные многокомпонентные [21].

Экспериментальными исследованиями установлено и промышленной практикой подтверждено, что полигармонический состав рабочего воздействия на обрабатываемый технологический продукт существенно более эффективен, чем простой гармонический. Чем богаче спектральный состав используемых вибрационных воздействий, тем выше достоверность формирования в структурах обрабатываемой среды высокоэффективных резонансных и близких к резонансным режимам перемещений и деформаций, и тем шире обхват активного объема [21]. Однако в результате сложности формирований поличастотных режимов колебаний на данном этапе развития вибрационной техники в качестве достаточно простого, но эффективного решения могут быть успешно использованы бигармонические режимы работы.

Кафедра "Обогащение полезных ископаемых" Донецкого национального технического университета совместно с предприятиями МКП "Экипаж", ООО НПК "Укрвибромаш" и рядом других в течение длительного периода принимает активное участие в разработке и исследовании перспективных машин вибрационного типа с использованием полигармонических режимов колебаний рабочих органов [22, 23].

Для целей тонкой классификации углесодержащего шлама и обезвоживания продуктов обогащения в технологии подготовки ВУТ предполагается применять высокоэффективные виброгрохоты типа ГВВБ [24, 25].

Вибрационный грохот типа ГВВБ предназначен для мокрого тонкого грохочения. Благодаря двум вибровозбудителям с направленными возбуждающими силами разной частоты реализовано возбуждение колебаний короба с закрепленными на нём ситами по бигармоническому закону. В рабочем режиме колебания короба грохота осуществляются по сложным траекториям, занимая определенную площадь в виде параллелограмма. Такой режим работы бигармонических грохотов по сравнению с традиционным моногармоническим существенно повышает показатели качества процессов разделения по крупности и обезвоживания. Кроме того, опять же сравнивая бигармонический грохот с мо-

ногармоническим, следует отметить увеличение факторов, влияющих на результаты технологического процесса. Так, наиболее реально воздействовать на эффективность грохочения моногармонического грохота можно практически единственным регулируемым динамическим параметром – амплитудой колебаний (изменение частоты колебаний требует дополнительных затрат на установку вариатора, частотного преобразователя и пр.). Грохот ГВВБ позволяет достаточно оперативно регулировать амплитуды колебаний по двум гармоникам и угол между векторами возбуждающих сил каждой гармоник.

В целях снижения конгломератов в надрешетном продукте конструкция грохота оснащена устройствами динамической и статической гидропромывки. В зависимости от содержания легкоразмокаемой породы предусмотрено регулирование давления промывочной воды.

Экспериментальный образец виброгрохота типа ГВВБ прошел комплексные промышленные испытания в производственных условиях [25]. Получены высокие технологические показатели, причем при тех же показателях качества разделения грохот с бигармоническим режимом работы имеет производительность 1,5 раза больше, чем грохот с гармоническими колебаниями короба, установленный в параллельной цепи.

Стол концентрационный бигармонический типа СКОБ или СКОПБ предназначен для гравитационного обогащения в тонком слое воды, текущей по наклонной плоскости [14]. Применяется для обогащения углей, руд чёрных, цветных и драгоценных металлов с высокой эффективностью разделения зерен крупностью от 0,1 до 13 мм. Концентрационный стол является и эффективным аппаратом для десульфурации углей – в 2...3 раза снижается содержание пиритной серы в угольном концентрате.

Основными параметрами, влияющими на процесс разделения материала, являются производительность концентрационного стола, длина хода и число ходов деки, углы их поперечного и продольного наклона, количество смывной воды, система нарифлений.

Конструкция концентрационного стола СКОБ (СКОПБ) обеспечивает следующие основные достоинства:

- возможность оперативного управления технологическими результатами процесса разделения, позволяющая достичь максимального качества при высокой производительности;
- низкие уровни энергопотребления и излучаемого шума;
- удобство регулирования основных параметров: амплитуд и частот колебаний бигармонического режима, поперечного и продольного углов наклона деки, расхода и распределения по длине деки смывной воды.

Для повышения удельной производительности переработки угольных шламов в модернизированном концентрационном столе предусмотрена подача дополнительной воды в межрифельное пространство и оптимизирован профиль рифлей.

В настоящее время около 20 концентрационных столов типа СКОБ рабо-

тають в технологічних цепях фабрик, перерабатывающих шламы коксующихся и энергетических марок углей и антрацитов с высокими технологическими показателями [15, 16].

В технологической схеме подготовки ВУТ операция сверхтонкого измельчения занимает важное место. Анализ исследований по тонкому измельчению позволяет сделать вывод, что наиболее эффективным средством для получения продукта с гранулометрическим составом менее 50 мкм при исходном питании крупностью 2...10 мм и относительно небольшой производительности (до 10 т/ч) является вибрационная мельница [26]. По основным технико-экономическим показателям: требуемой номинальной мощности электродвигателя, производительности, крупности исходного и готового материала, – вибрационная мельница уступает только планетарной мельнице. Однако вибрационная мельница превосходит планетарную по таким показателям, как простота конструкции, долговечность, удобство в эксплуатации и настройке оборудования, хорошая ремонтпригодность.

Как и вибрационные грохоты инерционного типа наибольшее распространение для сверхтонкого измельчения получили инерционные горизонтальные вибромельницы с гармоническими однородными колебаниями по траекториям, близким к окружности или эллипсу. Основное достоинство вибрационного измельчения – участие всех дробящихся тел непосредственно в процессе измельчения. Однако их круговая циркуляция, возникающая за счет круговой (или близкой к круговой) траектории движения корпуса, не создает достаточно интенсивного перемешивания дробящихся тел и материала. В конструкции принципиально новой вибромельницы с бигармоническим вибровозбудителем типа МИБГ в поперечном сечении рабочей камеры возбуждается неоднородное поле колебаний, которое способствует "турбулизации" движения материала и тел дробления, уменьшению объема малоподвижного ядра, что, в конечном счете, позволяет существенно снизить энергозатраты процесса измельчения [27, 28].

Одним из основных недостатков применения вибромельниц является неравномерный гранулометрический состав измельченного продукта. Понизить значимость этого недостатка позволяют двухстадиальные комбинированные схемы измельчения угля при подготовке ВУТ [29-34]: вибромельница и струйная либо кавитационная мельница, а также гидроударная установка типа дезинтегратор. Так, в работе [34] утверждается, что наиболее благоприятные условия для измельчения материала создаются при ведении процесса в 2 этапа. На первом этапе измельчение ведётся в вибрационной мельнице с диаметрами помольной камеры и шаров соответственно 300 и 30 мм, а на втором этапе – в струйной мельнице. Это позволяет отсечь зоны малоэффективной работы мельницы, существенно снизить время измельчения, а значит и энергопотребление процесса. В технологии, предложенной ИГТФ НАН Украины [33], операция измельчения представляет собой двухстадийный помол угольного концентрата, на первой стадии которого в вибромельнице осуществляется мокрое измельчение его крупностью 120...150 мкм, а на второй стадии в кавитационном диспер-

гаторе – доизмельчение "крупных" частиц до максимального размера менее 100 мкм. Кавитационная обработка способствует деструкции молекул угля, который распадается на отдельные органические составляющие с активной поверхностью частиц и большим количеством свободных органических радикалов частиц размером 5...10 микрон. В результате кавитационного воздействия вода также претерпевает изменения – в ней образуются атомарный водород, перекись водорода, вода в возбужденном состоянии и другие компоненты, химическая активность которых способствует образованию активной дисперсной среды, насыщенной компонентами ионного и катионного типа [32, 33]

В настоящее время разработка кавитационных диспергаторов осуществляется по ряду направлений. Одним из наиболее перспективных из которых являются диспергаторы центробежного типа, например кавитационный генератор-диспергатор МГКУ [35]. Однако для уверенного их применения в технологической схеме подготовки ВУТ требуются дополнительные исследования в лабораторных и промышленных условиях.

Двухстадийное измельчение может повысить удельную производительность на 17...20% при одновременном снижении удельного расхода электроэнергии на 10...15% [36].

Технологический расчет схемы подготовки ВУТ показал возможность получения угольного концентрата зольностью до 8% с выходом 20...25% из шламов илонакопителя зольностью 55...60%. Зольность отходов при этом составляет 70-73%.

Конструкции рассмотренных выше вибрационных машин с полигармоническим режимом работы, а также способы обогащения углесодержащих шламов не имеют аналогов в мире и защищены патентами на изобретения.

### **Список литературы**

1. Пивняк Г.Г. Вторичные ресурсы твердого топлива Украины / Г.Г. Пивняк, П.И. Пилов, А.С. Кирнарский, В.В. Кочетов // Збагачення корисних копалин: Наук.-техн. зб. – 1999. – Вип. 1(42). – С. 40-47.
2. Гарковенко Е.Е. Угольные илонакопители как дополнительный источник энергетического топлива / Е.Е. Гарковенко, Е.И. Назимко, Ю.Л. Папушин и др. // Энергосбережение. – 009. – №5. – С. 24-25.
3. Надутый В.П. Тонкое вибрационное грохочение при переработке угольных шламов / В.П. Надутый, А.Ф. Нагорский, А.И. Шевченко // Геотехническая механика // Межвед. сб. науч. тр. ИГТМ НАН Украины. – Днепропетровск, 2005. – Вып. № 58. – С. 176-181.
4. Бент О.И., Л.М. Мокрицкая, О.С. Шутова Состояние техногенной напряженности, пути ее регулирования и уменьшения в угледобывающих районах // Уголь Украины. – 1995. – № 10. – С. 37-39.
5. Папушин Ю.Л. Энергетическое использование техногенных угольных месторождений Донбасса / Ю.Л. Папушин, Е.С. Рябушенко // Сб. тез. докл. конф. молодых обогатителей Украины, – Донецк: ДонНТУ, 2005. – С. 4-5.
6. Белецкий В.С. Особенности переработки угольных шламов илонакопителей / В.С. Белецкий, Ю.А. Протасов // Маг. конф. "перспективы развития химической переработки горючих ископаемых (ХПГИ-2006). – СПб, 12-15 сентября 2006 г. – С. 210.
7. Гаркушин Ю.К. Сучасний стан та перспективи переробки вугільних шламів / Гаркушин

Ю.К., Сергеев П.В., Білецький В.С. // Збагачення корисних копалин: Наук.-техн. зб. – 2003 – Вип. 17(58). – С. 143-150.

8. Епихин В.Ю. Модульные установки для переработки породных отвалов и илонакопителей / Епихин В.Ю., Чумак В.Ф., Вертола Л.Т. // Збагачення корисних копалин: Наук.-техн. зб. – 2002. – Вип. 15(56). – С. 59-65.

9. Елишевич А.Т. Обогащение ультратонких углей / А.Т. Елишевич, Н.Д. Оглоблин, В.С. Белецкий, Ю.Л. Папушин. – Донецк: Донбасс, 1986. – 64 с.

10. Елишевич А.Т. Обогащение угольных шламов методом масляной агломерации / А.Т.Елишевич, Ю.Л.Папушин, В.С.Белецкий // Кокс и химия. – 1991. – № 5. – С. 7-12.

11. Новак В.И. Обзор современных способов обогащения угольных шламов / В.И. Новак, В.А. Козлов // ГИАБ, МГГУ, 2012. – № 6. – С. 32-33.

12. Белоусов В.А. Перспективные методы обогащения угольных шламов / В.А. Белоусов // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2014. – №4. – С. 15-17.

13. Сокур А.К. Обзор гравитационных технологий обогащения угольных шламов нефлотационной крупности / А.К. Сокур // Збагачення корисних копалин: Наук.-техн. зб. – 2012. – Вип. 51(92). – С.

14. Букин С.Л. Комплекс обогащения угольных шламов на основе концентрационного стола / С.Л. Букин, А.Н. Корчевский, Р.А. Шолда // Збагачення корисних копалин: Наук.-техн. зб. – 2010. – Вип. 43(84). – С. 54-61.

15. Назимко Е.И. Испытания концентрационного стола СКО-5Ч2 в полевых условиях / Е.И. Назимко, С.Л. Букин, А.Н. Корчевский и др. // Збагачення корисних копалин: Наук.-техн. зб. – 2010. – Вип. 40 (81). – С. 91-96.

16. Корчевский А.Н. Исследование работы концентрационного стола СКОБ-2,52 на техногенном сырье / А.Н. Корчевский, С.Л. Букин, Р.А. Шолда // Збагачення корисних копалин: Наук.-техн. зб. – 2012. – Вип. 51 (92). – С. 91-96.

17. Круть О.А. Водовугільне паливо: Монографія [Текст] / О.А. Круть // – Київ: Наукова думка, 2002. – 169 с.

18. Хранение. ВОДОУГОЛЬ. Материалы сайта Амальтеа [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://vodougol.ru/>

19. Продукция ОАО "Нефаз". Полуприцеп-цистерна типа 9693-02. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://kamaz.ru/upload/prc/9693-10-02.pdf>

20. Мошковская альтернатива. "Эксперт Сибирь" №1-3 (287). [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://m.expert.ru/siberia/2011/03/moshkovskaya-alternativa/>

21. Гончаревич И.Ф. О повышении производительности и рентабельности промышленных нанотехнологий. – М.: РИА. Секция "Горное дело". – 2010.

22. Букин С.Л. Интенсификация технологических процессов вибромашин путем реализации бигармонических режимов работы / С.Л. Букин, С.Г. Маслов, А.П. Лютый и др. // Збагачення корисних копалин: Наук.-техн. зб. – 2009. – Вип. 36 (77) – 37 (78). – С. 81-89.

23. Гарковенко Е.Е. Применение вибрационной техники с бигармоническим режимом колебаний при обогащении углей / Е.Е. Гарковенко, Е.И. Назимко, С.Л. Букин и др. // Уголь Украины. – 2011. – Май. – С. 41-44.

24. Букин С.Л. Разработка высокоэффективного виброгрохота с бигармоническим режимом работы для тонкой классификации угольных шламов / С.Л. Букин, А.Н. Корчевский, С.Г. Маслов. // Збагачення корисних копалин: Наук.-техн. зб. – 2010. – Вип. 41(82)-42(83). – С. 121-126.

25. Букин С.Л. Промышленные испытания многовибраторного инерционного виброгрохота сверхтонкого грохочения / С.Л. Букин, С.Г. Маслов // Вісті Донецького гірничого інституту. – 2014. – № 1(34). – С. 138-146.

26. Vibrating mills for brown coal // Colliery Guard. – 1980. – 228, №1. – P. 32.

27. Букин С.Л. Нова конструкція бігармонійного вібротлима для тонкого подрібнення різноманітних матеріалів / С.Л. Букин, А.С. Букина // Збагачення корисних копалин: Наук.-техн. зб. – 2012. – Вип. 50(91). – С. 60-65.

## **Загальні питання технологій збагачення**

---

28. Букин С.Л. Сравнение результатов процесса измельчения в вибрационной мельнице с гармоническим и бигармоническим режимами работы / С.Л. Букин, П.В. Сергеев, А.С. Букина // Качество минерального сырья: сб. науч. тр. – Кривой Рог, 2014. – С. 149-159.

29. Морозов А.Г. Гидроударные технологии для получения водоугольного топлива / А.Г. Морозов, Н.В. Коренюгина // Новости теплоснабжения. – 2010. – №7. – С. 18-21.

30. Морозов А.Г. Кавитационные технологии для приготовления жидкого угля [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://liquidcoal.ru/> 2008/06/16/28.

31. Травников Ю. Кавитационная технология приготовления водоугольного топлива / Ю. Травников, Е. Карпов // Газета "Энергетика и промышленность России" / № 03 (119) февраль 2009 года [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://eprussia.ru/epr/119/9212.htm/>

32. Овчинников Ю.В. Физические процессы и механохимические эффекты в дезинтеграторах и кавитаторах при производстве ИКЖТ / Ю.В. Овчинников, С.В. Луценко, Е.А. Евтушенко // Изд. Новосибирского ГТУ. "Энергосистемы, электростанции и их агрегаты": Сб. научных трудов. – Новосибирск, 2005. – Вып. 9. – С. 310.

33. Халатов А.А. Получение водоугольного топлива на основе кавитационно-вихревой технологии / А.А. Халатов, О.Е. Хлебников, О.В. Шихабудинова // Сб. тез. докл. межд. науч.-практ. конф.: Энергоэффективность, 19-21 октября 2010 г. – Киев, 2010. – С. 113-115.

34. Шишканов К.А. Выбор кинематических параметров шаровой загрузки вибрационной мельницы для тонкого измельчения горных пород: Автореф. дисс. ... к.т.н. / К.А. Шишканов // Специальность 05.05.06. – М.: МГГУ, 2012. – 20 с.

35. Кавитационные генераторы-диспергаторы МГКУ. [Электронный ресурс] – Режим доступа: [http://www.istu.edu/docs/science/2014/gefence/2014\\_15/meshherjakov\\_dissertacija.pdf](http://www.istu.edu/docs/science/2014/gefence/2014_15/meshherjakov_dissertacija.pdf)

36. Шевченко А.Ф. Пути интенсификации процесса помола цемента / А.Ф. Шевченко, А.А. Салей, А.А. Сигунов, Н.П. Пескова // Вопросы химии и химической технологии. – 2008. – № 5. – С. 129-137.

© Букин С.Л., Шолда Р.А., Букина А.С., Касторный Ю.В., Касторный Д.Ю. 2016

*Надійшла до редколегії 12.02.2016 р.  
Рекомендовано до публікації д.т.н. І.К. Младецьким*