

А.Д. ПОЛУЛЯХ, д-р техн. наук,
(Украина, Луганск, ГП "Укрнииуглеобогащение"),

Д.А. ПОЛУЛЯХ, канд. техн. наук,
(Украина, Днепропетровск, Национальный горный университет)

ПРИМЕНЕНИЕ ТЯЖЕЛОСРЕДНЫХ ГИДРОЦИКЛОНОВ ДЛЯ ОБОГАЩЕНИЯ УГЛЯ

Тяжелосредные гидроциклоны для обогащения угля применяются на углеобогатительных фабриках США, Великобритании, Франции, Голландии, Бельгии, Австралии, Канады, Индии, России и других стран. Гидроциклоны применяются при обогащении мелких и средних классов угля различной обогатимости (в основном трудной и очень трудной), используемого для коксования и энергетических целей; обогащении мелких и средних классов антрацита; переобогащении промпродукта отсадочных машин мелкого машинного класса; переобогащении дробленого промпродукта после отсадочных машин и тяжелосредних сепараторов крупного машинного класса; обогащении угля и антрацита по низким плотностям для получения малозольного концентрата; выделении малосернистого концентрата из мелких классов сернистых углей; обогащении угольного шлама как в отдельной операции, так и в комплексе с обогатительными гидроциклонами и концентрационными столами.

В тяжелосредних гидроциклонах можно обогащать уголь и антрацит в широком диапазоне крупности. Верхний предел крупности для крупногабаритных гидроциклонов (диаметром до 700 мм) может достигать 30 40 и даже 50 мм, однако чаще всего он составляет 10, 30 и 40 мм.

Нижний предел крупности традиционно принимается равным 0,6 (0,5) мм. Причиной выбора нижнего предела крупности машинного класса 0,6 (0,5) мм является оптимальный размер щелей шпальтовых сит вибрационных грохотов, на которых производятся операции дешламации угля перед обогащением, а также промывки и обезвоживания продуктов. Применение на вибрационных грохотах шпальтовых сит с меньшим размером щелей приводит к резкому снижению удельной производительности и ухудшению эффективности классификации.

В зависимости от обогатимости угля и требований потребителей к качеству продуктов, обогащение в тяжелосредних гидроциклонах может быть одностадийным (разделение на два продукта) и двухстадийным (разделение на три продукта). В последнем случае используются два последовательно установленных гидроциклона и суспензия двух плотностей

Технологические схемы новых фабрик, введенных в последние годы в эксплуатацию в США, Канаде, России, Украине и в других странах, а также находящихся в стадии строительства и проектирования, используют в основном тяжелосреднее оборудование (сепараторы и гидроциклоны), обеспечивающее наибольшее извлечение угольных фракций в продукты обогащения при незначительных колебаниях качества товарной продукции [1].

Збагачення корисних копалин, 2011. – Вип. 47(88)

Гравітаційна сепарація

Современная технология обогащения углей в тяжелосредних гидроциклонах может осуществляться двумя способами: с дешламацией угля и без нее.

Переход к обогащению в тяжелосредних гидроциклонах недешламированного угля позволяет полностью прекратить обогащение шлама по отдельной технологической схеме или резко сократить объем шлама, поступающего на самостоятельное обогащение. Однако применение технологии обогащения неклассифицированного угля не отвечает принципам однофункциональности гравитационных аппаратов (к которым относятся тяжелосредние гидроциклоны), что снижает качественные показатели их работы за счет взаимодействия двух разделительных признаков: крупности и плотности.

Исследованиями Кирнарского А.С. [2-3] установлено, что чем по меньшему количеству разделительных признаков происходит обогащение материала в одном аппарате, тем выше показатели обогащения. Так как функция нормального распределения, как интеграл плотности нормального распределения, с увеличением количества переменных (разделительных признаков) становится менее островершинной, то ее асимметрия, как следствие этого смещения по оси абсцисс, означает нарушение технологического равновесия и ухудшение показателей сепарационного процесса [4]. Для использования однофункциональности при обогащении зернистых материалов целесообразно его разделить на узкие машинные классы, что минимизирует влияние крупности материала при разделении его по плотности. Последнее возможно при применении мокрого способа подготовки машинных классов и их обесшламливания.

Технология обогащения недешламированного угля основывается на следующих положениях, установленных в процессе эксплуатации тяжелосредних гидроциклонов:

- фактический нижний предел крупности эффективно обогащаемого угля составляет 0,15(0,2) мм;
- показатели разделения самых мелких классов (до 0,15-0,2 мм) зависят от верхнего предела крупности машинного класса, в состав которого они входят. Эти показатели тем лучше, чем ниже верхний предел крупности. Например, в составе класса 0-6 мм мелкие зерна обогащаются более эффективно, чем класса 0-38 м. Эффективность обогащения ширококлассифицированного угля ниже, чем эффективность обогащения узких классов крупности;
- с уменьшением диаметра тяжелосреднего гидроциклона и с повышением напора пульпы на его входе эффективность обогащения самых мелких классов возрастает;
- для каждого узкого класса крупности, обогащаемого в составе машинного класса, характерна индивидуальная плотность разделения, которая выше, когда крупность узкого класса меньше.

Если при обогащении дешламированного угля используется, в основном, общая регенерация суспензии, то в случае обогащения в тяжелосредних гидроциклонах недешламированного угля, применяется только раздельная регенерация суспензии.

Раздельная регенерация разбавленной суспензии заключается в обработке в специальных магнитных сепараторах отдельных потоков после промывки на

Гравітаційна сепарація

грохотах каждого из продуктов обогащения. Промывная вода содержит шлам, по качеству соответствующий данному продукту обогащения. Кроме того, к ней присоединяется часть концентрированной суспензии, отделенной от соответствующего продукта на первом участке грохота. По такой технологии на регенерацию направляется больше концентрированной суспензии, чем по технологии обогащения дешламированного угля. На магнитных сепараторах шлам выделяется со сливом и отходами в качестве немагнитного продукта. Поток шлама определенного качества направляется на отдельные дуговые грохоты, гидроциклоны и другие классифицирующие устройства, где происходит его разделение по граничному зерну 0,15 (0,2) мм. В результате обогащения выделяется продукты крупностью >0,15 (0,2) мм, присаживаемые к соответствующим продуктам флотации, и плохо обогащенный тонкий шлам крупностью <0,15 (0,2) мм, являющийся питанием флотации.

Для обычной технологии в мелком машинном классе, поступающем в тяжелосредние гидроциклоны, допускается сравнительно небольшое содержание шлама крупностью < 0,6 мм – порядка 5%. Соответственно выход продуктов раздельной регенерации в общем балансе продуктов обогащения небольшой.

Исключение операции мокрой дешламации и подача недешламированного угля на обогащение в тяжелосредних гидроциклонах в сухом виде приводят к увеличению содержания в нем класса 0-0,6 мм до 25-30%. При этом требуется существенное расширение фронта раздельной регенерации и соответственно возрастает выход обогащенного шлама.

Технологическая схема одностадийного обогащения недешламированного угля в тяжелосредних гидроциклонах с упрощенной водно-шламовой системой, применяемой на фабрике "Аппальчиан Покахонтас" (США), приведена на рис. 1.

Сухой уголь крупностью 0-38 мм подается с рабочей поверхности в двух-продуктовый тяжелосредний гидроциклон 1. Продукты обогащения (концентрат и отходы) каждый по отдельной схеме обрабатываются последовательно на дуговом 2 и вибрационном грохоте 3. На дуговом грохоте и первом (по ходу движения угля) участие вибрационного грохота отделяется кондиционная суспензия, на втором участке вибрационного грохота материал последовательно промывается оборотной и свежей технической водой.

По своей структуре эта часть технологической схемы ничем не отличается от стандартной схемы тяжелосреднего обогащения. Отличие технологии глубокого обогащения по крупности заключается в последующей схеме раздельной регенерации суспензии и системе обработки шламовых продуктов обогащения.

Гравітаційна сепарація

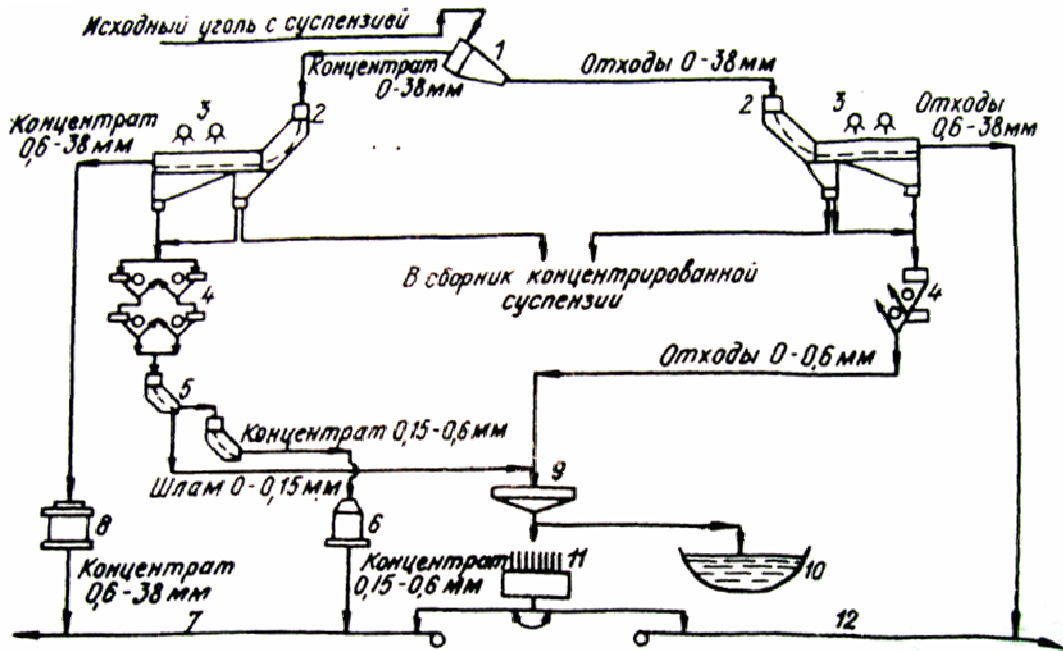


Рис. 1. Технологическая схема одностадийного обогащения недешламированного угля в тяжелосредних гидроциклонах с упрощенной водно-шламовой системой

Разбавленная суспензия из-под грохотов концентрата с частью кондиционной суспензии подается на магнитные сепараторы 4. Двухстадийная обработка на магнитных сепараторах обеспечивает эффективное отделение магнитной фракции от немагнитной, выделяемой со сливом и отходами сепараторов. На двух последовательно установленных дуговых грохотах 5 обогащенный шлам классифицируется по крупности 0,15 мм. Крупнозернистый хорошо обогащенный материал (0,15-0,6 мм) обезвоживается в фильтрующей центрифуге 6 и объединяется на сборном конвейере 7 с более крупным концентратом 0,6-38 мм, также обезвоженным в фильтрующей центрифуге 8. Плохо обогащенный тонкий шлам крупностью 0-0,15 мм направляется в радиальный сгуститель 9.

Разбавленная суспензия из-под грохотов отходов вместе с частью концентрированной суспензии поступает на свою группу магнитных сепараторов. Пульпа с немагнитной фракцией (зольный шлам) крупностью 0-0,6 мм не классифицируется, а поступает непосредственно в радиальный сгуститель. Сгущенный продукт из сгустителя сбрасывается в наружный шламонакопитель 10 или фильтруется на вакуум-фильтре 11, а затем подается на сборный конвейер отходов 12 или, если его зольность соответствует нормативу, добавляется к концентрату.

В результате анализа описанной выше технологии следует отметить, что недешламированный уголь может обогащаться в стандартных тяжелосредних гидроциклонах при любом доступном данному типоразмеру аппарата верхнем пределе крупности машинного класса (до 40 или 50 мм); обогащение производится в одну стадию при обычных параметрах режима работы гидроциклона;

Гравітаційна сепарація

раздельная регенерация суспензии концентрата и отходов при двухстадиальной обработке в магнитных сепараторах обеспечивает эффективное выделение шлама и стабилизирует уровень засорения рабочей суспензии шламом; классификация на дуговых грохотах с размером щели 0,35 мм твердой фазы промывных вод (слива и отходов магнитных сепараторов) линии концентрата проходит эффективно, при этом качество надрешетного продукта крупностью 0,15(0,2) - 0,6 мм дуговых грохотов позволяет присоединять его к основному концентрату фабрики.

Такая технология обеспечивает обогащение в тяжелосредних гидроциклонах угля до крупности 0,1 (0,2) мм, позволяет существенно упростить схему цепи аппаратов фабрики, снизить количество единиц оборудования и уменьшить производственные затраты.

Однако технология обогащения недешламированного угля по сравнению со стандартной технологией обогащения дешламированного имеет ряд недостатков:

- трудность стабилизации плотности суспензии из-за значительно большего объема концентрированной суспензии, выводимой на регенерацию;
- более широкий диапазон различия плотностей разделения узких классов угля, что отражается на общей эффективности обогащения. Разница в плотностях разделения узких классов характерна и для технологии обогащения дешламированного угля при широких пределах крупности машинного класса, однако в первом случае заметно повышается зольность наиболее мелких зерен концентрата (особенно при обогащении в гидроциклонах большого диаметра).

Для получения более высоких качественно-количественных показателей обогащения сухого угля в тяжелосредних гидроциклонах применяется технологическая схема двухстадиального обогащения недешламированного угля, приведенная на рис. 2, (фабрика "Тертре", Бельгия).

Гравітаційна сепарація

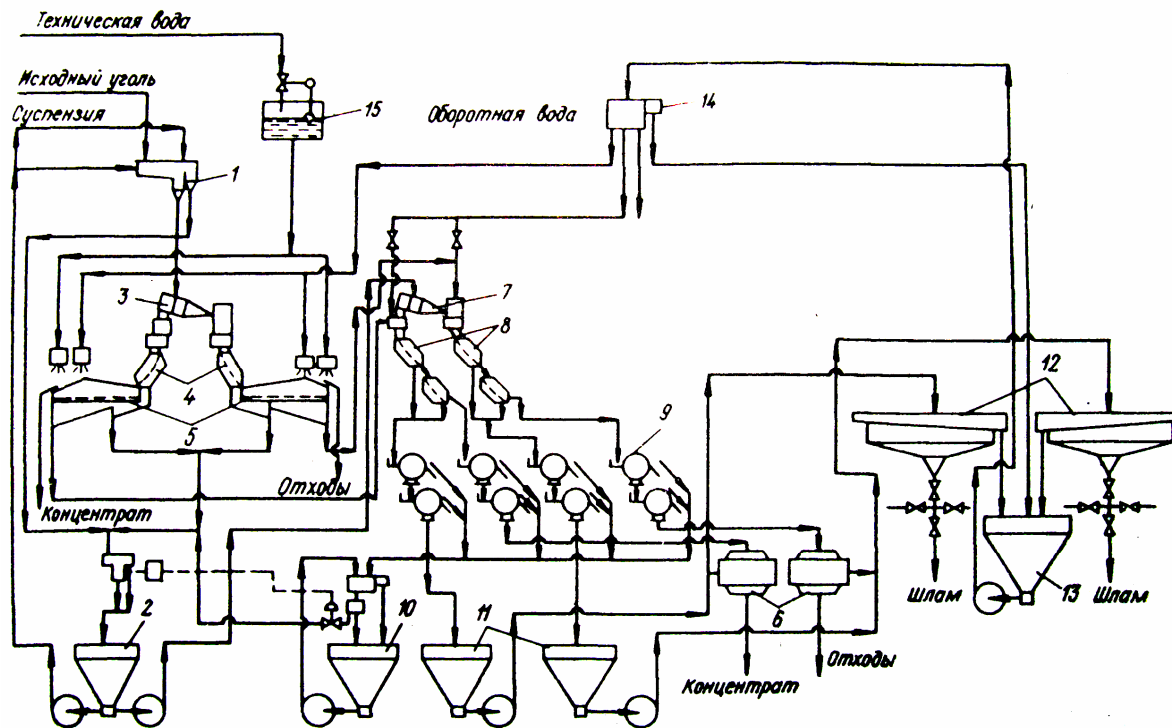


Рис. 2. Технологическая схема двухстадельного обогащения недешламированного угля в тяжелосредних гидроциклонах

Технологическая схема предусматривает поступление недешламированного исходного угля в смеситель 1, куда насосом из сборника 2 подается рабочая суспензия заданной плотности. Избыток суспензии возвращается из смесителя в сборник. Таким образом, емкость 2 служит сборником циркуляционной суспензии. Верхний предел крупности обогащаемого угля принимается обычным для тяжелосредних гидроциклонов, т. е. 9,5 или 25 мм. Поскольку уголь не подвергается дешламации, нижний предел крупности составляет 0 мм.

Из смесителя уголь с суспензией под гидростатическим напором подается в стандартный тяжелосредний гидроциклон 3, где происходит разделение угля по плотности на концентрат и отходы.

Оба конечных продукта вместе с определенным количеством шлама обрабатываются каждый последовательно на дуговых грохотах 4 и вибрационных грохотах 5. Сита дугового и вибрационного грохотов – шпальтовые с размером щели 0,6 мм.

Рабочая суспензия, отделенная на дуговых грохотах и на начальном участке вибрационных грохотов, возвращается в сборник 2. На второй участок вибрационных грохотов для промывки концентрата и отходов подаются через промывочные устройства обратная вода (первая ступень промывки) и чистая техническая вода (вторая ступень промывки).

Отмытые от магнетита концентрат и отходы обезвоживаются в центрифугах 6, после чего концентрат отгружается потребителю, а отходы направляются в отвал.

Гравітаційна сепарація

Основная масса шлама, поступающая в процесс с исходным углем, выделяется на вибрационных грохотах вместе с рабочей суспензией и попадает в сборник 2. Объединение в одном сборнике отделившейся на грохотах линий концентрата и отходов суспензии приводит к смешиванию шлама, уже частично обогащенного по плотности в тяжелосреднем гидроциклоне. Из сборника 2 часть насыщенной шламом суспензии подается отдельным насосом в тяжелосредний гидроциклон 7 меньшего диаметра, где и происходит обогащение шлама. На фабриках Бельгии, названных выше, для основного обогащения применяются тяжелосредние гидроциклоны диаметром 500 мм, для переобогащения шлама – гидроциклоны диаметром 350 мм. Смесь шлама с суспензией в гидроциклон 7 подается непосредственно насосом (без смесителя) под давлением около 0,1 МПа.

Объем подаваемой на переобогащение из сборника 2 в гидроциклон 7 суспензии рассчитывается таким образом, чтобы количество выводимого на переобогащение шлама соответствовало количеству шлама, поступающего в процесс. Таким образом, поддерживается постоянное содержание шлама в рабочей суспензии в цикле основного обогащения.

Слив гидроциклона с тонкозернистым угольным концентратом объединяется с разбавленной суспензией после промывки крупнозернистого концентрата на вибрационном грохоте. Сюда же в случае необходимости может подаваться обратная вода из напорного бака. Через нижнюю насадку гидроциклона выгружаются тонкозернистые отходы, которые объединяются с разбавленной суспензией после промывки на вибрационном грохоте крупнозернистых отходов. Как и для линии концентрата, сюда может быть подана обратная вода.

Пульпа тонкого концентрата и отходов поступает на отдельные линии, включающие два последовательно установленных дуговых грохота 8. Сита дуговых грохотов имеют размер щели, позволяющий отделять материал крупностью $<0,1$ мм.

Подрешетные продукты каждого комплекта дуговых грохотов, так же как и надрешетные продукты, направляются на определенные группы магнитных регенерационных сепараторов 9. В каждой группе установлены последовательно два сепаратора, причем отходы регенерации первого сепаратора переобогащаются во втором.

Магнетитовый концентрат со всех групп магнитных сепараторов направляется в распределительный сборник суспензии 10. Из сборника заданное количество суспензии поступает в сборник 2.

Концентрат и отходы крупностью 0,1-0,6 мм, выделенные в магнитных сепараторах, направляются в отдельные фильтрующие центрифуги 6, перед которыми они соединяются с концентратом и отходами крупностью $>0,6$ мм, поступающими с вибрационных грохотов 5.

Выделенные в магнитных сепараторах и частично обогащенные продукты крупностью 0-0,1 мм через сборники 11 вместе с фугатом фильтрующих центрифуг направляются в соответствующие сгустители 12. Сгущенный шлам из сгустителя 12 линии концентрата в зависимости от его качества может добав-

Гравітаційна сепарація

ляться к общему концентрату (после обезвоживания на вакуум-филт্রে) или при недостаточной эффективности обогащения направляется в сгущенные отходы той же крупности, выгружаемые из сгустителя 12 линии отходов.

Слив сгустителя 12 через зумпф 13 насосом подается в бак оборотной воды 14. Для чистой технической воды предусмотрен специальный бак 15.

Такая технологическая схема имеет следующие особенности: обогащается недешламированный уголь крупностью 0-13, 0-25 мм; мелкий машинный класс (0,6-13; 0,6-25 мм) обогащается в стандартных тяжелосредних гидроциклонах по обычной схеме, а шлам (0-0,6 мм) – в гидроциклонах малого диаметра с высоким давлением на входе; шлам выводится в систему обогащения тонкого угля вместе с суспензией из сборника рабочей среды в количестве, обеспечивающем поддержание концентрации шлама в циркулирующей суспензии не выше допустимого уровня; в отличие от стандартной технологии раздельной регенерации разбавленная суспензия из-под промывочных грохотов каждого из продуктов основного гидроциклона сначала классифицируется на дуговых грохотах в смеси с суспензией и соответствующими продуктами из гидроциклона, предназначенного для обогащения мелочи, а затем подвергается магнитной сепарации; отделение от продуктов обогащения шлама (концентрата и отходов) самого тонкого материала (крупностью $<0,1$ мм) производится на специальных дуговых грохотах с малым размером щели сита; предусмотрена двухступенчатая система регенерации на магнитных сепараторах отдельно концентрата и отходов крупностью 0,1-0,6 и 0-0,1 мм; смешивание соответствующих продуктов разной крупности производится только перед фильтрующими центрифугами; осуществление раздельного сгущения самого тонкого шлама (крупностью $< 0,1$ мм) позволяет добавлять сгущенный тончайший шлам (в зависимости от его качества) к концентрату или отходам.

Таким образом, описанная технологическая схема обогащения в тяжелосредних гидроциклонах обеспечивает эффективное разделение угля до крупности 0,1 мм (в некоторых случаях практически до 0 мм) в отличие от обычных схем обогащения в тяжелосредних гидроциклонах, где нижний предел крупности составляет 0,6 (0,5) мм.

Технология обогащения дешламированного угля, которая широко применяется на углеобогатительных фабриках, приведена на рис. 3 (фабрика "Хомер Сити", США).

Гравітаційна сепарація

Для каждого из машинных классов предусмотрена различная технология обогащения, обусловленная назначением товарных продуктов.

Машинный класс крупностью 6-32 мм обогащается в одну стадию в тяжелосреднем гидроциклоне 5 по граничной плотности 1800 кг/м^3 .

От продуктов обогащения отделяется суспензия, и затем они промываются на комплексах, состоящих из дуговых и вибрационных грохотов 6 и 7.

Машинный класс 2-6 мм обогащается в две стадии в тяжелосредних гидроциклонах 8 и 9 по граничным плотностям 1300 и 1800 кг/м^3 . Конечные продукты обогащения и переобогащаемый продукт отделяются от суспензии и промываются на комплексах, включающих дуговые и вибрационные грохоты 10, 11, 12 и 13 соответственно. Готовые товарные продукты дополнительно обезвоживаются в фильтрующих центрифугах 14 и 15. Таким образом, оба машинных класса (6-32 и 2-6 мм) обогащаются по обычным одно- и двухстадиальным схемам. Для каждой из стадий разделения предусмотрены самостоятельные циклы циркуляции суспензии, отдельные двухпродуктовые тяжелосредние гидроциклоны и комплексы из дуговых и вибрационных грохотов для отделения концентрированной суспензии и промывки продуктов обогащения.

Машинный класс крупностью 0,15-2 мм обогащается по технологической схеме, аналогичной применяемой на обогатительных фабриках "Тертре". Для обогащения предусмотрен отдельный тяжелосредний гидроциклон 16, концентрат и отходы вместе с суспензией поступают на обработку в магнитные сепараторы 17 и 18, работающие по двухстадиальной схеме. Пульпа с немагнитной твердой фазой (слив и отходы магнитных сепараторов) с линии концентрата подается в спиральный классификатор 19. Зернистый концентрат крупностью 0,15-2 мм после классификатора дополнительно обезвоживается в фильтрующей центрифуге 20.

Немагнитная твердая фаза после магнитных сепараторов линии отходов не классифицируется, а направляется в систему обработки шлама. Туда же поступают сливы классификационных гидроциклонов 4 и спирального классификатора 19, твердая фаза которых имеет крупность 0-0,15 мм.

Такая технологическая схема имеет следующие преимущества:

- обогащение в тяжелосредних гидроциклонах узкими машинными классами обеспечивает более высокую эффективность разделения по сравнению с обогащением широко классифицированного материала;
- каждый машинный класс может обогащаться по оптимальной плотности разделения;
- при различии в потребительском назначении продукции для каждого машинного класса может быть использована индивидуальная технология обогащения (например, разное число стадий разделения).

В Украине на обогащение в тяжелосредних гидроциклонах направляется только дешламированный уголь, например, крупностью 1-40 мм (ОУ ООО "Сав-Пласт" [5]), 1-13 мм (ОФ "Свято-Варваренская" [6]), 3-13 мм (ОФ ООО "ПК "ДУТ" [7]).

Таким образом, одним из направлений совершенствования технологиче-

Гравітаційна сепарація

ских схем углеобогатительных фабрик, является применение для обогащения мелких машинных классов угля различной крупности тяжелосредних гидроциклонов, причем, чем мельче машинный класс, тем диаметр гидроциклонов должен быть меньше, а гидродинамический напор подачи исходной пульпы в него больше.

Список литературы

1. Зарубин Л.С., Йофе М.Б. Технология глубокого обогащения и обессеривания угля в тяжелосредних гидроциклонах за рубежом. Обзор. – М.: ЦНИЭИуголь, 1980. – 29 с.
2. Кирнарский А.С. Улучшение гравитационной технологии обогащения хромистых руд // Збагачення корисних копалин: Наук.-техн. зб. – 2011. – Вип. 46(87). – С. 93-100.
3. Кирнарский А.С., Лупей С.А. Улучшение сепарационных характеристик гравитационных аппаратов на основе принципа однофункциональности // Збагачення корисних копалин: Наук.-техн. зб. – 2011. – Вип. 45(86). – С. 71-78.
4. Кирнарский А.С. Принцип однофункциональности разделительных процессов при обогащении полезных ископаемых // Горный журнал. – 2010. – №2. – С. 20-23.
5. ТР.10.1.-00185755-13:2010 "Технологический регламент обогатительной установки (ОУ) ООО "Сав-Пласт". – Луганск: Укрнииуголеобогащение, 2010. – 187 с.
6. ТР.10.1.-00185755-020:2011 "Технологический регламент филиала "Обогатительная фабрика "Свято-Варваринская " ПрАО "ДМЗ". – Луганск: Укрнииуголеобогащение, 2011. – 181 с.
7. "Технологический регламент ОФ ООО "ПК "Донецкое угольное топливо". – Луганск: Укрнииуголеобогащение, 2006. – 203 с.

© Полулях А.Д., Полулях Д.А., 2011

*Надійшла до редколегії 28.11.2011 р.
Рекомендовано до публікації д.т.н. П.І. Піловим*