



Научная статья

УДК 552.574

<https://doi.org/10.21285/2686-9993-2022-45-4-469-480>



## Применение технологии винтовой сепарации при переработке угольных шламов

Надежда Павловна Соловеев<sup>a</sup>, Никита Михайлович Болотин<sup>b</sup>

<sup>a,b</sup>Институт земной коры СО РАН, г. Иркутск, Россия

<sup>a,b</sup>ООО «Научно-производственная компания «Спирит»», г. Иркутск, Россия

Автор, ответственный за переписку: Соловеев Надежда Павловна, [snp@spirit-irk.ru](mailto:snp@spirit-irk.ru)

**Резюме.** Целью работы являлся анализ современного состояния проблемы технологии обогащения угольных шламов углеобогащательных фабрик, сравнение результатов переработки шламов угольных гидроотвалов на различных видах обогатительного оборудования, а также определение рекомендаций по применению метода винтовой сепарации при обогащении угольных шламов. К основным методам проведенного исследования можно отнести обобщение и анализ научно-технической информации, изучение результатов технологических испытаний по винтовой сепарации. Проблема обогащения шламов актуальна в связи с увеличением содержания тонких классов в добываемых углях и, следовательно, в угольных шлаках. В реальности большинство шламов представляет собой топливо для энергетики. В результате работы проведен анализ экспериментальной части исследований, установлена эффективность разделения угля от породной фракции с использованием технологии винтовой сепарации угольных шламов. Определена необходимость предварительной классификации исходного материала перед винтовой сепарацией. Выявлено, что винтовые шламовые сепараторы по сравнению с винтовыми минеральными сепараторами имеют ряд технологических преимуществ, обусловленных более широким диапазоном крупности обогащаемого материала. Анализ выполненных испытаний позволил установить перспективность применения технологии винтовой сепарации при переработке угольных шламов. Авторами даны рекомендации по использованию винтовых аппаратов ООО «Научно-производственная компания «Спирит»» для обогащения шламовых продуктов (текущие хвосты, шламовый продукт гидроотвала) производственного участка «Обогатительная фабрика» филиала «Разрез «Черемховуголь»» ООО «Компания «Востсибуголь»».

**Ключевые слова:** угольные шламы, практика технологии винтовой сепарации, винтовые сепараторы, винтовые шлюзы, вторичный угольный концентрат

**Финансирование:** Работы выполнены в рамках комплексного научно-технического проекта Министерства науки и высшего образования Российской Федерации № 075-15-2022-1192 «Переработка хвостов угольных обогатительных фабрик с целью получения товарного угольного концентрата» при поддержке комплексной научно-технической программы полного инновационного цикла «Разработка и внедрение комплекса технологий в областях разведки и добычи твердых полезных ископаемых, обеспечения промышленной безопасности, биоремедиации, создания новых продуктов глубокой переработки угольного сырья при последовательном снижении экологической нагрузки на окружающую среду и рисков для жизни населения», утвержденной Распоряжением Правительства Российской Федерации № 1144-р от 11 мая 2022 г.

**Для цитирования:** Соловеев Н. П., Болотин Н. М. Применение технологии винтовой сепарации при переработке угольных шламов // Науки о Земле и недропользование. 2022. Т. 45. № 4. С. 469–480. <https://doi.org/10.21285/2686-9993-2022-45-4-469-480>.

Original article

## Application of spiral separation technology in coal sludge processing

Nadezhda P. Soloveenko<sup>a</sup>, Nikita M. Bolotin<sup>b</sup>

<sup>a,b</sup>Institute of the Earth's Crust SB RAS, Irkutsk, Russia

<sup>a,b</sup>Research and Production Company Spirit, LLC, Irkutsk, Russia

Corresponding author: Nadezhda P. Soloveenko, [snp@spirit-irk.ru](mailto:snp@spirit-irk.ru)

**Abstract.** The purpose of the study is to analyze the current state of the problem concerning the concentration technology of wash house coal sludge, comparison of the results of sludge dump coal processing on various types of processing equipment as well as formulation of recommendations for spiral separation method application for coal sludge enrichment.



The main research methods include generalization and analysis of scientific and technical information, study of the results of technological tests on spiral separation. The problem of sludge concentration is relevant due to the increase in the content of fine classes in mined coal and, consequently, in coal sludge. In real practice most of the sludge is fuel for energy. Having analyzed the experimental part of the research, the authors established the efficiency of coal and rock fraction separation using the technology of coal sludge spiral separation. The need for preliminary classification of the source material before spiral separation is determined. It is found out that spiral sludge separators have a number of technological advantages as compared to spiral mineral separators, due to a wider range of enriched material fineness. The analysis of the performed tests made it possible to establish the application prospects of the spiral separation technology in coal sludge processing. The recommendations are given on the use of spiral separators manufactured by the Research and Production Company Spirit, LLC for the enrichment of sludge products including tailings, dump sludge of the work site of the Wash House of the Branch Open Pit Cherekhovugol of Vostsibugol Company, LLC.

**Keywords:** coal sludge, practice of spiral separation technology, spiral separators, spiral chutes, secondary coal concentrate

**Funding:** The study was performed in the frameworks of the integrated scientific and technical program of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation No. 075-15-2022-1192 "Processing of tailings of coal preparation plants to obtain commercial coal concentrate". The research was also supported by a comprehensive scientific and technical program of the full innovation cycle "Development and implementation of a set of technologies in the field of exploration and production of solid minerals, ensuring industrial safety, bio-remediation, creation of new products of coal raw material deep processing with a consistent reduction in the environmental load and risks to the population life" approved by the Decree of the Government of the Russian Federation No. 1144-p of May 11, 2022.

**For citation:** Soloveenko N. P., Bolotin N. M. Application of spiral separation technology in coal sludge processing. *Nauki o Zemle i nedropol'zovanie = Earth sciences and subsoil use*. 2022;45(4):469-480. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2686-9993-2022-45-4-469-480>.

## Введение

Повышение качества добываемого угля за счет удаления из него высокозольной угольной породы в отечественной практике и за рубежом осуществляется на обогатительных фабриках. Об этом пишут в своей статье В. В. Кочетов и другие: «Большинство из них имеют технологию, включающую предварительное разделение угля на машинные классы крупности более 13 мм, 0,5–13 мм и менее 0,5 мм и их раздельное обогащение с применением, соответственно, тяжелых сред (в магнетитовой суспензии), гидравлической отсадки и флотации. На отдельных фабриках для крупного класса также используются отсадочные машины, а на некоторых – отделение неклассифицированного угля крупностью до 100 мм. Фабрики, перерабатывающие угли для энергетики, используют либо тяжелые среды, либо отсадочные машины для класса крупности более 13 мм, где сухой отсев не обогащается [1].

Особую проблему всех углеобогачительных фабрик представляет обогащение шламов, к которым относят угольные и породные частицы крупностью менее 0,5–1 и даже 2 мм. Шламов крупностью менее 0,5 мм в зависимости от физико-механических свойств угля и вмещающих пород, а также технологии добычи в исходном угле содержится от 5 до 25 %, а в процессах мокрого обогащения дроблением, истиранием и размоканием их

дополнительно образуется до 8 %. В итоге доля шламов с зольностью 35–45 %, подлежащих обогащению, составляет до трети от общей массы переработанного угля.

Особенности таких гравитационных процессов сепарации, как тяжелые среды и отсадочные машины, не позволяют их эффективно употреблять для обогащения шламистого сырья. Для этих целей применяют тяжелосредные гидроциклоны, концентрационные столы, винтовые сепараторы (винтовые минеральные сепараторы), винтовые шлюзы (винтовые шламовые сепараторы) и другие устройства, использующие гравитационные принципы сепарации в сочетании с эффектами, возникающими при взаимодействии взвешенного потока с твердой поверхностью. Рациональный диапазон крупности для них – 0,2–3 мм [2, 3].

Для угольных шламов крупностью менее 0,5 мм пригодна пенная флотация, которая особенно чувствительна к верхнему пределу крупности. Если он превышает 0,5 мм, то подъемной силы воздушных пузырьков недостаточно для извлечения в пенный продукт гидрофобных угольных частиц и они остаются в камерном продукте флотации, то есть в отходах. Этим и обусловлен нижний предел машинного класса для отсадочных машин в типовой схеме обогащения угля, но, исходя из сепарационных возможностей процесса гидра-



влической отсадки, следует его увеличивать до 3 мм<sup>1,2</sup>» [4].

В результате переработки угля на обогатительных фабриках в хвостохранилищах (гидроотвалах) накапливаются текущие и отвальные шламовые отходы [4–6], представляющие собой техногенные образования, негативно влияющие на окружающую среду. Известно, что вовлечение в производство сырья техногенных образований позволяет решать проблемы ресурсосбережения, охраны недр, рационального недропользования и защиты окружающей среды, кроме того, это важная сторона экономики России [7]. По определению К. Н. Трубецкого, техногенными месторождениями являются техногенные образования, которые по количеству и качеству содержащегося минерального сырья пригодны для эффективного использования в сфере материального производства в настоящее время и в будущем. В связи с этим для угледобывающей отрасли весьма актуальными являются вопросы, связанные с использованием техногенного сырья, то есть уже накопленных минеральных образований на поверхности. Особое место среди таковых занимают хвостохранилища (гидроотвалы, шламоотстойники) углеобогатительных фабрик, которые относятся к первой группе техногенных месторождений углесодержащего сырья [8]. Использование отходов производства считается важной задачей угольной промышленности.

Основными критериями выбора в пользу поиска путей для переработки отходов производств являются, безусловно, экологический и экономический. Только в случае превышения прогнозируемых доходов от использования техногенных ресурсов над затратами на разработку и внедрение технологических решений с учетом экологических преимуществ возможно ожидать крупномасштабного процесса рециклинга отходов. В связи с этим на первое место выдвигаются задачи разработки технологических решений и схем для переработки сложного техногенного ресурса [9].

Цель представленного исследования заключалась в анализе научно-технической информации о возможности обогащения уголь-

ных шламов по технологии винтовой сепарации, а также разработке рекомендаций по применению метода винтовой сепарации при обогащении угольных шламов.

### **Материалы и методы исследования**

В ходе работы авторами было проведено обобщение научно-технической информации, произведен ее анализ. Вещественный состав материала был изучен при помощи гранулометрического и минералогического анализов, химический состав определен атомно-эмиссионным методом с индуктивно-связанной плазмой (АО «Иргиредмет»). Зольность топлива установлена методом ускоренного озоления (ООО «Инженерный центр «Иркутскэнерго»).

### **Результаты исследования и их обсуждение**

При выборе рационального метода переработки материала гидроотвалов необходимо учитывать физико-химические свойства твердой фазы и определять его приоритетные зоны для переработки. Результаты ситового и фракционного анализов дают возможность прогнозировать способ и технологию процессов обогащения.

Особенностями технологии переработки извлекаемого материала из гидроотвалов, в отличие от технологии, использующейся на обогатительных фабриках, является их высокая зольность, высокое содержание частиц менее 0,05 мм, колебания зольности и гранулометрического состава извлекаемого продукта. Разработкой рациональных технологических и технических решений для разрешения проблемы обогащения угольных шламов занимаются исследовательские институты и предприятия, а также специалисты обогатительных фабрик.

Многими исследователями сделано заключение о том, что для угольного шлама крупностью 2–3 мм имеют преимущество винтовые сепараторы. В данной статье приводятся результаты исследований по подготовке и обогащению угольного шлама с применением технологии винтовой сепарации.

<sup>1</sup> Обогащение углей: справочник / ред. И. С. Благов. М.: Недра, 1984.

<sup>2</sup> Классен В. И. Элементы теории флотации каменных углей: учеб. пособие. М.: Углетехиздат, 1953. 204 с.



На Печорской центральной обогатительной фабрике (Республики Коми, Россия) особое внимание уделено вопросу классификации угольного шлама. Проектом данного предприятия разработано несколько вариантов схем с установкой двухстадиальной классификации в гидроциклонах диаметром 1000 и 360 мм, а также с применением двухстадиальной классификации в гидравлических аппаратах. Теоретические и экспериментальные исследования рассматриваемых схем выявили ряд существенных недостатков, например, невозможность обогащения по плотности, что не позволило внедрить технологии в производство. В продолжение исследований установлена перспективность и в последующем внедрена классификация шламов в гидроциклонах диаметром 500 мм, слив которых поступает на флотацию, а сгущенный продукт – на обогащение в винтовые сепараторы LD-7 (Австралия), отходы обезвоживаются на высокочастотном грохоте, концентрат – на двух последовательно установленных дуговых ситах. В результате внедрения технологии обогащения зернистого шлама 0,1–1,5 мм в винтовых сепараторах в два-три раза снизилась нагрузка на тяжелосредние гидроциклоны, что позволило стабилизировать работу тяжелосреднего комплекса и сократить расход магнетита с продуктами обогащения с 4,5 до 0,92 кг/т.

Снижение крупности питания флотации с 0–0,5 до 0–0,2 мм обеспечило уменьшение нагрузки по крупному шламу, что позволило в два раза сократить расход реагентов и улучшить экологическую обстановку в районе предприятия [10].

На кафедре обогащения полезных ископаемых Национального горного университета г. Днепра (Украина) коллективом под руковод-

ством А. С. Кирнарского изучено влияние условий подготовки исходного продукта на результаты винтовой сепарации угольных шламов, а также проведена их предварительная классификация в гидроциклонах, спиральных классификаторах и на грохотах. В результате упомянутым коллективом «разработана стендовая установка, на которой детально изучался этот вопрос. Исходный угольный шлам загружался в усреднительный зумпф, где он перемешивался и разбавлялся водой до нужного содержания твердого, а затем центробежным насосом перекачивался непосредственно на винтовой сепаратор, там подвергался обогащению в замкнутом цикле с получением двух продуктов: концентрата и отходов. Опробование последних осуществлялось непрерывно. Согласно второму и третьему технологическим режимам, исходный угольный шлам классифицировался в гидроциклонах и спиральном классификаторе соответственно. В рамках четвертого технологического режима проводилось распределение на ситах, при этом зернистая часть после мокрого рассева загружалась в усреднительный зумпф и подвергалась мокрой винтовой сепарации по первому варианту в замкнутом цикле. Данные винтовой сепарации угольных шламов, подвергнутых предварительной гидроклассификации по классу -200 мкм, сведены в таблицу» [11]. Указанные данные представлены в табл. 1.

Результаты проведенных экспериментов свидетельствуют о необходимости предварительной классификации исходного материала перед винтовой сепарацией. Наибольший эффект достигнут при применении гидроциклона и высокочастотных сит: содержание золы снижено вдвое при выходе обогащенного концентрата около 80 %.

**Таблица 1. Результаты винтовой сепарации в зависимости от способа подготовки питания [11]**  
**Table 1. Results of spiral separation depending on the feed preparation method [11]**

| Наименование продукта | Без классификации |         | Спиральный классификатор |         | Гидроциклон |         | Сита     |         |
|-----------------------|-------------------|---------|--------------------------|---------|-------------|---------|----------|---------|
|                       | Выход, %          | Зола, % | Выход, %                 | Зола, % | Выход, %    | Зола, % | Выход, % | Зола, % |
| Концентрат            | 87,14             | 20      | 75,75                    | 15,37   | 85,41       | 12,41   | 79,79    | 11,12   |
| Хвосты                | 12,86             | 55      | 24,25                    | 52,65   | 14,59       | 78      | 20,8     | 62,82   |
| Исходный продукт      | 100               | 24,5    | 100                      | 24,41   | 100         | 22      | 100      | 21,57   |



На предприятиях ЗАО «Донецкугледобывание-Сервис» (Ростовская область, Россия) изучение и внедрение технологии винтовой сепарации было начато в прошлом столетии [4]. Здесь были выполнены испытания винтовых шлюзов ШВ2-1000, изготовленных на Усольском заводе горного оборудования (Иркутская область, Россия), принципиальное отличие которых от винтовых сепараторов заключается в том, что они имеют прямой профиль днища с углом наклона  $5^\circ$ , что обеспечивает более благоприятные условия концентрации мелких частиц по сравнению с винтовыми сепараторами с эллиптическим профилем днища. Шлюзы испытывались на обогатительных фабриках «Добропольская», «Украина» и «Узловская», расположенных в Донбассе.

Как было упомянуто выше, коллективом В. В. Кочетова на обогатительной фабрике «Добропольская» испытывались два таких шлюза по одностадиальной схеме без предварительного обесшламливания. Данными учеными было установлено, что «наиболее эффективное обогащение угольного шлама происходит при концентрации твердой фазы в исходной пульпе 400–500 г/л с нагрузкой по твердому на один желоб 3–4 т/ч. В результате зольность шлама снижается на 6–10 % при зольности отходов 75–85 %. Анализ гранулометрических и фракционных составов продуктов обогащения показал, что в отходах практически отсутствует легкая (угольная) фракция плотностью менее 1500 кг/м<sup>3</sup>, промежуточной фракции плотностью 1500–1800 кг/м<sup>3</sup> содержится 1,2–5,5 % и более 90 % высокозольной фракции плотностью более 1800 кг/м<sup>3</sup>. Наибольшую эффективность сепарации имеет класс крупности 0,16–1 мм. Класс крупности менее 0,08 мм в отходы извлекается всего на 10–15 %, что позволило сделать заключение о том, что нижним пределом крупности обогащения угля в винтовых шлюзах является 0,05–0,08 мм.

Испытания этих шлюзов в двухстадиальной схеме показали, что из шламов с зольностью 27,5–41,2 % при нагрузке на шлюз 5–10 т/ч с концентрацией твердого 430–540 г/л возможно получение (после обесшламливания) концентратов с зольностью 6,1–11,7 % при зольности отходов 73,4–78,1 %.

При промышленных испытаниях этих шлюзов на обогатительной фабрике «Узловская» из отходов пенной сепарации угольных шламов с зольностью 36–66,6 % при сепарации в одну стадию удалось дополнительно получить концентраты с зольностью 26–33,9 % при зольности отходов 83–85,6 %.

На обогатительной фабрике «Украина» с помощью винтовых шлюзов зольность шламов снизилась на 6–10 %, а на обогатительной фабрике «Калининская» из отходов флотации дополнительно извлекается 20–30 % шламов с зольностью до 40 % при получении отходов сепарации с зольностью до 75–78 %.

На обогатительной фабрике «Узловская» для зернистых шламов, перерабатываемых пенной сепарацией, были установлены шесть винтовых шлюзов ШВ2-1000 и при нагрузке на один шлюз 6 т/ч при массовой доле твердого в питании 32–42 % в одну стадию был получен концентрат зольностью 10,5–15,5 %, промежуточный продукт зольностью 30–45 % и отходы с зольностью более 78 %. Результаты этих испытаний легли в основу создания промышленных образцов винтовых шлюзов, конструкция которых адаптирована к обогащению угольных шламов.

Кроме того, на обогатительной фабрике «Добропольская» проверена принципиальная возможность обогащения на винтовых шлюзах продуктов крупностью до 13 мм. При переобогащении промежуточного продукта отсадочной машины с зольностью 45–48 % были получены продукты сепарации с зольностями 24 и 72 %, а при переобогащении отходов отсадки с зольностью 74–75 % – продукты с зольностями 49 и 79–81 %.

Анализ выполненных испытаний позволил установить перспективность применения на углеобогажительных фабриках винтовых шлюзов, основными преимуществами которых по сравнению с винтовыми сепараторами с эллиптической формой желоба являются:

- снижение в два-три раза нижнего предела крупности обогащаемого материала даже без предварительной дешламации исходного продукта;

- более низкие эксплуатационные затраты, обусловленные изготовлением и заменой резинового покрытия для желобов с линейным



профилем днища;

- получение более чистых отходов по сравнению с винтовыми сепараторами;
- эффективность обогащения материалов крупностью до 13 мм при линейном профиле поперечного сечения желоба, представленного отрезками двух-трех прямых с переменными углами наклона» [4].

В Лаборатории обогащения ООО «Научно-производственная компания «Спирит»», занимающейся в числе прочего разработкой и производством винтовых аппаратов, проведен ряд технологических исследований по выявлению возможности получения вторичного топлива из накопленных угольных шламов производственного участка «Обогатительная фабрика» компании «Разрез «Черемховуголь»» (Иркутская область, Россия).

Объектом первых тестовых исследований явилась проба, отобранная с гидроотвала с зольностью исходного материала 49 %. По гранулометрической характеристике материал представлен на 90 % зернами менее 1 мм, причем около 40 % составляет глинисто-углистая суспензия крупностью -0,04 мм с зольностью около 70 %.

Разработанная схема обогащения включала следующие операции:

- двухстадийную классификацию исходного материала с выделением класса +1 мм, приемлемого по зольности для присадки к готовому продукту обогащения, класса -1+0,04 мм, являющегося питанием винтового шлюза марки ШВ-750, и класса -0,04 мм, который выводился из процесса обогащения в отвал вследствие его высокой зольности;

- основную и контрольную винтовую сепарацию промежуточного класса (-1+0,04 мм);

- обезвоживание полученных продуктов обогащения.

Показатели обогащения угольных шламов представлены в табл. 2. Эксперименты по винтовой сепарации угольных продуктов проводились на лабораторной установке, принципиальная схема работы винтового сепаратора показана на рис. 1.

Анализ полученных показателей свидетельствует о достаточно высокой степени разделения по зольности на винтовом шлюзе мелких классов углей. Зольность угольного концентрата составляет 22,66 %. Тяжелая фракция винтового шлюза представляет собой породу при 76,17 % зольности [12].

В целом по представленной технологии получено вторичное топливо (класс +1 мм и концентрат шлюза) с выходом 39,77 % и зольностью 21,38 %, что по качеству соответствует получаемому на фабрике концентрату марки ДСШ ( $d = 0-13$  мм) по ТУ 12.36.225-91 «Угли ОАО «Востсибуголь» для сжигания на электростанциях». Кроме того, данная технология позволяет провести процесс обогащения и по сере: массовая доля общей серы на сухое состояние топлива в исходном продукте – 1,18 %, в обогащенном угольном концентрате – 0,86 %.

Последующие технологические испытания в тестовом режиме подтвердили возможность использования технологии винтовой сепарации при переработке не только гидроотвала, но и текущих хвостов обогатительной фабрики.

Объектом технологических испытаний явились две пробы: проба № 1, отобранная с гидроотвала обогатительной фабрики с зольностью 53,3 %, и проба № 2, отобранная из накопленных текущих хвостов с зольностью

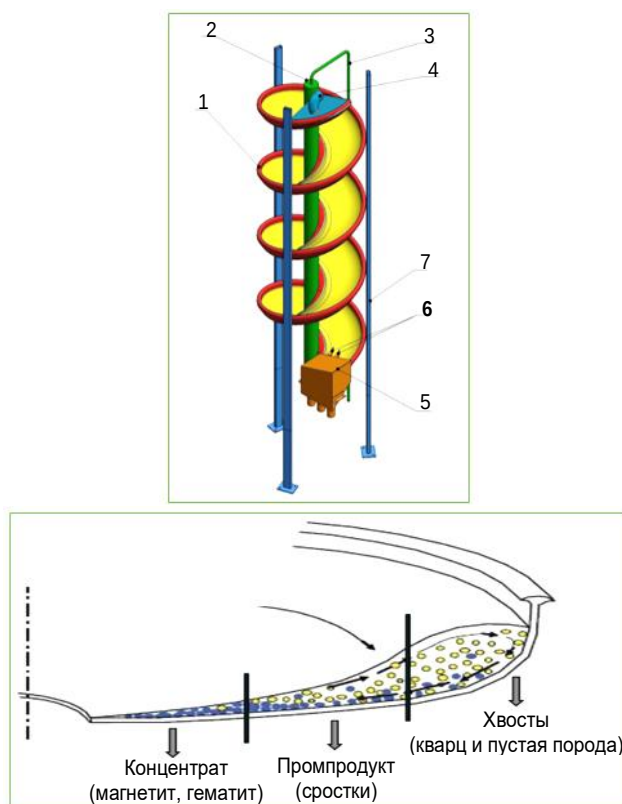
**Таблица 2. Показатели обогащения угольных шламов**  
**Table 2. Indicators of coal sludge concentration**

| Наименование продукта               | Выход, % | Зольность, % | Распределение, % |
|-------------------------------------|----------|--------------|------------------|
| Класс +1 мм                         | 9,21     | 16,91        | 3,2              |
| Угольный концентрат винтового шлюза | 30,56    | 22,66        | 14,22            |
| Итого: обогащенный угольный продукт | 39,77    | 21,38        | 17,42            |
| Порода                              | 10,69    | 76,17        | 16,72            |
| Иловая фракция (класс -0,04 мм)     | 35,48    | 67,22        | 48,98            |
| Ил обезвоживающего грохота          | 14,06    | 58,46        | 16,88            |
| Итого: отвальные продукты           | 60,23    | 66,76        | 82,58            |
| Исходный продукт: шламы гидроотвала | 100      | 48,69        | 100              |



49,7 %. С учетом распределения зольности по классам крупности проведена компоновка схемы обогащения каждого продукта с вклю-

чением операций классификации, винтовой сепарации и обезвоживания полученных продуктов обогащения (рис. 2, 3)<sup>3</sup> [13–15].

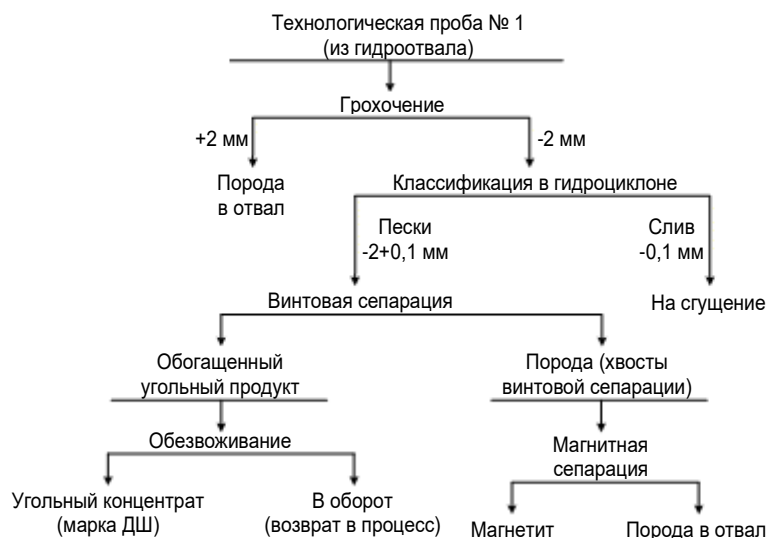


**Рис. 1. Принципиальная схема работы винтового сепаратора:**

1 – винтовой желоб; 2 – трубы смывной воды; 3 – трубы для подвода воды; 4 – узел загрузки;  
5 – приемник продуктов обогащения; 6 – отсекатели продуктов обогащения; 7 – стойки

**Fig. 1. Schematic diagram of spiral separator operation:**

1 – spiral chute; 2 – wash water pipes; 3 – water supplying pipes; 4 – loading unit;  
5 – receiver of enrichment products; 6 – separators of enrichment products; 7 – struts



**Рис. 2. Принципиальная схема обогащения угольных шламов гидроотвала**

**Fig. 2. Schematic diagram of sludge dump coal enrichment**

<sup>3</sup> Левкин Н. Д. Оценка геоэкологической ситуации и способы снижения деструкции окружающей среды в угледобывающих промышленных регионах: дис. ... д-ра. техн. наук: 25.00.36. Тула, 2011. 234 с.



Кроме того, на пробе текущих хвостов фабрики класс -13+2 мм с зольностью 33,1 % можно рассматривать как отсев марки ДСШ, который по качеству аналогичен отсеvu по ТУ 12.36.203-91. Он может быть пригоден для пылевидного сжигания и коммунальных нужд.

Результаты технологических испытаний (табл. 3) позволили сделать заключение о принципиальной возможности вовлечения в переработку шламовых угольных продуктов производственного участка «Обогатительная фабрика».

Критическая наполненность гидроотвала производственного участка «Обогатительная фабрика» обусловила проведение укрупненных технологических испытаний, на основании которых в настоящее время принято решение о разработке проектной документации

для переработки гидроотвала фабрики [16–18]. Проектируемая установка предполагает получение дополнительной продукции в виде угольного концентрата и магнетитового концентрата. Магнетит в процессе винтовой сепарации концентрируется в породной фракции, после ее магнитной сепарации полученная магнитная фракция может быть использована в операции тяжелосредного обогащения.

### Заключение

На основании проведенных лабораторных исследований установлена целесообразность раздельного обогащения углей по четырем машинным классам: более 13 мм – методами тяжелосредной сепарации или на отсадочных машинах для крупного класса; 3...13 мм – с помощью отсадочных машин для мелкого класса;

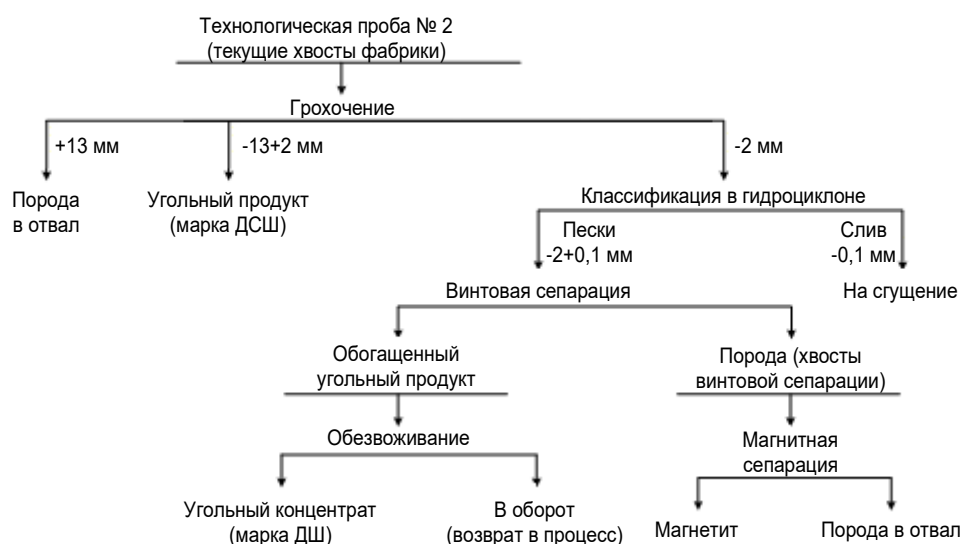


Рис. 3. Принципиальная схема обогащения текущих хвостов

Fig. 3. Schematic diagram of tailings enrichment

Таблица 3. Результаты обогащения шламовых продуктов обогатительной фабрики  
Table 3. Results of coal preparation plant sludge enrichment

| Параметр                                             | Проба № 1 (из гидроотвала) | Проба № 2 (текущие хвосты) |
|------------------------------------------------------|----------------------------|----------------------------|
| Угольный концентрат – концентрат винтовой сепарации: |                            |                            |
| выход, %                                             | 28,8                       | 32,7                       |
| зольность, %                                         | 22,9                       | 25,8                       |
| Отсев -13+2 мм – марка ДСШ:                          |                            |                            |
| выход, %                                             | –                          | 14                         |
| зольность, %                                         | –                          | 31,7                       |
| Суммарный выход угольных продуктов для потребления   | 28,8                       | 46,7                       |
| Породные продукты:                                   |                            |                            |
| выход, %                                             | 71,2                       | 53,3                       |
| зольность, %                                         | 65,6                       | 69,2                       |





0,2–0,1...3 мм – на винтовых сепараторах и винтовых шлюзах; менее 0,2...0,1 мм – во флотационных машинах. Это позволит повысить извлечение горючей массы в концентрат и удешевит процесс обогащения за счет снижения объема угля, направляемого на обогащение в отсадочных машинах, потребляющих большое количество воды, и на дорогостоящую флотацию. Отмечено, что винтовые шлюзы по сравнению с винтовыми сепараторами имеют ряд технологических преимуществ, обусловленных более широким диапазоном крупности обогащаемого материала и возможностью получения более чистых отходов. Для повышения эффективности винтовой сепарации рекомендуется сочетание основной и контрольной сепарации тяжелого продукта, а также перемешка легкого продукта и разделе-

ние промежуточных продуктов в отдельном цикле с добавкой выделенных продуктов соответственно к тяжелому и легкому [19, 20].

Технологические испытания винтовой сепарации на шламовых продуктах гидроотвала производственного участка «Обогатительная фабрика» компании «Разрез “Черемховуголь”» показали перспективность использования винтовых аппаратов (сепараторов и шлюзов) конструкции и производства ООО «Научно-производственная компания “Спирит”». Технология винтовой сепарации при переработке угольных шламов, являющихся отходами обогащения угольного сырья, позволяет получить качественное вторичное топливо без дополнительных затрат на добычу по экологически чистой технологии при низких энергозатратах.

#### Список источников

1. Сокур А. К. Обзор гравитационных технологий обогащения угольных шламов нефлотационной крупности // Збагачення корисних копалин: наук.-техн. зб. 2012. № 51. С. 126–136.
2. Полулях А. Д., Полулях Д. А. Применение тяжелосредних гидроциклонов для обогащения угля // Збагачення корисних копалин: наук.-техн. зб. 2011. № 47. С. 116–126.
3. Зарубин Л. С., Иофа М. Б. Технология глубокого обогащения и обессеривания угля в тяжелосредних гидроциклонах за рубежом: обзор. М.: ЦНИЭИУголь, 1980. 29 с.
4. Кочетов В. В., Левандович А. П., Беринберг З. Ш., Кирнарский А. С., Пилов П. И. Применение винтовых сепараторов при обогащении углей // Обогащение полезных ископаемых. 1998. № 1. С. 80–87.
5. Сипотенко А. И., Коткин А. М., Перемежко Э. А. Совершенствование техники и технологии обработки шламов для сокращения их выпуска как отдельного товарного продукта. М.: ЦНИЭИ Уголь, 1991. 56 с.
6. Дамба А., Станис Е. В. Использование комплексной геоэкологической оценки в экологическом аудите при разработке угольных месторождений Монголии // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2015. № 2. С. 100–106.
7. Трубецкой К. Н. Современное состояние минерально-сырьевой базы и горнодобывающей промышленности России // Горный журнал. 1995. № 1. С. 3–7.
8. Трубецкой К. Н., Уманцев В. Н., Никитин М. Б. Классификация техногенных месторождений, основные категории и понятия // Горный журнал. 1989. № 12. С. 6–9.
9. Шадренова И. В., Зелинская Е. В., Волкова Н. А., Орехова Н. Н. Горнопромышленные отходы: ресурсный потенциал и технологии переработки (на примере Сибири и Урала) // Современные проблемы комплексной переработки труднообогатимых руд и техногенного сырья (Плаксинские чтения – 2017): материалы Международ. науч. конф. (г. Красноярск, 12–15 сентября 2017 г.). Красноярск: Изд-во СФУ, 2017. С. 15–21.
10. Бобриков В. В., Калабухов М. Л., Канев Н. И. Исследование и совершенствование процессов классификации и обогащения угольного шлама на Печеровской ЦОФ // III Конгресс обогатителей стран СНГ (г. Москва, 19–22 марта 2001 г.). М.: Изд-во МИСиС, 2001. С. 69–75.
11. Кирнарский А. С., Артемов С. В., Гаевой В. В. Влияние условий подготовки исходного продукта на результаты мокрой винтовой сепарации угля // Обогащение полезных ископаемых. 1998. № 1. С. 126–127.
12. Прокопьев С. А., Пономарева А. М., Болотин М. Л. Переработка техногенного сырья углеобогательной фабрики // Экологические проблемы и новые технологии комплексной переработки минерального сырья (Плаксинские чтения – 2002): материалы Международ. совещ. (г. Чита, 16–19 сентября 2002 г.). Чита: ПКЦ-Альтекс, 2002. С. 79–82.
13. Кирнарский А. С. Принцип однофункциональности разделительных процессов при обогащении каменного угля // Уголь. 2012. № 5. С. 94–96.
14. Новак В. И., Козлов В. А. Обзор современных способов обогащения угольных шламов // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2012. Отдельный выпуск № 5. Угледобыча: технологии, безопасность, переработка и обогащение. С. 130–138.
15. Козлов В. А., Новак В. И. Оптимизация работы углеобогательной фабрики с целью получения максимального выхода концентрата // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2019. № 4. С. 175–186. <https://doi.org/10.25018/>



0236-1493-2019-04-0-175-186.

16. Белоусов В. А. Основные направления интенсификации флотационного обогащения углей // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2014. № 11-5. С. 719–721.

17. Козлов В. А., Козлов Е. В. Выбор наиболее рациональных методов оценки обогатимости углей для практического применения при проектировании обогатительных фабрик // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2012. № 4. С. 150–155.

18. Белоусов В. А. Перспективные методы обогащения угольных шламов // Международный журнал

прикладных и фундаментальных исследований. 2014. № 4. С. 15–17.

19. Гришин И. А., Князбаев Ж. С. К проблеме выбора метода обогащения для углей различной стадии метаморфизма // Успехи современного естествознания. 2016. № 1. С. 107–110.

20. Сосновский С. А., Сачков В. И. Комплексная переработка техногенного углесодержащего сырья // Проблемы комплексной и экологически безопасной переработки природного и техногенного минерального сырья (Плаксинские чтения – 2021): материалы Международ. науч. конф. (г. Владикавказ, 4–8 ноября 2021 г.). Владикавказ: Изд-во СКГМИ (ГТУ), 2021. С. 498–501.

## References

1. Sokur A. K. Review of gravitational concentration technologies for coal slimes of non-flotation size. *Obogashchenie poleznykh iskopaemykh: nauch.-tekhn. sb.* 2012; 51:126-136. (In Ukrainian).

2. Polulyakh A. D., Polulyakh D. A. Use of heavy-medium hydrocyclones for coal beneficiation. *Obogashchenie poleznykh iskopaemykh: nauch.-tekhn. sb.* 2011;47:116-126.

3. Zarubin L. S., Iofa M. B. *Foreign technology of coal deep enrichment and desulfurization in heavy-medium hydrocyclones abroad: review.* Moscow: Central Research Institute of Economics and Scientific and Technical Information of the Coal Industry; 1980. 29 p. (In Russ.).

4. Kochetov V. V., Levandovich A. P., Berinberg Z. Sh., Kirmarskii A. S., Pilov P. I. Use of spiral separators in coal concentration. *Obogashchenie polezny iskopaemykh.* 1998;1:80-87. (In Russ.).

5. Sipotenko A. I., Kotkin A. M., Peremezhko E. A. *Improving methods and technology of sludge treatment to reduce their output as a separate commercial product.* Moscow: TsNIEI Ugol'; 1991. 56 p. (In Russ.).

6. Damba A., Stanis E. V. The use of an integrated geo-ecological assessment in environmental audit at the open coal mining in Mongolia. *Vestnik Rossiiskogo universiteta družby narodov. Seriya: Ekologiya i bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti = RUDN Journal of Ecology and Life Safety.* 2015;2:100-106. (In Russ.).

7. Trubetskoi K. N. The current state of the mineral resource base and mining industry in Russia. *Gornyi zhurnal.* 1995;1:3-7. (In Russ.).

8. Trubetskoi K. N., Umantsev V. N., Nikitin M. B. Classification of technogenic deposits, main categories and concepts. *Gornyi zhurnal.* 1989;12:6-9. (In Russ.).

9. Shadrinova I. V., Zelinskaya E. V., Volkova N. A., Orekhova N. N. Mining waste: resource potential and processing technologies (on the example of Siberia and the Urals). In: *Sovremennye problemy kompleksnoi pererabotki trudnoobogatimyykh rud i tekhnogennogo syr'ya (Plaksin'skie chteniya – 2017): materialy Mezhdunar. nauch. konf. = Modern problems of complex processing of refractory ores and technogenic raw materials (Plaksin'sky Readings – 2017): materials of the International scientific conference.* 12–15 September 2017, Krasnoyarsk. Krasnoyarsk: Siberian Federal University; 2017, p. 15–21. (In Russ.).

10. Bobrikov V. V., Kalabukhov M. L., Kanev N. I. Re-

search and improvement of coal sludge classification and enrichment at the Pecherovskaya Central Preparation Plant. In: *III Kongress obo-gatitelei stran SNG = 3<sup>d</sup> CIS Congress of the Mineral Processing Engineers.* 19–22 March 2001, Moscow. Moscow: National University of Science and Technology (MISIS); 2001, p. 69–75. (In Russ.).

11. Kirmarskii A. S., Artemov S. V., Gaevoi V. V. Influence of initial product preparation conditions on the results of coal wet spiral separation. *Obogashchenie polezny iskopaemykh.* 1998;1:126-127. (In Russ.).

12. Prokop'ev S. A., Ponomareva A. M., Bolotin M. L. Processing of technogenic raw materials of a coal washing plant. In: *Ekologicheskie problemy i novye tekhnologii kompleksnoi pererabotki mineral'nogo syr'ya (Plaksin'skie chteniya – 2002): materialy Mezhdunar. soveshch. = Environmental problems and new technologies for the complex processing of mineral raw materials (Plaksin'sky readings – 2002): materials of the International meeting.* 16–19 September 2002, Chita. Chita: PKTs-Al'teks; 2002, p. 79–82. (In Russ.).

13. Kirmarskii A. S. The principle of single functionality of separation processes under hard coal beneficiation. *Ugol' = Russian Coal Journal.* 2012;5:94-96. (In Russ.).

14. Novak V. I., Kozlov V. A. Review of modern coal sludge concentration methods. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten' (nauchno-tekhnicheskii zhurnal) = Mining informational and analytical bulletin (scientific and technical journal).* 2012;5:130-138. (In Russ.).

15. Kozlov V. A., Novak V. I. Optimizing coal preparation plant performance towards maximum concentrate yield. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten' (nauchno-tekhnicheskii zhurnal) = Mining informational and analytical bulletin (scientific and technical journal).* 2019; 4:175-186. (In Russ.). <https://doi.org/10.25018/0236-1493-2019-04-0-175-186>.

16. Belousov V. A. Main directions of coal flotation enrichment intensification. *Mezhdunarodnyi zhurnal prikladnykh i fundamental'nykh issledovaniy.* 2014;11-5:719-721. (In Russ.).

17. Kozlov V. A., Kozlov E. V. Selection of the most rational evaluation methods of coal washability to be applied when designing concentration plants. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten' (nauchno-tekhnicheskii zhurnal) = Mining informational and analytical bulletin (sci-*



entific and technical journal). 2012;4:150-155. (In Russ.).

18. Belousov V. A. Promising methods of coal sludge enrichment. *Mezhdunarodnyi zhurnal prikladnykh i fundamental'nykh issledovaniy*. 2014;4:15-17. (In Russ.).

19. Grishin I. A., Knyazbaev Z. S. To the enrichment method choice problem for coals of various stage of the metamorphism. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya*. 2016;1:107-110. (In Russ.).

20. Sosnovskii S. A., Sachkov V. I. Complex processing of technogenic coal-containing raw materials. In:

*Problemy kompleksnoi i ekologicheskoi bezopasnoi pererabotki prirodnogo i tekhnogenogo mineral'nogo syr'ya (Plaksinskie chteniya – 2021): materialy Mezhdunar. nauch. konf. = Problems of complex and environmentally safe processing of natural and technogenic mineral raw materials (Plaksinsky readings – 2021): materials of the International scientific conference*. 4–8 November 2021, Vladikavkaz. Vladikavkaz: North Caucasian Institute of Mining and Metallurgy (State Technological University); 2021, p. 498–501. (In Russ.).

### Информация об авторах / Information about the authors



**Соловеев Надежда Павловна,**

ведущий инженер отдела комплексного использования минерального сырья,  
Институт земной коры СО РАН,  
г. Иркутск, Россия,  
руководитель группы обогащения руд благородных металлов,  
ООО «Научно-производственная компания «Спирит»»,  
г. Иркутск, Россия,  
snp@spirit-irk.ru.

**Nadezhda P. Soloveenko,**

Leading Engineer of the Department of Complex Use of Mineral Raw Materials,  
Institute of the Earth's Crust SB RAS,  
Irkutsk, Russia,  
Head of the Precious Metal Ore Processing Group,  
Research and Production Company Spirit, LLC,  
Irkutsk, Russia,  
snp@spirit-irk.ru.



**Болотин Никита Михайлович,**

ведущий инженер отдела комплексного использования минерального сырья,  
Институт земной коры СО РАН,  
г. Иркутск, Россия,  
инженер-обогащатель,  
ООО «Научно-производственная компания «Спирит»»,  
г. Иркутск, Россия,  
nmb@spirit-irk.ru.

**Nikita M. Bolotin,**

Leading Engineer of the Department of Complex Use of Mineral Raw Materials,  
Institute of the Earth's Crust SB RAS,  
Irkutsk, Russia,  
Mineral Processing Engineer,  
Research and Production Company Spirit, LLC,  
Irkutsk, Russia,  
nmb@spirit-irk.ru.

### Вклад авторов / Contribution of the authors

Соловеев Н. П. – научное руководство исследованием, критический анализ литературы, формулировка научных гипотез, описание результатов и формирование выводов исследования, подготовка рукописи к печати. Болотин Н. М. – сбор статистических данных, табличное и графическое представление результатов, описание результатов и формирование выводов исследования, подготовка рукописи к печати.

Soloveenko N. P. carried out the scientific management of the research, performed critical analysis of literature, formulated scientific hypotheses, described the scientific results, formulated the conclusions and prepared the manuscript for publication. Bolotin N. M. collected statistical data, designed the tables and graphs representing the research results, described the scientific results, formulated the conclusions and prepared the manuscript for publication.

**Конфликт интересов / Conflict of interests**

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.  
The authors declare no conflicts of interests.

*Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.*  
*The final manuscript has been read and approved by all the co-authors.*

**Информация о статье / Information about the article**

Статья поступила в редакцию 21.09.2022; одобрена после рецензирования 26.10.2022; принята к публикации 29.11.2022.

The article was submitted 21.09.2022; approved after reviewing 26.10.2022; accepted for publication 29.11.2022.