УДК
622.7.012;
622.793

Л.А. Антипенко, А.Е. Кравченко

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ВОДНО-ШЛАМОВЫХ СИСТЕМ УГЛЕОБОГАТИТЕЛЬНЫХ ФАБРИК

Рассмотрены основные существующие, современные и перспективные технологические и водно-шламовые схемы. Приведены критерии эффективности водно-шламовых схем, основанные на скорости накопления, ввода и вывода шлама в замкнутой водно-шламовой системе обогатительной фабрики. Проведен анализ шламов, присутствующих на углеобогатительных фабриках, их образование, количество и влияние на качественно-количественные характеристики продуктов обогащения.
Ключевые слова: шламы, накопление шламов водно-шламовые схемы обогатительных фабрик, оборотная вода, осветленная вода, замкнутый цикл водно-шламовой системы.

Стабильная экономика основного угледобывающего региона страны, в условиях мирового кризиса, перепроизводства сырья, нестабильного рынка цен, зависит в настоящее время от ряда факторов. Таковыми являются и развитие альтернативных производств-потребителей, и поиск новых рынков сбыта, и повышение качества добываемого угля.

Кузбасс добывает практически 60% от общего объема добычи угля в России. Из них более 70% доля коксующихся марок угля. Повышение качества добываемого угля является одним из основных направлений развития угольной промышленности Кузбасса, которое возможно только с применением процессов обогащения энергетического и коксующегося угля. Согласно «Региональной стратегии развития», к 2020 г. планируется увеличить долю обогащаемого угля с 72% до 90%, а за период 2012–2025 гг. пустить в эксплуатацию 16 обогатительных фабрик.

Современная обогатительная фабрика является высокомеханизированным и автоматизированным предприятием с поточной технологией. Важной задачей в углеобогащении в настоящее время является с одной стороны повышение качества угля, с другой – снижение его потерь в тонких классах.

ISSN 0236-1493. Горный информационно-аналитический бюллетень. 2017. № 4. С. 156–165.
© 2017. Л.А. Антипенко, А.Е. Кравченко.

С повышением объемов добычи угля, внедрения механизированных комплексов, усложнения горно-геологических условий отработки пластов угля происходит увеличение мелких и тонких классов в рядовых углях, поступающих на обогатительную фабрику, что в значительной мере способствует обильному шламообразованию в процессе обогащения угля. В первую очередь это влияет на качественную характеристику как рядового угля, так и продуктов обогащения.

Для улавливания и обработки шламов, а также осветления оборотной воды, на углеобогатительной фабрике применяют различные устройства и аппараты. Технологический комплекс машин, аппаратов, сооружений, транспортных и вспомогательных средств принято считать водно-шламовой системой (ВШС) обогатительных фабрик. Эффективная работа углеобогатительной фабрики зависит в первую очередь от стабильной и устойчивой работы водно-шламовой системы.

Эффективность работы водно-шламовой системы можно определить степенью извлечения и вывода из системы зернистых и тонкодисперсных частиц или количеством циркуляционной нагрузки. Накопление шлама в шламовой, оборотной и осветленнойводах обогатительной фабрики негативно сказывается на работе основных технологических процессов обогащения и ухудшает их технико-экономические показатели.

В настоящее время совершенствование водно-шламовых схем углеобогатительных фабрик идет по пути развития флото-фильтрационных и фильтр-прессовых отделений. Флотофильтровальное отделение является основой структуры водношламовой системы обогатительной фабрики. Структура ВШС ОФ в значительной степени зависит от типа обогащаемого угля. Водно-шламовые схемы ОФ отличаются между собой типом применяемого оборудования, количеством стадий регенерации оборотной воды и сложностью технологического исполнения. От типа принятой ВШС, ее совершенства и режима эксплуатации зависят не только эффективность регенерации шламовых вод и стабильная работа технологических аппаратов, но и потери ценного компонента с отходами обогащения.

Водно-шламовые системы являются неотъемлемой частью всей технологической схемы обогащения угля на обогатительной фабрике. В технологии обогащения, сложившаяся практика выделяет гравитационные методы обогащения и флотацию как наиболее прогрессивные. В настоящее время на обогатительных предприятиях применяется обогащение в тяжелосредных уста-

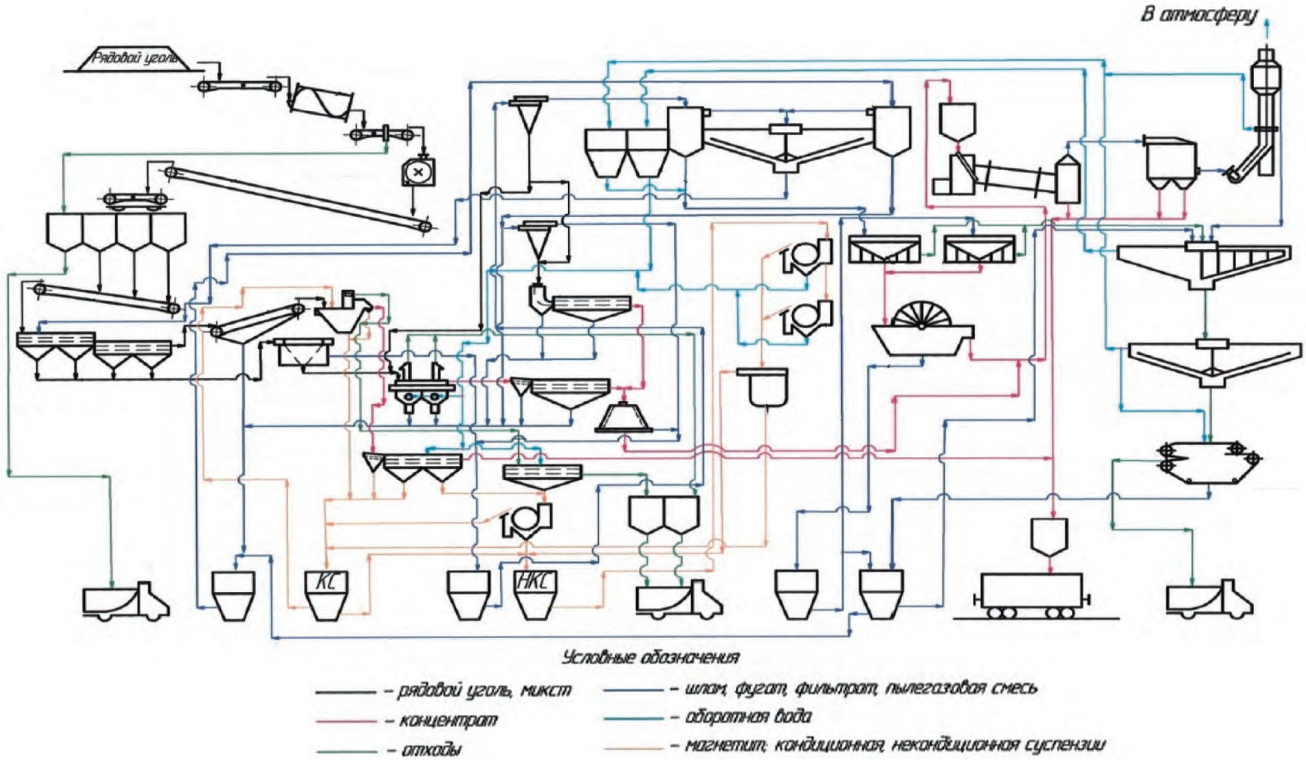

Рис. 1. Вариант действующей схемы соединения технологического оборудований обогатительных фабрик

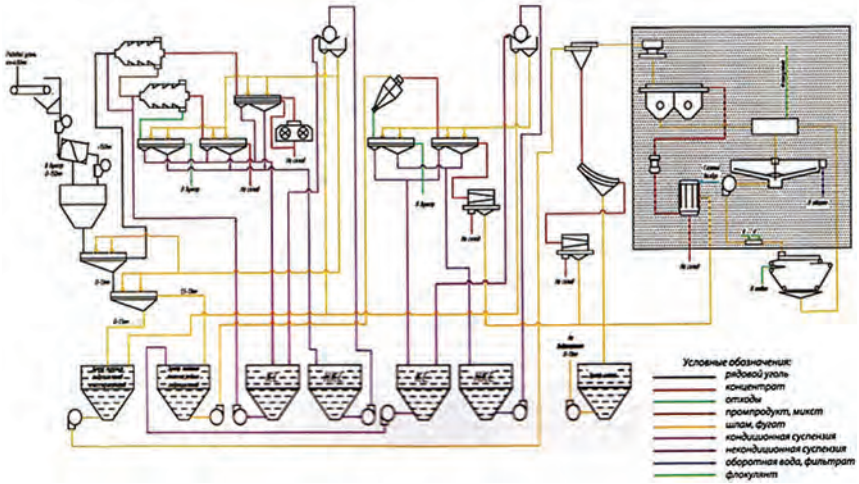

Рис. 2. Технологическая схема обогащения коксующихся углей

новках (тяжелосредные сепараторы и гидроциклоны), отсадочных машинах, спиральных сепараторах и флотационных машинах. Вспомогательные процессы обогащения, в частности обезвоживание, производится в центрифугах с высоким фактором разделения, на вакуум-фильтрах, ленточных пресс-фильтрах, камерных фильтр-прессах. Применение этих процессов позволило замкнуть водно-шламовые схемы, прекратить сброс шламов во внешние отстойники и гидроотвалы [1]. Типичная технологическая схема обогащения углей представлена на рис. 1.

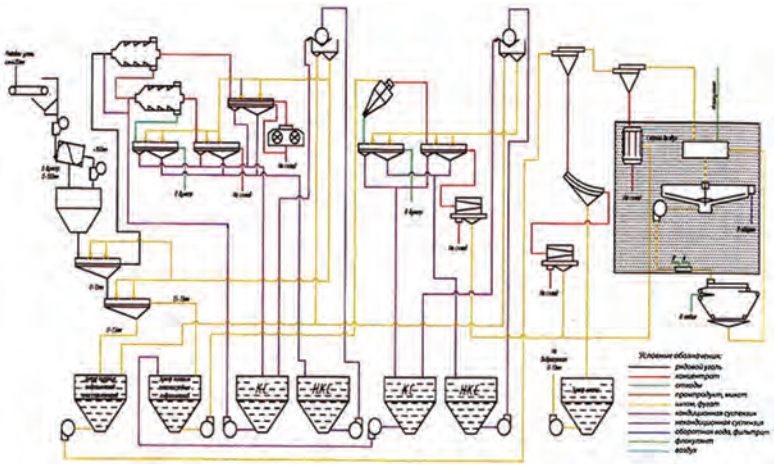

Рис. 3. Технологическая схема обогащения энергетических углей

Исследование новейших технологий позволяет усовершенствовать сложившуюся структуру обогатительной фабрики, ее компоновочные решения и создать по форме и содержанию предприятие нового поколения. Институтом «Сибнииуглеобогащение» предложена принципиально новая схема обогащения коксующихся углей (рис. 2). Эта технологическая схема включает основные операции: подготовку углей для обогащения; обогащение крупного угля в тяжелосредных сепараторах; обогащение мелкого угля в тяжелосредных циклонах; обогащение тонкого шлама (менее 0,3) в пневматических флотомашинах «пневмофлот» (разработка Института «Сибнииуглеобогащение»); обезвоживание флотационного концентрата в патронных фильтрах 6ПТК-10 (разработка Института «Сибнииуглеобогащение»), сгущение шламовых вод в радиальном сгустителе ЦГ-30 перед прессованием шлама (разработка Института «Сибнииуглеобогащение»); обезвоживание отходов флотации в фильтр-прессах. Применение подобной схемы позволяет с большей эффективностью получать качественные характеристики конечного продукта в пределах норм, обусловленных потребительскими ГОСТами [2].

При переработке энергетических углей, обогащаются в основном крупные сортовые классы углей, которые использовались в быту или в топках коммунальных и промышленных котельных. Нижний предел обогащения достигал 6 мм, водно-шламовой хозяйство фабрик было сравнительно простым, однако в последние годы требования к качеству энергетических углей ожесточились, технологические схемы и компоновочные решения изменились и стали соответствовать параметрам технологии и техники обогащения применительно к коксующимся углям. Институтом «Сибнииуглеобогащение» разработана принципиально новая схема обогащения энергетических углей (рис. 3). В здании главного корпуса обогатительной фабрики используя имеющийся опыт, следует располагать новое современное оборудование, включая фильтр-прессовое отделение. Водно-шламовая схема должна быть замкнута, без наружных илонакопителей [2].

Как видно из рис. 1, 2, 3, передовые технологические схемы обогащения коксующихся и энергетических углей отличны друг от друга только флото-фильтрационным или фильтр-прессовым отделением. Это связано прежде всего с наличием процесса флотации для обогащения и сокращения потерь ценных коксующихся марок угля. В таких технологических схемах

имеет место одна или двухстадиальная водно-шламовая схема регенерации шламовых вод. На первой стадии осуществляется сгущение и извлечение шлама из ВШС и осветление оборотной воды в радиальном сгустителе, а на второй – их регенерация флотационным методом и механическая обработка отходов в камерных фильтр-прессах или ленточных пресс-фильтрах.

Накопление шлама в системе водно-шламового хозяйства ведет в различной мере к загрязнению воды используемой на ОФ. Интерес в области моделирования и развития теории накопления шлама и илов в водно-шламовых системах представлен в работах многих отечественных и зарубежных ученых. В настоящее время процесс накопления шлама в водно-шламовой системе обогатительной фабрики весьма сложен и нестабилен. Вопросами накопления шламов в циркуляционной воде обогатительной фабрики занимались многие ученые как в России, так и за рубежом.

Количество дополнительно образованного класса 0–0,5 мм в операциях технологического процесса обогащения

Источник шламообразования	**Количество дополнительно класса 0–0,5 мм в % от поступающего на операцию продукта**
Подготовительная классификация: мокрая сухая	 2–3 1–2
Тяжелосредные сепараторы	2–4
Грохоты сброса суспензии и обезвоживания	2–4
Обесшламливание перед обогащением в отсадочных машинах	1–2
Отсадочные машины	6–12
Обесшламливание мелкого угля или промпродукта перед обогащением в тяжелосредных гидроциклонах: при конвейерной (элеваторной) подаче при подаче насосами	 1–2 8–12
Сгустительные гидроциклоны	3–6
Насосы для подачи питания флотации, флотационного концентрата и других пульп	6–12
Тяжелосредные гидроциклоны и грохоты сброса суспензии и обезвоживания	2–5
Обезвоживающие центрифуги	4–6

Проведенными исследованиями в работах ученых Г.И. Прейгерзон, Н.И. Малаховский, К.А. Разумов, Т.Г. Фоменко, установлено, что процесс накопления шламов в ВШС ОФ характеризуется величиной равновесной концентрации шлама в системе, т.е. таким состоянием системы, при котором количество шлама вновь приходящим в систему становится равным количеству шлама, выводимому из системы, а также временем накопления шлама до равновесной концентрации.

Последними исследованиями в этой области представлены в работах [3, 4] Донецкого национального технического университета. В работах авторов представлены математические модели определения равновесной концентрации шламов в системе. По мнению авторов, оценка процесса накопления шлама в водно-шламовой системе с позиции содержания твердой фазы в оборотной воде после установившегося равновесия не является исчерпывающей. В связи с тем, что данный процесс изменяется во времени, и продолжительность этого изменения оказывает влияние на эффективность работы основных узлов и системы в целом [3]. Для исследования изменения содержания шлама в оборотной воде с течением времени авторы предлагают использовать критерий, учитывающий инерционность систем и аппаратовт.е. времени обработки одной порции шлама.

Математически критерий выражается в виде формулы (1):

$$I = \frac{\sum_{i=1}^{n} \frac{\Delta Y_i}{\Delta X_i}}{n} \times 10^3 \text{ отн. ед./с} \qquad (1);$$

Смысл предлагаемой зависимости заключается в определении отношения суммы изменений скорости накопления шлама в оборотной воде к числу приращений концентрации шлама. Данный критерий, по мнению авторов, является универсальным и подходит для определения эффективности работы основных узлов системы с точки зрения продолжительности и количества процесса накопления шлама в водно-шламовой системе.

Шламы являются сложными системами минеральных и угольных частиц различных по размеру и форме, и неоднородных по составу и представляют совокупность зерен, переходящих во взвешенное состояние с потоками технологической воды, поступающей в процессы водно-шламовой схемы. По крупности шлам разделяют на классы:

- крупнозернистый – до 3 мм;
- среднезернистый – до 1 мм;

- мелкозернистый – до 0,5 мм;
- тонкозернистый – до 0,15 мм;
- дисперстнозернистый – до 0,05 мм;
- коллоиднозернистый – до 0,005 мм.

В общей классификации, шламы с размером частиц от 0,15 до 3 мм относятся к зернистым шламам, а менее 0,15 мм – к тонким шламам или илам.

В рядовом угле, поступающем на обогатительную фабрику, как правило, уже содержится определенное количество продукта шламообразующего класса крупности. Его усредненное количество составляет 25% от рядового угля. В процессе обогащения угля и в результате дополнительного самоизмельчения образуются вторичные шламы. Количество вторичного шлама для каждой ОФ определяется опытным путем. При отсутствии опытных данных, ориентировочные данные по вновь образованному шламу можно принимать по таблице [5]. Таким образом, согласно таблице, количество вновь образованного шлама может достигать 10–30% к рядовому углю в зависимости от характеристик угля и принятой технологии обогащения.

Чрезмерное загрязнение оборотной и осветленной воды оказывают влияние на качественно-количественные характеристики продуктов обогащения. Содержание твердого в циркуляционной воде ведет к извлечению шлама с продуктами обогащения. Например, при содержании твердого в воде до 100 г/л – для крупного и до 50 г/л – для мелкого классов количество уносимого шлама вместе с продуктами обогащения в общем невелико и составляет 1,5–3%.

Количество тонкого шлама (<50 мкм) с ростом содержания твердого в воде уносится гораздо больше, чем зернистого шлама. Так содержание шлама в концентрате крупностью 0,5–13 мм с изменением содержания твердого в циркуляционной воде от 20 до 500 г/л изменяется в пределах от 0,5 до 12%, а в концентрате, крупностью 13–100 от 0,5 до 6%. Таким образом с уменьшением крупности шлама, особенно с увеличением содержания в нем илов, количество уносимого шлама будет возрастать.

Помимо увеличения уноса шлама с продуктами обогащения, с увеличением содержания твердого в оборотной воде, увеличивается и зольность этих продуктов. Проведенными исследованиями было установлено, что зольность концентрата, не отмытого от шлама, характеризуется формулой:

$$A^d = A^d_{исх} \cdot e^{0,0003x} \qquad (2);$$

где A^d – зольность концентрата с учетом уноса частиц шлама; $A^d_{исх}$ – зольность концентрата исходя из практического баланса продуктов обогащения; x – количество шлама в оборотной воде, г/л; e – экспонента. Однако данная формула не учитывает многих факторов, таких как вязкость и ионный состав среды, наличие остаточной концентрации флокулянтов и флотационных реагентов в водно-шламовой системе обогатительной фабрики.

Так же экспериментально установлено, что при увеличении твердого в питании радиального сгустителя, извлечение зернистых частиц в сгущенный продукт снижается при росте извлечения тонких частиц в слив, однако при этом крупность граничного зерна растет почти в 3 раза. Эффективность работы аппарата при этом снижается и если его слив направляется в оборот, то и оборотная вода будет характеризоваться большим содержанием твердой фазы.

Вывод

В результате многократного использования больших объемов воды в технологических процессах в замкнутых циклах ВШС, происходит накопление шламов в системе углеобогатительной фабрики, что приводит к ухудшению показателей разделения частиц, следовательно, и ухудшения качественных и количественных показателей продуктов обогащения. В настоящее время, для водно-шламового хозяйства углеобогатительных фабрик, значимо изучение влияния шлама как на технологические процессы, так и на технологию обогащения в целом. И необходимо глубокое исследованиешламовых, оборотных и осветленных вод замкнутого цикла ВШС обогатительных фабрик, поскольку накопление тонкого шлама в системе полностью исключается только при не замкнутом водно-шламовом цикле.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Антипенко Л. А.* Будущее угольной промышленности – обогащение угля // Уголь. – 2012. – № 1. – С. 50–52.

2. *Антипенко Л. А.* К вопросу о современных технологиях переработки и обогащения угля // Уголь. – 2015. – № 12. – С. 68–71.

3. *Голиков А. С., Назимко Е. И.* Исследование продолжительности нестационарного режима работы водно-шламовых систем при параллельном соединении разделительных аппаратов // Обогащение полезных ископаемых. – 2012. – № 49(90). – С. 106–112.

4. *Голиков А. С., Назимко Е. И.* Исследование влияния транспортных задержек шламовых потоков на продолжительность нестационарного режима работы водно-шламовых систем // Обогащение полезных ископаемых. – 2012. – № 51(92). – С. 156–160.

5. *Давыдов М. В.* Устойчивое и надежное функционирование водно-шламовой системы углеобогатительной фабрики – определяющий фактор эффективной работы предприятия // Кокс и химия. – 2012. – № 6. – С. 2–8. ГИАБ

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Антипенко Лина Александровна – доктор технических наук, профессор, научный руководитель, e-mail: antipenkola@suek.ru, ООО «Сибниуглеобогащение»,
Кравченко Антон Евгеньевич – аспирант, e-mail: kravchenko_ae@sibsiu.ru, Сибирский государственный индустриальный университет.

Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'. 2017. No. 4, pp. 156–165.

UDC 622.7.012; 622.793

L.A. Antipenko, A.E. Kravchenko

WATER–SLURRY CIRCUITS AT COAL PREPARATION PLANTS: CURRENT STATE AND DEVELOPMENT PROSPECTS

The article describes the current and promising process designs and water-and-slime circuits, and presents the efficiency criteria for the water-and-slime circuits based on the rate of accumulation, inflow and outflow of slime pulp in the closed water-and-slime circuit of a preparation plant. To catch and treat slimes and to clarify recycling water, a coal preparation plant uses different tools and facilities in the form of a process equipment assembly of machines, instruments, structures, transports and auxiliary installations. The efficient performance of a coal prep depends on the sustainable operation of the water-and-slime circuit, the state of which is defined by the rate of extraction and removal of granular and finely dispersed particles, or by the value of the circulating load. Accumulation of slimes in the recycling and clarified water of a prep has negative influence on basic operations of washing flow chart and impairs their performance. It is experimentally proved that when solid ratio grows in the feed of a radial thickener, extraction of granular particles in the thickened product decreases while the yield of fine particles in discharge grows, and the size of the boundary grain increases almost three times. The equipment efficiency lowers, and, if the discharge is meant for recycling, the recycling water will feature high content of solid phase.

Key words: slurries, water-slurry flow, water-slurry close system, preparation plant.

AUTHORS

Antipenko L.A., Doctor of Technical Sciences, Professor, Scientific Adviser, e-mail: antipenkola@suek.ru, LLC «Sibniiugleobogaschenie», 653000, Prokopyevsk, Russia,
Kravchenko A.E., Graduate Student, e-mail: kravchenko_ae@sibsiu.ru, Siberian State Industrial University, 654000, Novokuznetsk, Russia.

REFERENCES

1. Antipenko L. A. *Ugol'*. 2012, no 1, pp. 50–52.
2. Antipenko L. A. *Ugol'*. 2015, no 12, pp. 68–71.
3. Golikov A. S., Nazimko E. I. *Obogashchenie poleznykh iskopaemykh*. 2012, no 49(90), pp. 106–112.
4. Golikov A. S., Nazimko E. I. *Obogashchenie poleznykh iskopaemykh*. 2012, no 51(92), pp. 156–160.
5. Davydov M. V. *Koks i khimiya*. 2012, no 6, pp. 2–8.