

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ ДНР
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**



**XXIII МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-
ТЕХНИЧЕСКАЯ
КОНФЕРЕНЦИЯ–СЕМИНАР
«КОМПЛЕКСНЫЕ ПРОЦЕССЫ
ОБОГАЩЕНИЯ, ПЕРЕРАБОТКИ И
ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МИНЕРАЛЬНО-
СЕРЬЕВЫХ РЕСУРСОВ»**

Сборник материалов конференции

ДОНЕЦК – 2020

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ ДНР
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

РЕСПУБЛИКАНСКАЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ
КОНФЕРЕНЦИЯ МОЛОДЫХ УЧЁНЫХ,
АСПИРАНТОВ И СТУДЕТОВ

XXIII МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ
КОНФЕРЕНЦИЯ–СЕМИНАР
«КОМПЛЕКСНЫЕ ПРОЦЕССЫ
ОБОГАЩЕНИЯ, ПЕРЕРАБОТКИ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ
МИНЕРАЛЬНО-СЕРЬЕВЫХ РЕСУРСОВ»

03 декабря 2020 г.

Сборник материалов конференции

ДОНЕЦК
2020

В сборнике помещены труды участников Республиканской научно-технической конференции молодых учёных, аспирантов и студентов XXIII международная научно-техническая конференция-семинар «Комплексные процессы обогащения, переработки и использования минерально-сырьевых ресурсов», которая проходила в г. Донецке 03 декабря 2020 г. Сборник представляет интерес для широкого круга исследователей, учёных, педагогов, специалистов, руководителей промышленных предприятий и предпринимателей, работающих в области обогащения полезных ископаемых и смежных областей.

Донецкий национальный технический университет, 2020
© Авторы статей, 2020

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
Волкова А.А., Корчевский А.Н. Анализ конструкций воздушных сепараторов.	4
Серафимова Л.И., Шаманская В.А. Анализ моделей экспресс-анализа обогатительных процессов на основе нейросетей.	12
Серафимова Л.И. Кузнецов В.А. Моделирование при проектировании и оптимизации технологии флотации.	23
Удовицкий В.И., Плотникова Л.Н, Бегунов А.А., Кандинский В.А., Чистяков А.А. Особенности применения шнековой ММД для дробления крупного угля в условиях ОФ «Черниговская».	29
Клейн М.С., Вахонина Т.Е, Леляева Г.Е. Оценка влияния интенсивности и времени перемешивания на дисперсность эмульсии при помощи лазерного анализатора «ANALYSETTE 22».	40
Клейн М.С., Вахонина Т.Е., Орлова А.Д., Васильев Л.С. Переработка угольных шламов с отстойников флотационным методом.	45
Удовицкий В.И, Плотникова Л.Н, Бегунов А.А., Кандинский В.А. Программное обеспечение поддержки принятия решений при определении рациональной технологии обогащения коксующихся углей апсатскогно месторождения.	49
Самойлик В.Г., Малюта А.В. Генетическая классификация торфов.	54
Самойлик В. Г., Новиков А.А. Анализ факторов, влияющих на процесс брикетирования.	63
Самойлик В. Г., Романько М.А. Особенности обогащения сильвинитовых руд.	67

АНАЛИЗ КОНСТРУКЦИЙ ВОЗДУШНЫХ СЕПАРАТОРОВ

Волкова А.А., студентка группы ОПИ-15 ГОУВПО «ДОННТУ».

Корчевский А.Н., зав. каф. ОПИ ГОУВПО «ДОННТУ», доцент, к.т.н.

E-mail: korcheval737@gmail.com

Аннотация. The analysis of a priori information of the design features of pneumatic separators for the beneficiation of bulk materials is carried out.

Ключевые слова: сепаратор, дека, воздух, пульсации, технология, производительность, разделение, крупность, эффективность, полезные компоненты.

Annotation. The analysis of a priori information of the design features of pneumatic separators for the beneficiation of bulk materials is carried out.

Keywords: separator, deck, air, pulsations, technology, productivity, separation, size, efficiency, useful components.

Анализ исследовательских работ в этой области позволяет выделить следующие группы машин: вибрационные, пневматические, пневмовибрационные, ферромагнитные.

На рис. 1 приведена классификация сепараторов для сухого разделения сыпучих материалов.

К пневматическим сепараторам относятся машины, разделение исходной смеси в которых происходит за счёт различной траектории движения частиц материала в воздушном потоке, в слоях постели и по деке сепаратора.

На рис. 2 изображена одна из конструкций пневматических сепараторов, разработанных в Ленинградском инженерно-строительном институте.

Из загрузочного бункера материал поступает на сито. Верхний продукт с вибросита отводится в бункер для крупной фракции. Нижний продукт, пройдя через сито, подвергается воздействию горизонтального потока воздуха, благодаря которому происходит дальнейшее разделение подрешётного материала и отвод

пылевидных частиц в циклон. Недостатком данной конструкции является необходимость соблюдения определённой толщины слоя материала на вибросите и точной регулировки скорости подачи горизонтального потока воздуха, значительный вынос пыли.

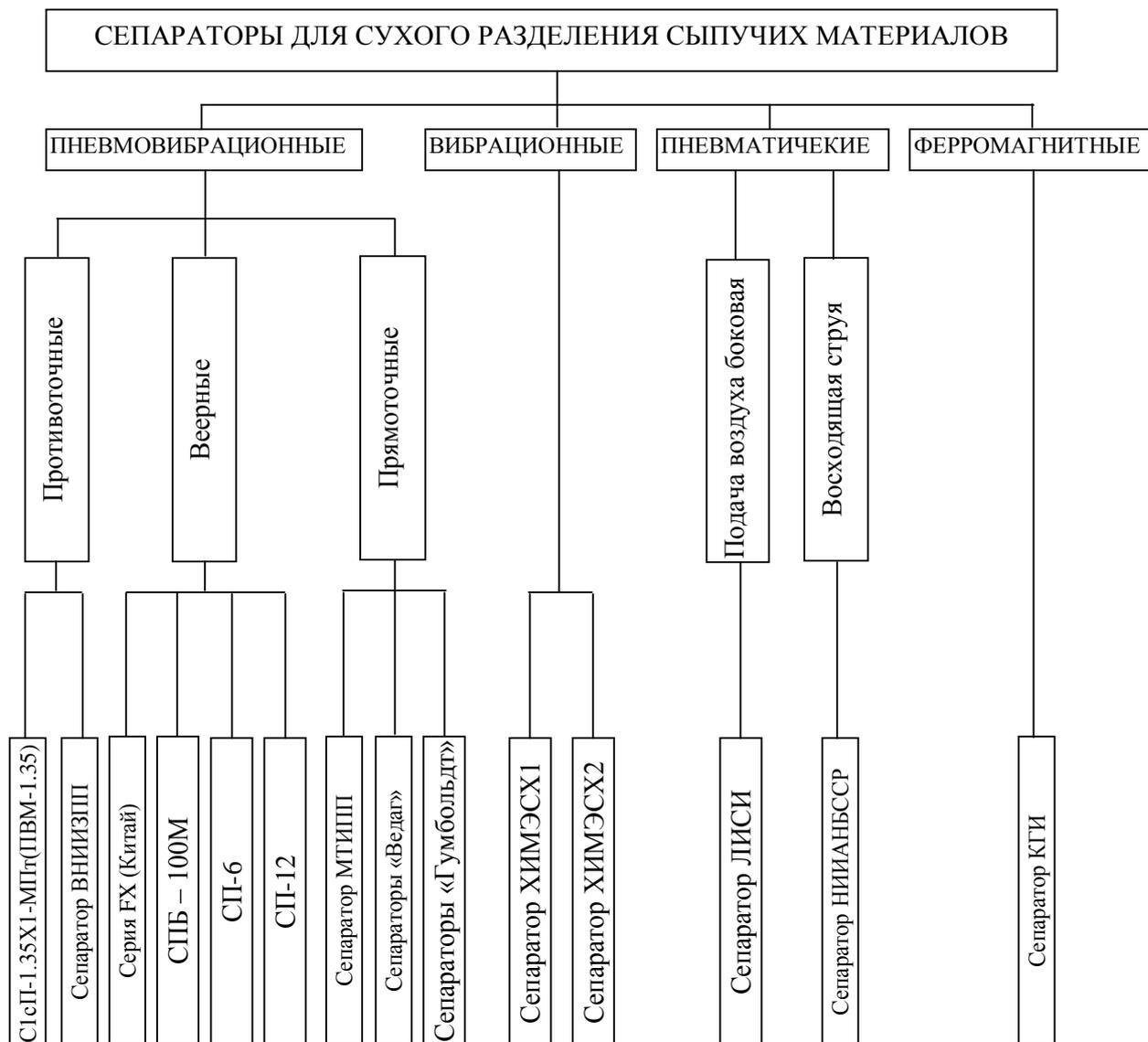


Рис. 1. Классификация сепараторов для сухого разделения

При подаче воздуха материал разделяется на два потока. Более тяжёлые частицы опускаются на нижнюю газораспределительную решётку, более лёгкие частицы прижимаются к зажимной решётке. Поскольку решётки имеют наклон, обе фракции разделяемого материала движутся в сторону соответствующих выводных каналов. Недостатком конструкции является сложность регулировки и возможность забивания разгрузочных выводных каналов.

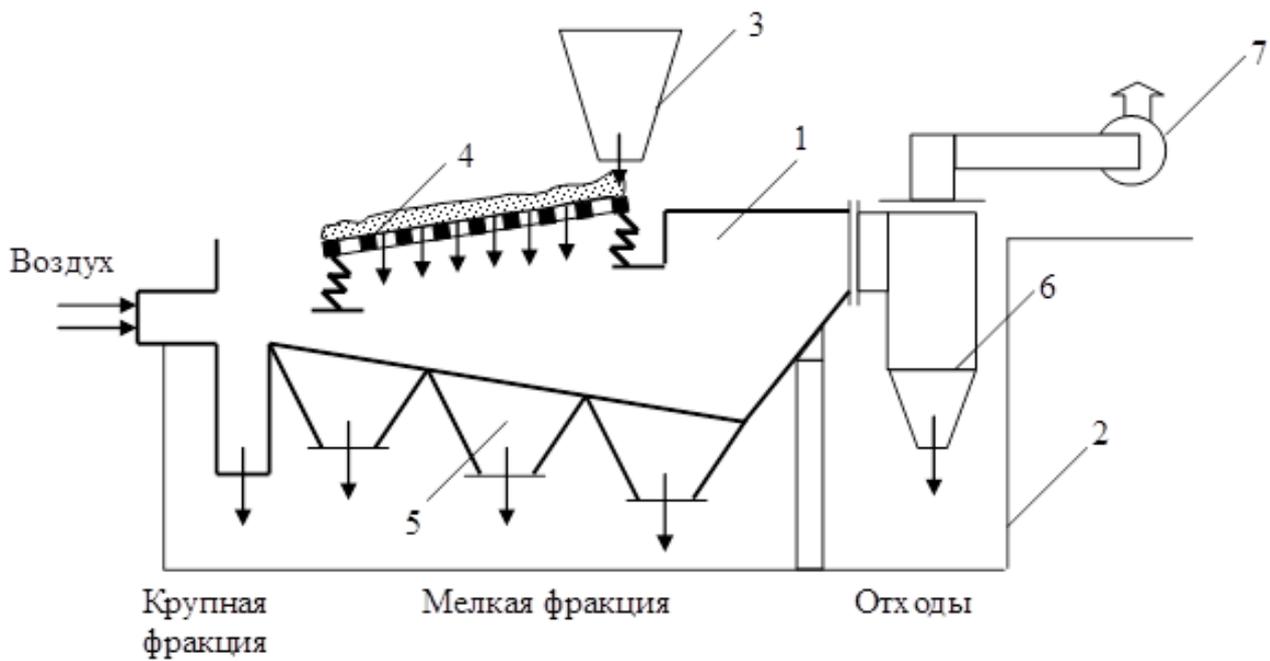


Рисунок 2. Пневматический сепаратор: 1 – камера классификации, 2 – рама, 3 – загрузочный бункер, 4 – вибросито, 5 – приёмные бункеры, 6 – циклон, 7 – вентилятор

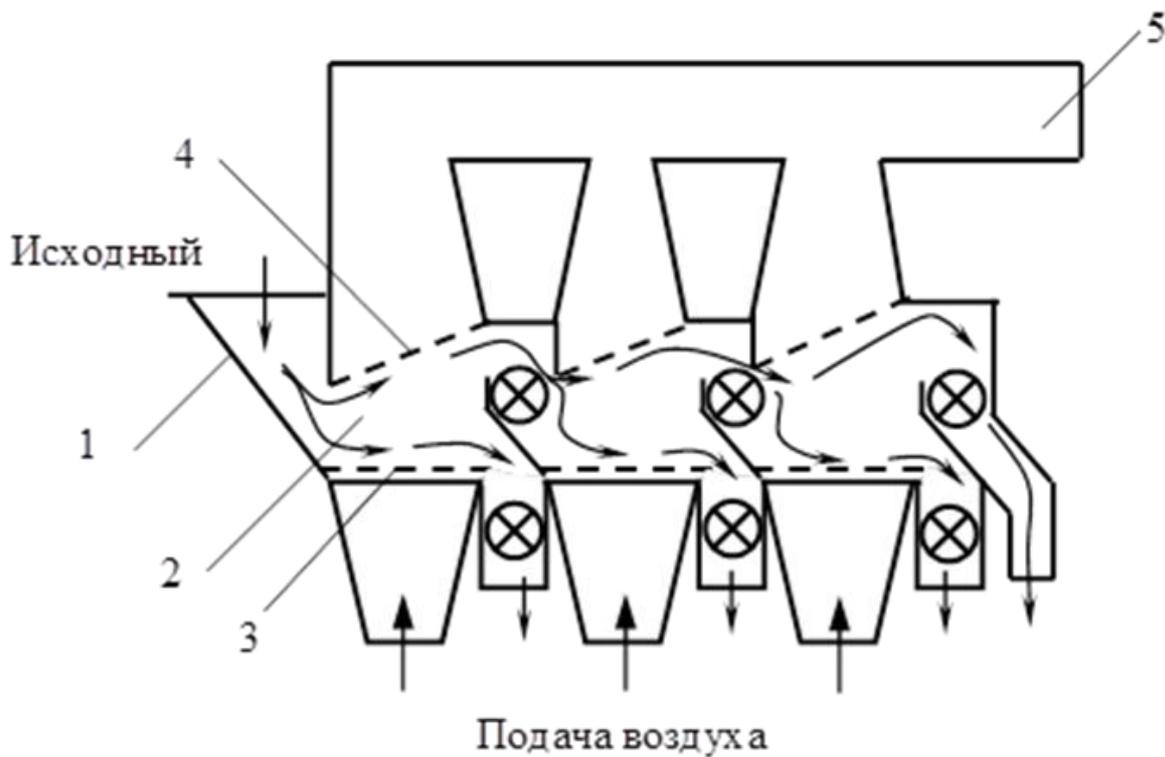


Рисунок 3. Пневматический сепаратор: 1 – бункер, 2 – разделительные камеры, 3, 4 – газораспределительные решётки, 5 – воздухопровод.

В России Московским технологическим институтом пищевой промышленности разработан пневмовибрационный сепаратор для обогащения трудно-разделяемых зерновых смесей.

В этой машине возвратно-поступательные колебания создаются с помощью инерционных возбудителей колебаний. Под действием вибрации и восходящего потока воздуха материал переходит в псевдооживленное состояние и расслаивается по высоте слоя на «тяжёлую» и «лёгкую» фракции.

К недостаткам конструкции относится низкая производительность аппарата и высокое взаимное засорение продуктов лёгкими и тяжелыми фракциями.

В настоящее время в отечественной практике обогащения полезных ископаемых нашли широкое применение сепараторы СП-12, СП-6, СПБ-10М, которые также относятся к пневмовибрационным машинам веерного типа. Общим недостатком этих конструкций является необходимость подачи на сепарацию узко классифицированного материала с низкой влажностью и ограничение производительности машин.

В зарубежной практике для сухого обогащения на современных фабриках США применяются сепараторы Super Air Flo. В европейских странах для сухого обогащения угля используются пневматические сепараторы фирм Wedag и Humboldt. Они имеют два отсадочных отделения, в которые исходный материал проходит по наклонным решетам, снизу под решетом продувается воздух. Оба отделения разделены на четыре камеры, под которыми располагаются пульсаторы и шиберы. Отсадочные решета опираются на рессоры и снабжены вибраторами с дебалансным приводом.

Существенным недостатком данных сепараторов является низкая эффективность разделения материалов вследствие засорения продуктов обогащения, обусловленное движением материала к месту разгрузки в общем потоке.

К пневматическим сепараторам с противоточным движением материала относится сепаратор, разработанный совместно Всесоюзным научно-

исследовательским институтом зерна и продуктов его переработки и Московским технологическим институтом пищевой промышленности.

На верхнем конце деки, в зоне схода минеральных примесей установлены козырьки, образующие ряд суженных каналов для выпуска минеральных примесей. По ширине каналов в их устье установлен упругий клапан, открывающийся под давлением слоя примесей определённой толщины. На нижнем конце деки, в зоне разгрузки очищенного зерна расположен экран, регулируемый по высоте винтовым приспособлением.

Исходный материал из загрузочного устройства поступает на деку. Под действием воздушного потока и вибрационных колебаний смесь разделяется на минеральные примеси и очищенное зерно, при этом минеральные примеси двигаются вверх по наклонной поверхности деки, а очищенное зерно - вниз. Благодаря наличию гофр на верхнем участке деки минеральные примеси не скапливаются, а беспрепятственно с увеличенной скоростью поступают в суженные каналы и выводятся с деки.

Недостатком указанной конструкции является низкая производительность.

На основании приведённого выше анализа существующих конструкций сепараторов для сухого разделения сыпучих материалов можно отметить следующие основные недостатки конструкций:

- низкая производительность;
- низкая эффективность разделения;
- сложность настройки и регулировки режима в процессе разделения,
- необходимость подачи питания с узкой шкалой классификации;
- высокий унос пыли;
- в ряде случаев возникает необходимость предварительного подсушивания

материала.

Проведённый обзор позволяет сделать вывод о том, что наиболее перспективным направлением является создание сепараторов с противоточным движением разделяемых материалов.

Как установлено в ходе исследований, проводившихся ранее, результаты воздушной сепарации и эффективность процесса разделения частиц определяется це-

лым рядом параметров, которые зависят как от свойств разделяемого материала, так и от свойств разделительной среды и конструкции и принципа действия применяемой машины. К основным параметрам, определяющим поведение частиц разделяемого материала, следует отнести форму и массу частиц, шероховатость их поверхности, коэффициент трения, разрыхленность слоя частиц в рабочем пространстве сепаратора. Для разделительной среды (воздуха) определяющей является скорость восходящего потока, сопротивление перемещению частиц. Анализ конструктивных параметров машин, применяемых для сухой сепарации различных материалов, и результатов разделения сыпучих материалов, известных из публикаций, позволяет считать наиболее перспективными пневмовибрационные сепараторы с противоточным движением частиц.

Из сказанного выше следует вывод о необходимости изучения кинетики взаимодействия частиц (скоростей, ускорения, траекторий и сил взаимодействия) при разделении в рабочем пространстве сепаратора. Эти исследования должны проводиться в динамике, с учетом длительности взаимодействия. Только такой подход позволяет выявить качественные и количественные характеристики этого сложного процесса. На основе новых научных результатов можно определять рациональные режимы разделения и разрабатывать конструкции машин, обеспечивающих высокие технологические показатели без потери производительности.

Таким образом, обоснована необходимость решения следующих задач:

- исследовать свойства сложного лома отходов кабельно-проводниковой продукции, содержащего цветные металлы, имеющие значение при гравитационном обогащении сухими методами;
- исследовать скорость перемещения частиц сложного лома отходов кабельно-проводниковой продукции в свободных и стесненных условиях;
- экспериментально определить аэродинамические характеристики компонентов лома кабельно-проводниковой продукции;
- разработать модель процесса вибрационно-пневматической сепарации и исследовать влияние разрыхленности слоя материала на параметры перемещения частиц;

- исследовать параметры воздушной сепарации в лабораторных и полупромышленных условиях и разработать технологические режимы разделения.

Список литературы

1. Назимко Е.И. Применение вибрационного пневматического сепаратора при переработке угольных отвалов / Е.И. Назимко, Е.Е. Гарковенко, А.Н. Корчевский // Збагачення корисних копалин: науч.-техн. сб. - №17(58) – Дн-ск: НГУ. - 2003 – С. 84-90.

2. Корчевский А.Н. Исследование свойств лома цветных металлов как объекта обогащения / А.Н. Корчевский, Е.И. Назимко, С.С. Апоначенко // Вестник Криворожского технического университета: сб. науч. трудов. – Вып.6 – Кривой Рог: КТУ. - 2007 – С. 68-71.

АНАЛИЗ МОДЕЛЕЙ ЭКСПРЕСС-АНАЛИЗА ОБОГАТИТЕЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ НА ОСНОВЕ НЕЙРОСЕТЕЙ

Шаманская В. А., студентка группы ОПИ-15 ГОУВПО «ДОННТУ».

Серафимова Л. И., доцент каф. ОПИ ГОУВПО «ДОННТУ», к.т.н., доцент.

эл. адрес: serafimova.mila@mail.ru

Аннотация

В статье рассмотрены подходы к построению моделей экспресс-анализа и прогнозирования производственных процессов обогащения минерального сырья. Особенности объекта исследования дают основания считать перспективным применение для моделирования методов нечёткой логики и нейронных сетей. Представлены основные аспекты создания моделей обогатительных процессов с использованием указанных методов.

Ключевые слова: технологический процесс, компьютерное моделирование, нечёткая логика, нейронная сеть.

Abstract. The article considers the approaches to the construction of models for express analysis and forecasting of manufacturing processes of minerals concentration. The investigation subject properties suggest that applications of fuzzy logic and neural networks methods for simulation are promising. The basic aspects of models creating by using these methods are presented.

Key words: manufacturing process, computer simulation, fuzzy logic, neural network.

Введение. Внедрение на предприятиях автоматизированных систем оперативного диспетчерского управления и сбора данных (supervisory control and data acquisition – SCADA-систем) открывает принципиально новые возможности получения эмпирической информации об обогатительных процессах. На использование данных оперативного мониторинга производственных процессов обогащения ориентирована технология их оперативного прогнозирования, основные

аспекты которой представлены в работе [1]. Технология предполагает интеграцию в действующие на промышленных предприятиях SCADA-системы специализированных средств компьютерного моделирования с целью оперативного прогнозирования технологических показателей производственного процесса. Одной из ключевых задач технологии является определение формальных связей между компонентами пространства входов и компонентами пространства выходов процесса [2]. Решение данной задачи осложняется многомерностью и гетерогенностью этих пространств. Вместе с этим, большие объемы данных мониторинга параметров производственных процессов, предоставляемые SCADA-системами, дают основания считать, что положительные результаты могут быть получены в результате применения методов Data Mining [3], позволяющим не только выявить неявные взаимосвязи в данных, но и существенно снизить размерность задачи. Перспективным, также, может быть применение в рамках рассматриваемой технологии методов нечёткой логики и нейронных сетей [5] для построения моделей экспресс-анализа и прогнозирования параметров производственного процесса по данным текущего мониторинга.

Способности нейронных сетей к прогнозированию напрямую следуют из их способности к обобщению и выделению скрытых зависимостей между входными и выходными данными.

После обучения сеть способна предсказать будущее значение некой последовательности на основе нескольких предыдущих значений и/или каких-то существующих в настоящий момент факторов.

Схема применение аппарата нечёткой логики для построения моделей процессов обогащения

Далеко не все связи между входными сигналами и выходами могут определяться в виде классических передаточных функций $W(p)$. Это обусловлено размерностью задачи и степенью изученности исследуемого объекта. Зная о наличии некоторого параметра (фактора) не всегда удаётся его измерить или оценить достаточно точно. Однако если предполагается его значимое влияние на динамику процесса, данный параметр должен быть включен в рассмотрение. При не-

возможности точной (количественной) оценки параметру может быть задана нечёткая (лингвистическая) оценка.

В работе [2] предложен вариант формального представления многоэтапного технологического процесса обогащения (рис. 1).

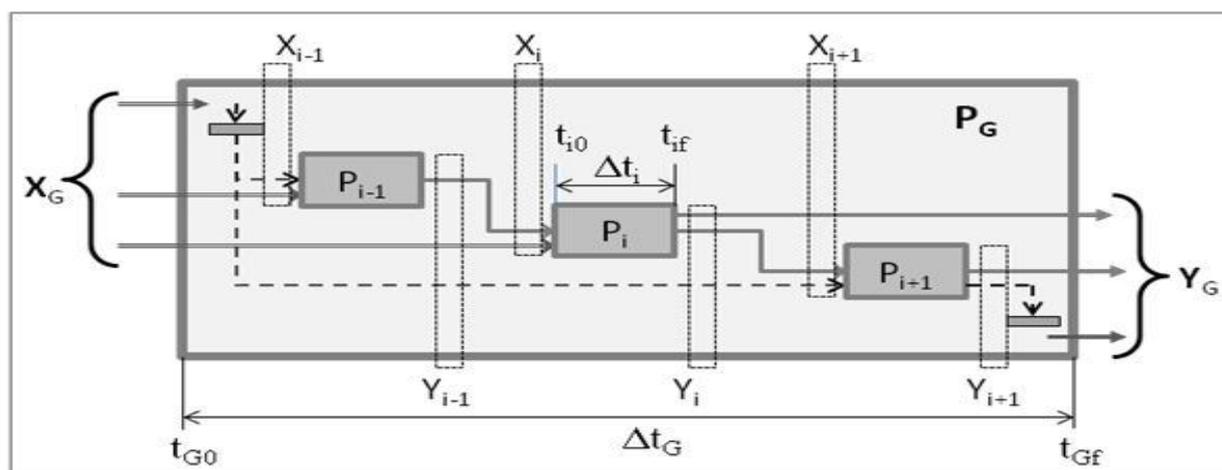


Рис. 1. Схема формального представления многоэтапного технологического процесса

На схеме использованы следующие обозначения:

P_i – аппарат или этап технологической схемы P_G ;

X – множество входных воздействий, влияющих на объект управления. В данное множество в качестве элементов включаются как внешние входы P_G , так входы отдельных аппаратов P_i . Входами могут быть как контролируемые воздействия (управление), так и неуправляемые воздействия (возмущения). Возмущения в некоторых случаях измеримы, а в других нет, и могут быть оценены лишь в словесной форме (большое, маленькое и т.д.);

Y – множество выходов, которое, аналогично множеству X , объединяет выходы всей схемы P_G и выходы отдельных аппаратов P_i . Все выходы считаются потенциально контролируемыми, хотя на практике, как правило, контролируется только часть из них.

Априорно принятым положением реализуемого подхода к разработке технологии оперативного прогнозирования обогатительных процессов является нали-

чие неявного взаимного влияния технологических параметров процесса на характеристики продуктов разделения. Поэтому анализ начинается с рассмотрения ситуации, когда предполагается значимое влияние не только характеристик исходного сырья, но и всех технологических параметров на характеристики выходов процесса. Модель процесса представляется в виде направленного графа, узлами которого являются параметры, а дуги обозначают их влияние друг на друга. Подобное представление технологического процесса является неким подобием нейросети, в узлах которой находятся функции, осуществляющие преобразование сигналов. При этом часть функций представляется в виде «классических» передаточных функций $W(p)$, а часть – в виде «нечетких передаточных функций». Важной особенностью «нечетких передаточных функций» является их способность не только преобразовывать сигналы, но и осуществлять настройку передаточных функций узлов описанных с помощью $W(p)$. Данная особенность реализует свойство адаптивности модели, которое является весьма полезным с учетом динамичности свойств процесса.

Для реализации нечетких передаточных функций для соответствующих параметров вводятся нечеткие функции принадлежности (ФП). Начальная картина функций принадлежности формируется путем разбиения наблюдаемого (или - теоретического) интервала варибельности параметра на конечное число не-больших отрезков и сопоставление каждому из них нечеткой ФП. Следует отметить, что использование большого количества нечетких ФП может сильно замедлить процесс вычисления. Поэтому изначально заданные интервалы разбиения диапазонов варьирования параметров следует, по возможности, укрупнить для снижения размерности задачи. Наличие больших объемов данных мониторинга обогатительного процесса позволяет установить соответствие между большинством интервалов значений выходного параметра и интервалами значений входов, при которых получен данный выход. Сокращение числа интервалов может осуществляться как на основе анализа имеющихся данных мониторинга, так и на основе экспертных рекомендаций. Формирование базы и верификация

лингвистических правил отображения комбинаций нечетких значений входов в значения выходов также формируется с использованием данных мониторинга.

В режиме прогнозирования в модель подается вектор, определяющий текущую ситуацию, который фазифицируется и передается на обработку системе правил. Результаты нечеткого вывода дефазифицируются, в результате чего определяются значения вектора выходов. Существует несколько алгоритмов осуществления операции фазификации и заполнения базы знаний. Однако вопрос выбора формы ФП в литературных источниках практически не освещен. В качестве перспективного подхода к обоснованию выбора формы ФП планируется реализовать алгоритмы оценки скорости и ускорения (т.е. 1-й и 2-й производных) изменения значений параметров технологического процесса обогащения.

Разработка модели технологического процесса на основе использования нейросетей

Нейронные сети успешно применяются для синтеза систем управления динамическими объектами [5]. Нейросети обладают рядом свойств, которые определяют перспективность их использования в качестве аналитического аппарата систем управления. В контексте рассматриваемой задачи это, прежде всего, способность к обучению на примерах. Наличие больших объемов данных мониторинга, в которых представлены взаимосвязанные измерения и входов, и выходов исследуемой системы, позволяет обеспечить нейросеть репрезентативными обучающими выборками. Другими важными свойствами является способность нейросети адаптироваться к изменению свойств объекта управления и внешней среды, а также высокая устойчивость к «сбоям» отдельных элементов сети в силу изначально заложенного в ее архитектуру параллелизма. Способности нейронной сети к прогнозированию напрямую следуют из ее способности к обобщению и выделению скрытых зависимостей между входными и выходными данными. После обучения сеть способна «предсказать» будущие значения выходов на основе нескольких предыдущих значений и текущих данных мониторинга.

В рамках проводимых исследований наиболее перспективным представляется использование сетей встречного распространения. Сети данного типа имеют, в общем случае, существенно меньшее время обучения, чем сети обратного распространения. Поэтому такая сеть может более оперативно отреагировать на изменения условий протекания процесса обогащения, связанные с флуктуациями характеристик исходного сырья, технологических параметров или износом оборудования. В нейросети встречного распространения объединены два хорошо известных алгоритма: самоорганизующаяся карта Кохонена [6] и звезда Гроссберга [7]. Их объединение приводит к росту «обобщающих» способностей сети и позволяет получать правильный выход даже при неполных или незначительно искаженных входных данных

Анализ возможностей использования нейронных сетей для создания моделей экспересс-анализа производственных процессов обогащения проводился на примере процесса флотационного обогащения апатитонелефелиновых руд, реализуемого на обогатительной фабрике АНОФ-2 ОАО «Апатит» с результате анализа технологической схемы флотационного отделения, учетом полученных ранее результатов исследования и уже принятыми в рамках данного проекта концептуальными принципами технологии моделирования производственных процессов обогащения минеральных руд была определена структура нейросетевой модели. Используемые в модели параметры классифицированы на три группы: контрольные показатели, управляющие параметры и индикаторы. К контрольным показателям относятся характеристики входных и выходных продуктов технологической схемы. В модели рассматривается 15 контрольных параметров. К управляющим относятся те параметры, на которые можно воздействовать с целью изменения условий реализации обогатительного процесса и, как следствие, значений контрольных показателей.

В качестве управляющих параметров в модели рассматривались уровни пульпы, расход воздуха и собирателя во флотомашинах ОК-38, а также уровень, расход воздуха в азратор и расход промывной воды в колонной флотомашине и др. Общее число задействованных в модели управляющих параметров - 30. К

индикативным относятся те параметры, на которые нельзя повлиять, но которые свидетельствуют об изменениях контрольных показателей. К ним относятся: плотность слива, плотность пульпы в линии циркуляции, температура в пульпо-делителе, уровень рН в контактном чане и др. Всего рассматривалось 27 индикативных параметров.

Созданная модель представляет собой стандартную трехслойную (0÷2) нейросеть встречного распространения. Нейроны слоя 0 служат точками разветвления и не выполняют вычислений. Каждый нейрон 0-го слоя связан с каждым нейроном слоя 1 (слой Кохонена). Аналогично, нейроны слоя 1 связаны с нейронами слоя 2 (слой Гроссберга). С каждой связью ассоциирован собственный вес. Веса w_i связей слоев 0 и 1 образуют матрицу весов W , а веса V_j связей нейронов слоев 1 и 2 – матрицу весов V . Настройка значений весов производится в режиме обучения сети, когда в модель подаются априорно известные вектора входов X и выходов Y (рис. 1). В режиме прогнозирования в модель подается формируемый на основе текущих данных мониторинга входной вектор X , а выходной вектор Y генерируется сетью.

Выход каждого нейрона слоя является просто суммой взвешенных входов. В результате сравнительной оценки взвешенных сумм входов нейронов Кохонена определяется «победитель» – нейрон, для которого это значение максимально. Выходу данного нейрона присваивается значение «1», а выходам остальных нейронов слоя Кохонена – «0». Слой Гроссберга функционирует по аналогичной схеме – его выходы определяются взвешенной суммой соответствующих входов от слоя Кохонена. Но, так как только у одного нейрона слоя Кохонена на выходе устанавливается значение «1», то фактически каждый нейрон слоя Гроссберга лишь выдает величину веса, который связывает этот нейрон с единственным ненулевым нейроном Кохонена. По сути, слой Кохонена классифицирует входные векторы в сходные группы, обеспечивая, тем самым, определение областей многомерного пространства входов, отображающихся в малую окрестность одной и той же «точки» пространства выходов. Это достигается с помощью настройки весов слоя Кохонена, обеспечивающей активацию одного и

того же нейрона данного слоя соответствующими векторами входов. Перед началом обучения всем весам сети присваиваются некоторые случайные значения. В процессе обучения весовые векторы изменяются, «отслеживая» небольшую группу входных векторов. Обучение заканчивается, когда на выходе нейросети формируется требуемая картина выходов. Обучение слоя Гроссберга осуществляется путем корректировки лишь тех весов, которые ассоциированы с нейроном Кохонена, имеющим ненулевой выход. Величина коррекции веса пропорциональна разности между весом и требуемым выходом нейрона Гроссберга, с которым он соединен.

Использование нейросетевой модели предполагает априорную классификацию состояний системы (обогачительного процесса) на конечное число вариантов. С каждым состоянием, при котором имеет место нарушение регламентных характеристик процесса, связан набор корректирующих воздействий, предполагающих конкретные изменения управляющих параметров. Для классификации могут быть использованы как экспертные оценки, так и формальные методы классификации из категории методов Data Mining, например – факторный и кластерный анализ. В качестве основного критерия классификации используются значения выходных векторов Y . Для определения текущего состояния процесса производится сравнение выхода нейросетевой модели и хранимых в информационной базе системы векторов, определяющих выделенные состояния обогачительного процесса. Если в базе указано, что идентифицированному состоянию соответствует нарушение регламентных характеристик, то система извлекает из базы рекомендации по корректировке состояния. При наличии соответствующего исполнительного механизма запуск на выполнение корректирующих воздействий может быть автоматизирован.

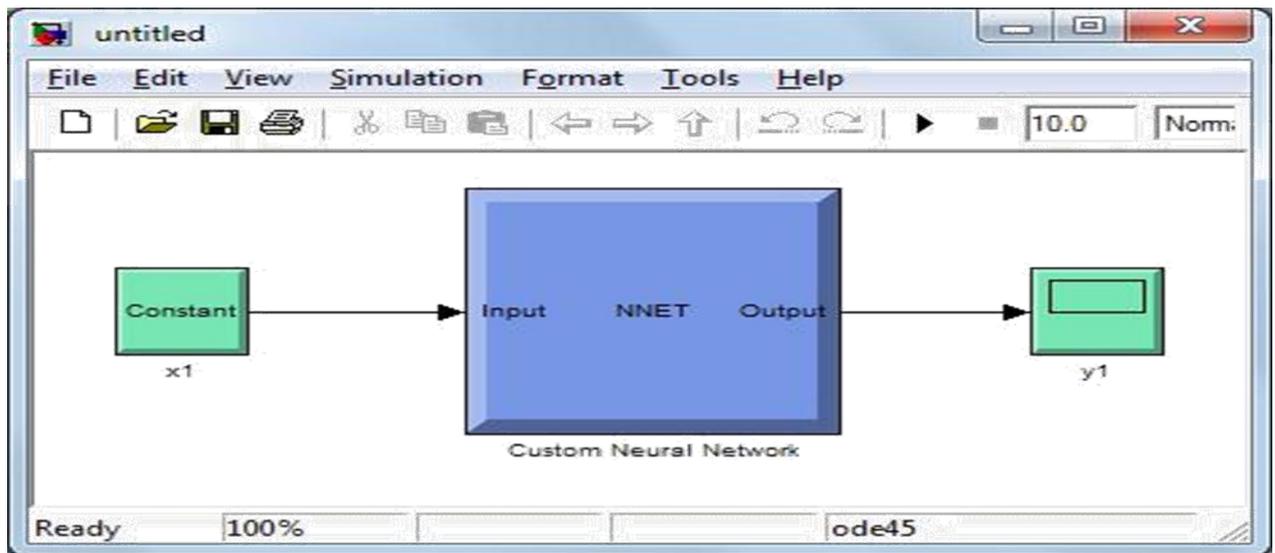


Рис. 2. Укрупнённый вид нейросетевой модели в среде Matlab

Разработанная нейросетевая модель процесса флотации была реализована и исследована в среде Matlab [8]. На рис. 2 показан общий вид нейросетевой модели, а на рис. 3 представлен фрагмент внутренней структуры элемента блока Custom Neural Network.

На вход каждого из элементов нейросети подаются все контролируемые входные параметры. Весовые коэффициенты подбирались в процессе автоматического обучения на заранее заданных выборках реальных данных, полученных SCADA-системой в результате мониторинга производственного процесса. В ходе серии вычислительных экспериментов модель была настроена на обеспечение синтеза выходных векторов, соответствующих контрольной выборке данных реального производственного процесса.

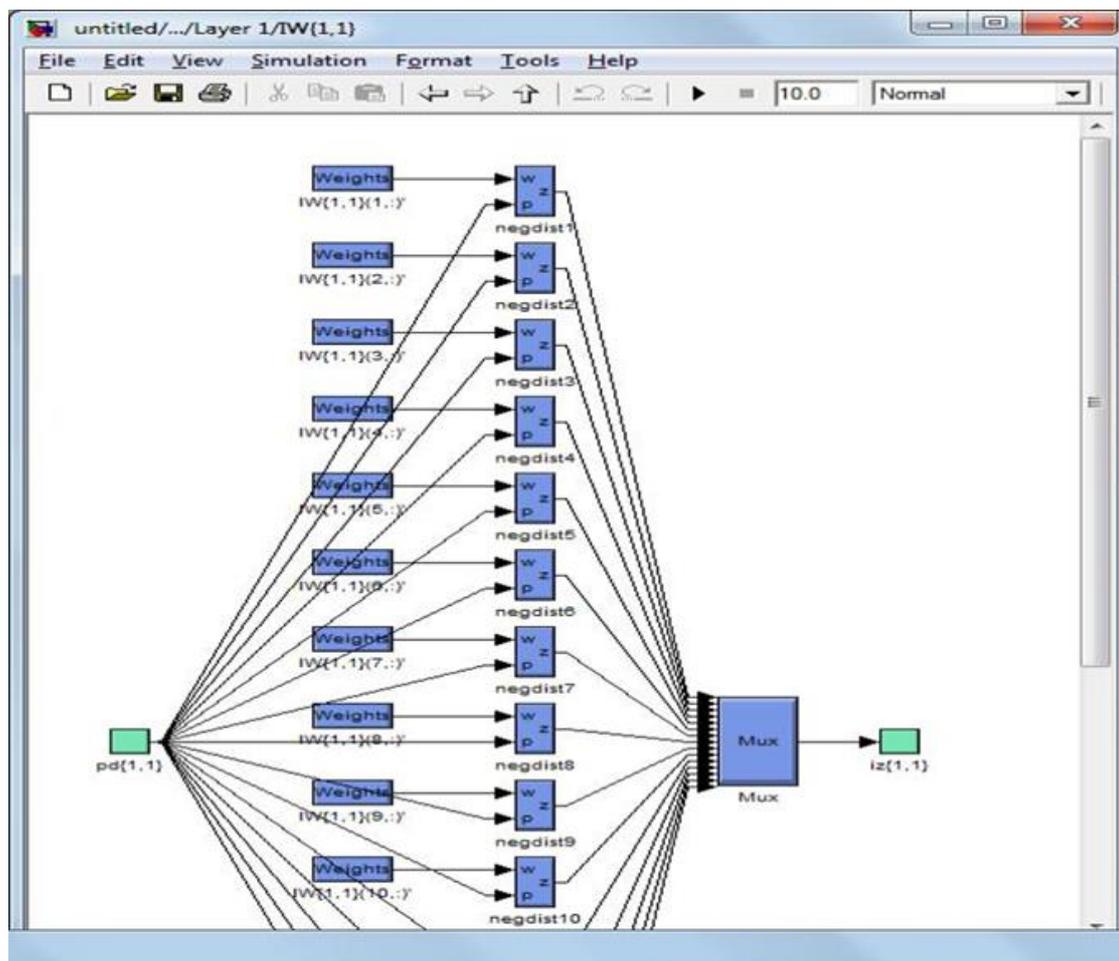


Рис. 3. Структура элемента блока Custom Neural Network

Заключение

Большие объёмы данных, получаемые в результате функционирования SCADA-систем, обеспечивает возможность создания и практического применения моделей экспресс-анализа и прогнозирования производственных процессов обогащения минерального сырья. Принимая во внимание многомерность задач, гетерогенность параметров и наличие существенной неопределённости в зависимостях между параметрами реальных производственных процессов, для построения моделей предлагается использовать методы Data Mining, нечёткой логики и нейронных сетей. На основе указанных математических методов созданы и протестированы на реальных данных мониторинга модели экспресс-анализа обогатительных схем, используемых на ОАО «Апатит». Доказано, что созданные модели позволяют получить результаты, адекватные задачам оперативного

управления производственными процессами. Наиболее рациональным для прогнозирования многостадийных обогатительных схем представляется вариант комбинированных решений, предполагающий совместное использование моделей различных типов для различных состояний обогатительного процесса или различных компонентов (аппаратов) обогатительной схемы.

Список литературы

1. Олейник, А.Г. Информационная технология поддержки оперативного управления процессами обогащения руд /А.Г. Олейник // Фундаментальные и прикладные исследования, разработка и применение высоких технологий в промышленности и экономике: сборник статей Четырнадцатой международной научно-практ. конф., 4-5 декабря 2012 г., г. С-Петербург / под ред. А.П. Кудинова. – СПб.: Изд-во Политехн. Ун-та, 2012. -Т.2. – С.84-86

2. Олейник, А.Г. Схема оперативного прогнозирования производственных процессов обогащения руд / А.Г. Олейник, Л.П. Ковалева // Труды Кольского научного центра РАН. Информационные технологии. – Апатиты: Изд-во КНЦ РАН. - 4/2011(7). -Вып. 2. - С.211-219.

3. Чубукова, И. А. Data Mining: учебное пособие /И.А. Чубукова. - 2-е изд.,испр. - М.: Интернет-Университет Информационных Технологий; БИНОМ.Лаборатория знаний, 2008. - 382 с.

4. Тэрано, Т. Прикладные нечёткие системы / Т. Тэрано, К. Асаи, М. Сугэно.- М.: Мир, 1993. - 368 с.

5. Чернодуб, А.Н. Обзор методов нейруправления / А.Н. Чернодуб, Д.А. Дзюба // Проблемы программирования. -2011.-№ 2. - С.79 -94.

6. Kohonen, T. Self-organization and associative memory /Т. Kohonen // 2d ed. - New-York, Springer-Verlag, 1988. - 312 p.

7. Grossberg, S. Some networks that can learn, remember and reproduce any number of complicated space-time patterns /S. Grossberg // Journal of Mathematics and Mechanics, 1969. -Vol. 19, № 1, - P.53-91.

8. MathWorks. - Режим доступа: <http://www.mathworks.com>

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ И ОПТИМИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИИ ФЛОТАЦИИ

Кузнецов В. А., студент группы ОПИ-15, ГОУВПО «ДОННТУ».

Серафимова Л. И., доцент каф. ОПИ ГОУВПО «ДОННТУ», к.т.н., доцент.

эл. адрес: serafimova.mila@mail.ru

Аннотация. Программные модели технологических схем флотационных комплексов позволяют эффективно анализировать работу действующих контуров, оптимизировать технологические режимы и оценивать различные варианты изменения технологических схем.

Ключевые слова: флотирuemость, минералы, пробоотбор, инженерное моделирование, флотации фабрики.

Abstract. Program models of technological processes of flotation complexes effectively analyze the operation of circuits, optimize technological modes and evaluate various options for changing technological ones.

Keywords: flotation, minerals, sampling, engineering modeling, plant flotation.

Программные модели оборудования обогатительных фабрик являются необходимым инструментом проектирования новых комплексов, а также оптимизации работы и оценки технико-экономических показателей действующих предприятий. Практическая реализация инструментов инженерного моделирования основана на экспериментальных данных, полученных в ходе лабораторных опытов, а также на данных исследований проб и анализа эксплуатационных параметров действующих предприятий.

В статье мы коротко рассмотрим подходы к моделированию флотационных комплексов на примере линии основной флотации фабрики Buenavista del Cobre II корпорации Grupo Mexico.

Кинетическая модель флотации на основе данных испытаний.

В кинетической модели флотации извлечение минералов рассчитывается на основе времени пребывания во флотокамере и констант скорости флотации частиц. Например, программное обеспечение моделирования технологических схем Outotec HSC Chemistry® Sim использует уникальную методику моделирования на основе свойств, в которой твердые частицы сырьевого материала, содержащего минералы, всегда моделируются как частицы, которые имеют такие свойства, как крупность фракции, плотность твердых частиц, флотируемость и т.д. Таким образом, материал в модели соответствует реальным потокам пульпы, а химический состав рассчитывается на основе частиц и их минерального состава.

Параметры кинетической модели флотации рассчитываются по данным непрерывного пробоотбора на предприятии или испытаний на лабораторных установках. На рисунке 1 показана лабораторная флотомашина периодического действия Outotec GTK LabCell.



Рис.1. Лабораторная флотомашина Outotec GTK LabCell™

Она имеет регулируемую подачу воздуха и скорость вращения импеллера, оборудована механизмом автоматического пеносъёма.

В результате кинетических испытаний на флотационной установке периодического действия получены данные общего извлечения анализируемых элементов по времени (рис. 2).

Далее извлечения элементов были преобразованы в извлечения минералов. Данное преобразование позволяет произвести расчет кинетики пустой породы и рассчитать общее массовое извлечение из извлечений минералов. На основе общих кинетических данных выполняется подгонка модели для формирования уравнений, основанных на кинетических константах скорости флотации $k \text{ min}^{-1}$. Программное обеспечение HSC Chemistry® включает инструменты для преобразования извлечений элементов в извлечения минералов и подгонки кинетических моделей.

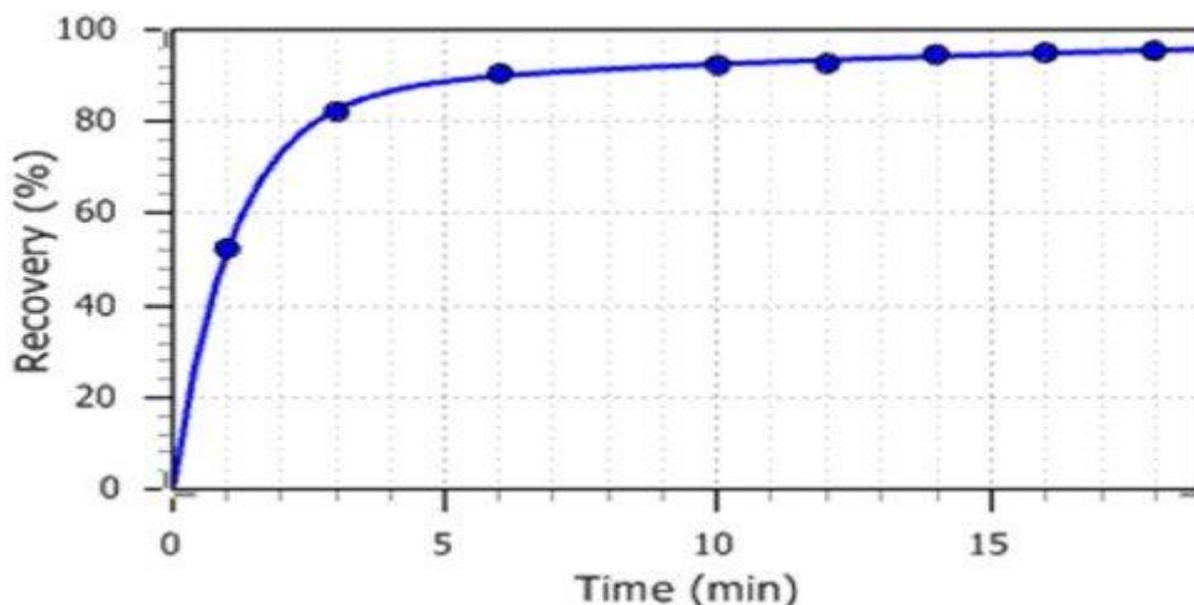


Рис. 2. Результаты испытаний кинетики флотации на установке периодического действия с использованием проб линии основной флотации фабрики

Buenavista del Cobre II: общее извлечение халькопирита (точки) и кинетическое уравнение извлечения (линия), полученное путем подгонки модели.

Масштабирование модели флотации и результаты моделирования.

Модели установок непрерывного действия, основанные на кинетических уравнениях извлечения, полученных подгонкой моделей по данным испытаний на флотационных установках периодического действия, зачастую необходимо масштабировать. Программа моделирования HSC Sim автоматически рассчитывает время пребывания во флотомашинах на основе смоделированных объемных расходов и заданных размеров флотокамер. В программе моделирования технологической схемы флотационного комплекса моделируется извлечение в каждой флотокамере непрерывного действия с использованием параметров кинетики минералов, полученных при испытаниях на установке периодического действия, с применением коэффициентов масштабирования. Коэффициент масштабирования рассчитывается как отношение времени пребывания в установке непрерывного действия ко времени пребывания в установке периодического действия для достижения равного целевого извлечения. Кроме того, программная модель может учитывать извлечение в пену, а также различные параметры работы флотомашин, такие как мощность пены, скорость подачи воздуха, объем удерживаемого воздуха и размер пузырьков воздуха.

На рисунке 3 показано содержание меди и извлечение по результатам анализа проб линии основной флотации фабрики Buenavista del Cobre II по сравнению с расчётными значениями программной модели HSC Sim. Модель была построена на основе испытаний на лабораторной установке периодического действия (рис. 2) и откалибрована с помощью коэффициента масштабирования и параметров извлечения в пену для каждой флотокамеры. Таким образом, может быть достигнута очень высокая точность моделирования работы действующей флотационной установки (рис. 3).

Если при моделировании использовался бы только коэффициент масштабирования (без установки параметров извлечения в пену) и была допущена ошибка коэффициента масштабирования $\pm 20\%$, результирующая относительная погрешность моделирования составила бы для общего извлечения основной флотации 2% (1,9 процентного пункта) и для содержания металла менее 7% (1,1 процентного пункта). Таким образом, при таких параметрах программная модель показала хорошие и устойчивые результаты.

При проектировании новых комплексов используются модели флотации, основанные, как правило, на кинетических лабораторных испытаниях, как стадии основной флотации, так и стадии перечистки.

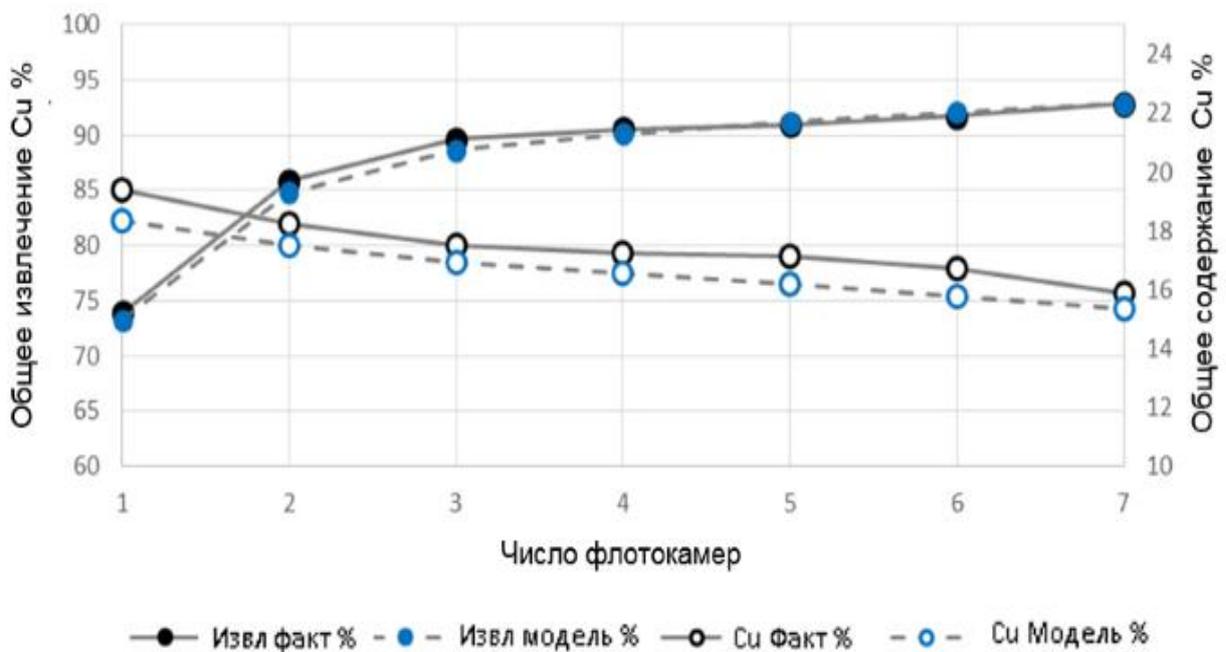


Рис. 3. Общее содержание меди и извлечение по результатам моделирования и измерений на линии основной флотации фабрики Buenavista del Cobre II.

Также широко применяются лабораторные испытания на закрытом контуре с замкнутым циклом и пилотных установках для подгонки и калибровки программной модели устройства установки. Помимо типоразмеров оборудования программные модели позволяют исследовать зависимость содержания и извле-

чения от различных составов питания и производительности оборудования при различных параметрах работы флотокамер. Также имеется возможность анализировать и конструировать различные варианты технологических схем.

Выводы

Программные модели технологических схем флотационных комплексов позволяют эффективно анализировать работу действующих контуров, оптимизировать технологические режимы и оценивать различные варианты изменения технологических схем. При проектировании новой флотационного комплекса программные модели могут использоваться для конструирования технологической схемы контура и подбора типоразмеров флотокамер. В обоих случаях используются модели, основанные на экспериментальных данных по кинетике флотации минералов. Программный модуль Outotec HSC Chemistry[®] 9 Sim включает инструменты высшего класса для подгонки моделей извлечения под данные испытаний и моделирования полномасштабных флотационных комплексов.

Список литературы

1. Математическое моделирование процессов обезвоживания обогащенного минерального сырья: монография / В. Н. Павлыш [и др.]. - Донецк: ВИК, 2014.

2. Моделирование обогатительных процессов [Электронный ресурс] учебно-методическое пособие: для студентов, обучающихся по направлению подготовки 21.05.04- "Горное дело", специализация- "Обогащение полезных ископаемых" / ФГБОУ ВПО "Северо-Кавказ. горно-металлург. ин-т (Гос. технол. ун-т)", Каф. обогащения полезн. ископаемых; сост.: Р.Н. Максимов и др. - 584 Кб. - Владикавказ: Терек, 2018. - 1 файл. - Систем. требования: Просмотрщик djvu-файлов.

3. Моделирование физических процессов в горном производстве: учебное пособие для студентов, обучающихся по специальности 21.05.04 "Горное дело" /

С. В. Борщевский [и др.]; ГОУ ВПО "ДонНТУ". Донецк: Цифровая типография, 2016.

4. Информационно-издательский центр по геологии и недропользованию Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации - ООО "ГЕОИНФОРММАРК"- <http://www.geoinform.ru/> 2000.

5. Базы данных с полнотекстовыми публикациями в научных периодических изданиях EBSCO – <http://www.ebscohost.com/> 2018.

6. Чантурия В.А. Современные проблемы обогащения минерального сырья в России // Горный журнал. – 2005. – № 12.

7. Чантурия В.А. Развитие горных наук и проблемы комплексного освоения недр Земли // Горный журнал. – 2007. – № 10.

**ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ШНЕКОВОЙ ДРОБИЛКИ MMD
ДЛЯ ДРОБЛЕНИЯ КРУПНОГО УГЛЯ В УСЛОВИЯХ
ОФ ЧЕРНИГОВСКАЯ-КОКСОВАЯ**

Чистяков А.А., студент гр. ОПс-151, VI курс,

Кандинский В.А., аспирант гр. ОПа-201,

Бегунов А.А., аспирант гр. ОПаз-161,

Плотникова Л.Н., аспирант гр. ОПаз-161,

Удовицкий В.И., зав. кафедрой ОПИ, проф., д.т.н., +79095118833,
uvi@kuzstu.ru ГБОУВО КузГТУ, г. Кемерово, РФ

Аннотация. Рассмотрены принципы действия агрегата как дробильного, так и сортировочного комплекса, представлены технические характеристики и защита дробилки от поломок.

Ключевые слова: зубчатый ротор, вращение, дробилка, способы дробления, грохот.

Abstract. The principles of operation of both crushing and screening complex are considered, technical characteristics and protection of the crusher from breakages are presented.

Keywords: toothed rotor, rotation, crusher, crushing methods.

Введение. Шнековые дробилки выпускает компания MiningMachinery Developments (MMD), созданная в 1978 г.

Двухвалковые шнековые дробилки применяются в подготовительных процессах угольной и цементной промышленности, производстве керамики, энергетике, на рудных обогатительных фабриках.

Базовая концепция, применяемая в дробилках MMD, это использование зубчатых сегментов, установленных на двух роторах, вращаемых с малой скоро-

стью приводной системой дробилки. Особенностью конструкции дробилки является дробление и грохочение материала за счет спирального расположения зубьев (рис. 1) [1].



Рис. 1. Спиральное расположение зубьев в дробилках MMD

Способы дробления и виды напряжения, создаваемые в дробилках MMD.

Под способом дробления понимается вид воздействия разрушающей силы на куски дробимого материала. Известны четыре основных способа дробления: раздавливание, раскалывание, истирание и удар [2].

Во всех типах дробилок наблюдаются перечисленные способы дробления, но всегда существует основной способ, для реализации которого сконструирована данная машина.

В работах [2, 3] представлены результаты исследований относительной прочности (%) горных пород при разных видах напряжений (таблицу 1).

Таблица 1. Результаты исследования прочности горных пород

Горные породы	Сжатие	Сдвиг	Изгиб	Растяжение
Граниты	100	0	8	2-4
Песчаники	100	10-12	6-20	2-5
Известняки	100	15	8-10	4-10

В машинах MMD дробимый материал вначале захватывается внутренней поверхностью зубьев, сдавливающих крупный кусок, создавая в нем напряжения для выявления и усиления любых естественных структурных недостатков. Так в

дробилке используется один из основных способов дробления – *раздавливание* (рис. 2 а). Трещиноватость уменьшает сопротивление кусков разрушению.

Дальнейшее разрушение крупных кусков материала проходит ближе к валам роторов, где трехстороннее воздействие нагрузки приводит к возрастанию напряжения растяжения в породе. Трехточечная нагрузка возникает между дробящей поверхностью зуба одного из сегментов и поверхностью двух противостоящих зубьев второго ротора. В силу того, что прочность на разрыв большинства материалов составляет, примерно, от 2 до 10% (см. таблицу) от устойчивости к сжатию, значительно снижается потребляемая мощность на процесс дробления. В конструкции дробилки используется низкое сопротивление горных пород *изгибу и растяжению* (рис. 2 б).

Установка бруса ниже осевой линии валов и спиральный принцип расположения зубчатых сегментов на валах позволяет кускам породы попадать в отверстия, образованные между валами и зубьями, подвергаясь дроблению. И, кроме того, это позволяет использовать более низкий предел прочности материала на *растяжение*. Брус, формирующий гребень, можно располагать выше или ниже, изменяя размер крупности дробленого продукта (рис. 2 в).



а) сжатие



б) растяжение



в) изгиб и
растяжение

Рис. 2. Виды напряжения, создаваемые в дробилках MMD

Процесс грохочения в дробилках MMD.

Принцип спирального расположения зубьев (рис. 1) заставляет двигаться более крупные куски к противоположному концу дробилки относительно места загрузки и помогает распределять поступающий материал по всей длине рото-

ров. Это свойство использовано для удаления из дробилки кусков материала, превышающих допустимые размеры, и создания эффекта грохочения, аналогичного валковым грохотам (рис. 3).



Рис. 3. Процесс грохочения в дробилках MMD

Зубчатые роторы (рисунки 1, 3 и 4) позволяют свободно просеиваться мелкому классу через постоянно изменяющиеся размеры щелей. Материал из частиц малого размера, подающийся в дробилку или полученный на первой и второй стадиях дробления, проходит сквозь щели между зубьями и валами за счет собственной силы тяжести и постоянному встряхиванию, вызываемому вращающимися валами.

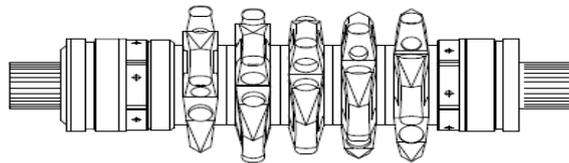


Рис. 4. Вал дробилки с зубчатыми кольцами

Прохождение исходного материала по всей длине вращающихся зубчатых валов позволяет выгружать на ленту конвейера сначала мелкую частицы, а затем – крупные. Это формирует уплотняющий слой над пылью и мелким материалом, сокращая пылеобразование. Кроме того, мелкий класс служит подушкой и предохраняет от повреждений ленту конвейера падающими крупными кусками.

Характеристики дробилок MMD

Модели дробилок MMD различаются:

1. Расстоянием между центрами валов роторов, мм, являющимся главной характеристикой дробилки. Часто расстояние соответствует номеру серии, т.е. у дробилки 500 серии межцентровое расстояние равно 500 мм. Это расстояние в сочетании с формой зубьев и конфигурацией позволяет контролировать максимальный размер входящего материала, который установка может раздробить (рис. 5).

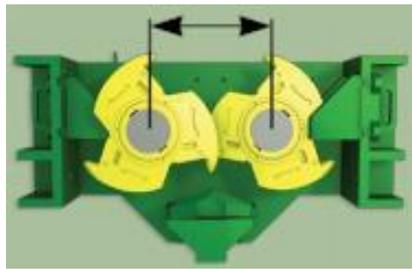


Рис. 5. Межцентровое расстояние

2. Формами зубьев, одна из которых представлена на рис. 6.

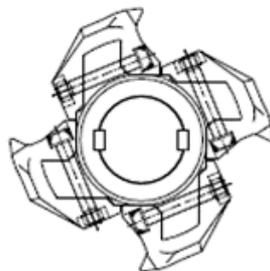


Рис. 6. Форма зубьев

3. Эффективной длиной открытой входной части дробилки (длина дробильной камеры в миллиметрах). Данная характеристика является определяющим фактором производительности дробилки (рис. 7).

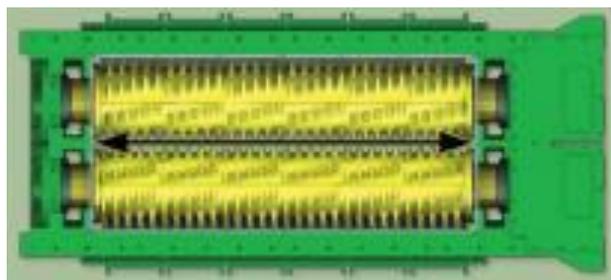


Рис. 7. Дробильная камера

4. Направлением вращения роторов (рис. 8).

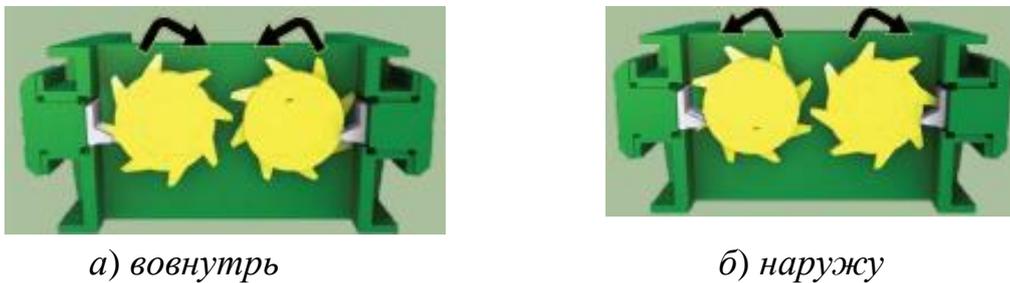


Рис. 8. Направления вращения роторов

Вращение *вовнутрь* (рис. 8 а) является обычным режим эксплуатации для большинства конфигураций и должно использоваться для дробления влажного и вязкого (глинистого) материала.

На дробилках второй и третьей стадий дробления может быть использовано вращение роторов изнутри *наружу* (рис. 8 б), когда следует получить более мелкий продукт. При вращении роторов *наружу* достигается большая степень дробления, чем при вращении роторов *вовнутрь*.

На внутренней стороне дробильной камеры жестко закреплены зубья (очистная гребенка), плотно располагающиеся между вращающимися зубьями. Обычно гребенка устанавливается для очистки вращающихся зубьев при дроблении влажных и глинистых материалов.

Очистные гребенки могут работать как обратные. В этом случае неподвижные профильные блоки в виде зубьев предотвращают проникновение в подрешетный продукт крупного материала, движущегося вдоль боковых стенок дробилки.

На ОФ Черниговская-Коксовая установлена шнековая двухвалковая дробилка серии MMD 154. Комплектуется электродвигателем 150 кВт, 380 В.

На каждом валу находится семь зубчатых колец, собранных из сегментов (рис 9).

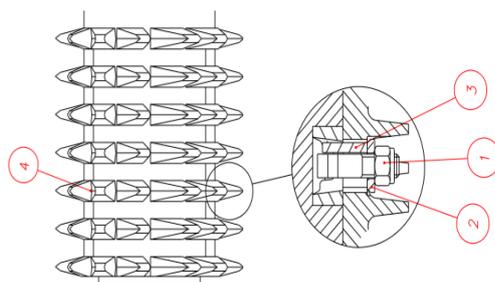


Рис. 9. Зубчатый ротор в сборе

1 – гайка, 2 – шайба, 3 – оцинкованные элементы, 4 – зубчатое кольцо

На рисунках 9 и 10 представлены способы крепления зубчатых сегментов.

Показана также блокировка зубчатых роторов при монтаже новых/демонтаже изношенных сегментов. Блокировка самопроизвольного вращения валов производится с помощью талей, лебедок и т.п.

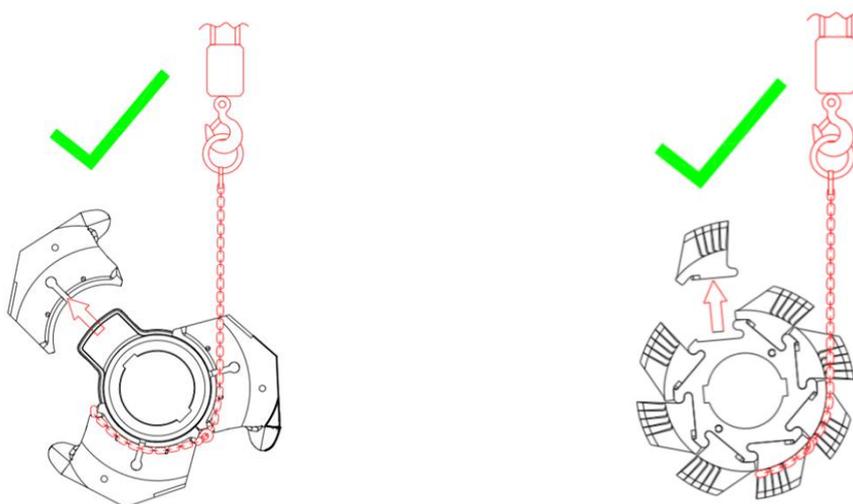


Рис. 10. Способы крепления зубчатых сегментов на роторном валу

Внешний вид двухроторной зубчатой дробилки показан на рис. 11.

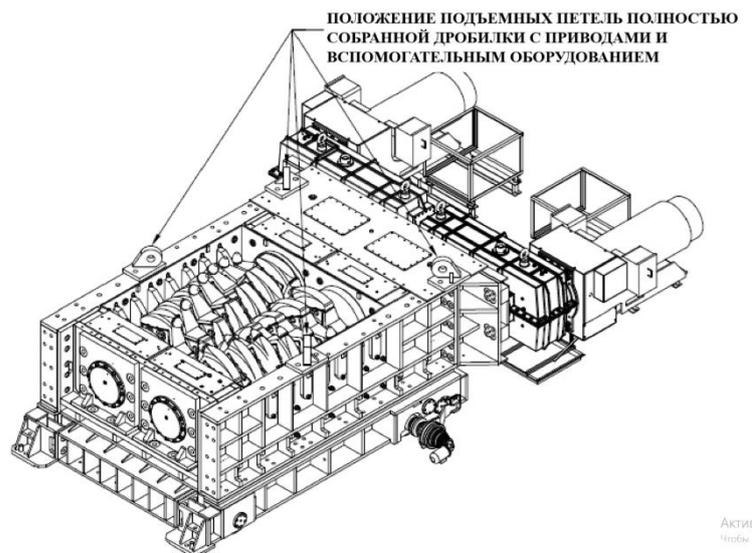


Рис. 11. Внешний вид дробилки с приводами

Принцип действия дробилки

Загрузка дробилки осуществляется сверху, а выдача дробленого продукта – под любым углом. Два вращающихся зубчатых ротора перемещают исходный материал крупностью как выше, так и ниже заданного размера, в рабочую зону дробилки.

Куски материала крупностью, меньше заданной, просеиваются без разрушения, тогда как материал с размерами, превышающими заданные, дробится зубчатыми роторами.

Дробилка сделана из прочного материала, способного работать длительное время в тяжелом режиме эксплуатации.

Боковые элементы корпуса с ребрами жесткости изготовлены из конструкционной стали с быстросменными изнашиваемыми (футеровочными) пластинами, закрывающими всю внутреннюю поверхность дробильной камеры.

Основные валы изготовлены методом механической обработки стержневых заготовок из высокопрочной легированной стали и опираются на самоцентрирующиеся двухрядные сферические роликовые подшипники в прочных кор-

пусах. Подшипники смазываются консистентной смазкой на обоих торцах дробилки и защищены манжетными уплотнениями, рассчитанными на тяжелый режим эксплуатации. Манжеты дополнительно защищены с помощью двойного лабиринта, заполненного консистентной смазкой, предотвращающего попадание воды, грязи и т.д.

Футеровочные пластины (рис. 12) подлежат замене при обнаружении чрезмерного износа. Зазор между вращающимися зубьями и боковыми пластинами должен быть не менее 10 мм. Этот зазор необходимо проверять после замены изнашиваемых пластин перед запуском агрегата.



Рис. 12. Футеровочные пластины

Защита дробилки от поломок.

1. Устройство обнаружения замедления скорости вращения устанавливается на неприводной стороне зубчатых роторов. Назначением устройства является отключение питания двигателей дробилки и системы подачи исходного материала при снижении скорости вращения роторов. Это достигается с помощью штыря на роторном валу (валах), проходящего через магнитное поле бесконтактного датчика, подающего электрический импульс в систему управления. Если вращение роторного вала прекращается, система управления должна отключить питание электродвигателей через шесть секунд.

2. Защита от механических перегрузок осуществляется с помощью гидромеханической муфты, соединяющей приводной вал двигателя и входной вал редуктора. С выходного вала редуктора вращение передается на зубчатый ротор.

Устройство гидромеханической муфты и принцип действия в положениях «останов», «запуск» и «работа» показаны на рис. 13.

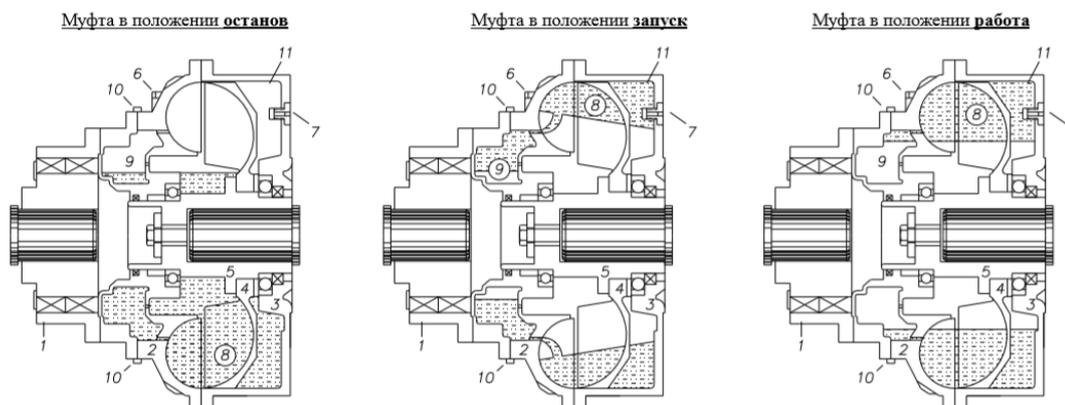


Рис. 13. Устройство гидромеханической муфты VoithTVSC:

1 – муфта с упругим соединением, 2 – наружный диск, 3 – крышка муфты, 4 – турбина, 5 – ступица муфты, 6 – заливная пробка, 7 – плавкая вставка, 8 – рабочая жидкость, 9, 10 – камеры замедления, 11 – камера 'SC'.

Гидромеханическая муфта защищена от превышения заданной рабочей температуры с помощью плавкой вставки (рис. 14). Вставка плавится при температурной перегрузке, пробка выскакивает, и рабочая жидкость вытекает из муфты, что делает невозможным передачу вращающего момента на зубчатый ротор и исключает повреждение.

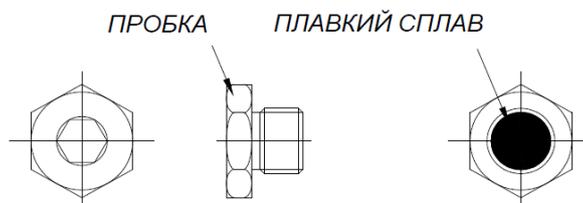


Рис. 14. Плавкая вставка для защиты дробилки от перегрузки

После того, как сработает плавкий предохранитель, его необходимо заменить. Должна быть проведена повторная затяжка периферийных болтов, установлены плавкие вставки, а муфта заправлена свежей жидкостью в соответствии с руководством по гидромеханической муфте.

Имеются три типа плавких вставок, отличающихся температурами срабатывания: 140/160/180°C.

При нормальных условиях необходимо использовать плавкую вставку на 160°C.

Выводы

1. Длительная работа агрегата на холостом ходу влечет серьезные негативные последствия. Это может вызвать повреждение подшипников.

2. Внести в состав режимной карты по эксплуатации дробилки пункт «О выключении агрегата при длительных перерывах в подаче исходного материала».

3. Материалы, представленные в публикации, введены в курс лекций по дисциплине «Подготовительные процессы» и могут быть использованы инженерно-техническими работниками обогатительных производств.

Список литературы

1. http://www.mmdsizers.com/images/brochure/RU_MMD_Products_and_Applications_Brochure_v8-1-Online.pdf: (Дата обращения: 30.11.2020).

2. Перов, В. А. Дробление, измельчение и грохочение полезных ископаемых : учебное пособие для вузов / В. А. Перов, Е. Е. Андреев, Л. Ф. Биленко. Москва : Недра, 1990. – 301 с. – ISBN 5-247-00984-3. – Текст : непосредственный.

3. Протасов, Ю. И. Теоретические основы механического разрушения горных пород / Ю. И. Протасов. – Москва : Недра, 1985. – 242 с.

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ИНТЕНСИВНОСТИ И ВРЕМЕНИ ПЕРЕМЕШИВАНИЯ НА ДИСПЕРСНОСТЬ ЭМУЛЬСИИ ПРИ ПОМОЩИ ЛАЗЕРНОГО АНАЛИЗАТОРА «ANALYSETTE 22»

Леляева Г.Е. студент гр. ОПс-151, VI курс.

Вахонина Т.Е., ст. преп. кафедры ОПИ.

М.С. Клейн, д.т.н., профессор кафедры ОПИ+79095118833, uvi@kuzstu.ru.

Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева г. Кемерово.

Аннотация. Показана возможность использования метода лазерной дифракции для оценки дисперсности эмульсий масляных реагентов, приведены результаты влияния интенсивности и времени перемешивания при эмульгировании на дисперсность эмульсий.

Ключевые слова: лазерная дифракция, масляные реагенты, эмульгирование, уголь, флотация.

Abstract. The possibility of using the laser diffraction method for assessing the dispersion of emulsions of oil reagents is shown, the results of the effect of the intensity and time of mixing during emulsification on the dispersion of emulsions are presented.

Key words: laser diffraction, oil reagents, emulsification, coal, flotation.

При флотации угольных шламов широко применяются практически нерастворимые в воде аполярные собиратели, такие как керосин, термогазойль и другие продукты нефтепереработки. Для интенсификации взаимодействия капель масла и частиц угля используют введение готовых водных эмульсий масляных реагентов непосредственно в зону перемешивания флотационной машины.

Чем выше дисперсность аполярного реагента, тем меньше размер и больше количество его капель в воде, а, следовательно, увеличивается число столкновений капель реагента с угольной поверхностью и закрепления его на ней. В результате, мелкие капли масла более равномерно и в большем количестве адсорбируются на поверхности угольных частиц, что приводит к увеличению выхода концентрата и сокращению расхода масляного собирателя.

В аппарате с механическим перемешиванием с неоднородным распределением энергии под воздействием разности динамических напоров наряду с деформацией и дроблением крупных капель происходит столкновение капель микронного размера и их коалесценция. Для получения мелкодисперсной эмульсии в аппаратах смесительного типа оптимальная степень диспергирования эмульсии достигается варьированием технических условий, в частности, продолжительностью и интенсивностью перемешивания. Так, увеличение времени эмульгирования позволяет повысить вероятность прохождения и дробления капель при их нахождении в зоне турбулентного потока жидкости. Увеличение интенсивности перемешивания жидкостей способствует вовлечению более вязких углеводородов в объем эмульсии и равномерному распределению дисперсной фазы по объему [1].

Оценку дисперсности эмульсии осуществляли на лазерном дифракционном анализаторе «Analysette 22». Этот метод сравнительно новый и имеет ряд преимуществ по сравнению с классическими оптическими методами.

К ним относятся высокая скорость, точность и автоматизация выполнения анализа, значительное сокращение времени проведения анализа (до 1-3 мин); определение размеров капель в широком диапазоне (от 0,05 до 1000 мкм) с использованием любых классификационных шкал и т.д.

При проведении экспериментальных исследований по определению дисперсного состава эмульсии методом лазерной дифракции в качестве масляных реагентов использовали моторное масло. Эмульсия готовилась в прямоугольной камере при объемной концентрации дисперсной фазы $\varphi = 0,12 \%$ путем переме-

шивания турбинной мешалкой диаметром $d_m = 34$ мм. Проба исследуемой эмульсии отбиралась после отстаивания через определенный интервал времени шприцом из объема.

Для характеристики дисперсного состава частиц использовали параметры: среднестатистический размер капель d , мкм, распределение капель по размерам Q , %, дифференциальная функция - плотность распределения капель $d(Q)$, %/мкм, среднеарифметический диаметр d_{cp} , мкм, медиана d_{50} , мкм и мода $M_d(d)$, мкм, которая соответствует величине наиболее распространенного диаметра капель масла в составе эмульсии.

Результаты измерений дисперсного состава эмульсий масла в зависимости от интенсивности (1000, 2500 и 4000 мин^{-1}) и времени перемешивания (30, 60, 120 и 240 сек) показаны на рисунке 1 (а и б, соответственно).

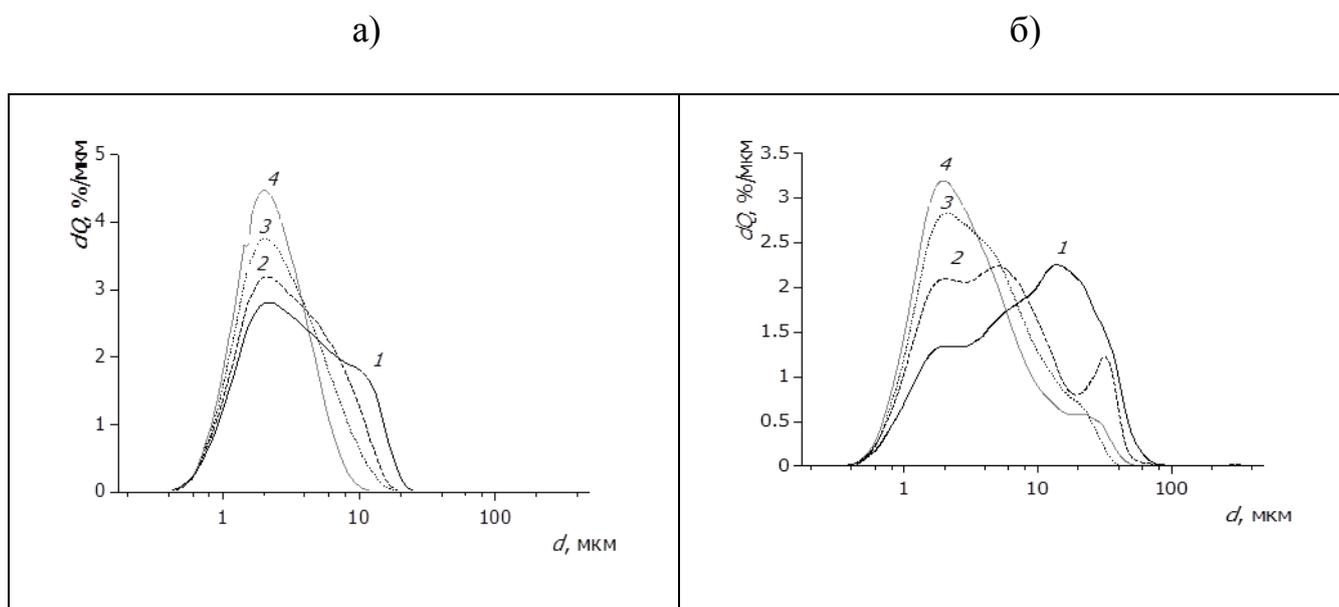


Рис. 1. Результаты измерений дисперсного состава эмульсии масла при:
а) различных оборотах мешалки (мин^{-1}): 1 – 1000; 2 – 2500; 3 – 4000;
б) различном времени перемешивания (сек): 1 – 30; 2 – 60; 3 – 120, 4 – 240.

Анализ полученных результатов измерений дисперсности эмульсий масла показывает, что с увеличением интенсивности и времени перемешивания дисперсность эмульсий повышается. Так, с увеличением времени перемешивания от

30 до 240 сек средние размеры капель уменьшаются почти вдвое и в 1,5 раз возрастает доля капель микронного размера (< 3 мкм), т.о. использование времени перемешивания более 60 сек приводит к переизмельчению капель, а так же к дополнительным затратам мощности. При повышении скорости перемешивания с 500 до 4000 мин⁻¹ доля капель < 3 мкм увеличивается почти вдвое, а количество капель среднего и крупного размеров уменьшается. Характер распределения дисперсного состава эмульсий для всех проб одномодальный. При этом значение моды снижается с 2,3 до 2 мкм, а количество капель модального размера растет с 2,6 до 3,6 % (рис.1 а) и с 2,74 до 4,48 % (рис. 1 б).

Результаты измерений дисперсного состава эмульсий масляных собирателей можно использовать для определения оптимальных режимов эмульгирования флотореагентов с целью повышения эффективности флотации угольных шламов. Оптимальным размером капель при флотации угля можно считать диапазон их крупности от 3-5 мкм до 10-20 мкм в зависимости от гранулометрического состава твердой фазы, флотируемости угля и других характеристик флотационной пульпы. Присутствие в пульпе большого количества крупных капель нежелательно, так как в них сосредотачивается большая часть дисперсной фазы, сокращается число обработанных реагентом частиц и нарушается селективность процесса. В тоже время, при перемешивании пульпы может происходить передача масла с частицы на частицу при их столкновении [5], но для этого необходима хорошая подготовка пульпы перед флотацией, например процесс масляной аэроагломерации [6].

Выводы

Таким образом, использование лазерного дифракционного анализатора «Analysette 22» для оценки дисперсности эмульсий масляных реагентов полезно при проведении теоретических и технологических исследований с целью интенсификации процесса флотации угольных шламов.

Список литературы

1. Брагинский Л. Н. Перемешивание в жидких средах. Физические основы и методы расчёта / Л. Н. Брагинский, В. М. Барабаш, В. И. Бегачёв // Л.: Химия. - 1984. - 336 с.
2. Шмидт А.А. Вероятность дробления и устойчивости капель в ядре турбулентного потока жидкости в условиях однородной и изотропной турбулентности и в аппарате с перемешиванием / А.А. Шмидт, П. Г. Ганин // Сорбционные и хроматографические процессы. - 2008. - Т. 8. - № 6. -С. 921-930.
3. Международный стандарт ISO 13320-1 "Анализ размеров частиц - методы лазерной дифракции".
4. Мелик-Гайказян В. И. К эмульсированию масляных флотореагентов в промышленных условиях и оценке дисперсности получаемой эмульсии / В. И. Мелик-Гайказян, А.А. Байченко, В.В. Ворончихина // Кокс и химия. - 1964. - № 3. - С. 9-13.
5. Мелик-Гайказян В.И. О механизме закрепления эмульсированных аполярных реагентов на угольных частицах при флотации / В.И. Мелик-Гайказян, В.В. Ворончихина, И.Н. Плаксин // Кокс и химия. – 1967. – № 10. – С. 7-9.
6. Клейн, М. С. Очистка шламовых вод углеобогащения с использованием селективной сепарации шламов масляными реагентами / М. С. Клейн // Уголь, 2005. – № 9. – С. 43-45.

ПЕРЕРАБОТКА УГОЛЬНЫХ ШЛАМОВ С ОТСТОЙНИКОВ ФЛОТАЦИОННЫМ МЕТОМ

Васильев Л. С., студент гр. ОПа-201, аспирант,

Орлова А.Д. студент гр. ОПс-151, VI курс

Вахонина Т.Е., ст. преп. кафедры ОПИ

М.С. Клейн, д.т.н., профессор, +79095118833, uvi@kuzstu.ru

Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева г. Кемерово

Аннотация. В статье показана возможность флотации угольных шламов с отстойников с получением качественных продуктов, как одно из направлений для решения экологических проблем.

Ключевые слова: флотация, угольные шламы.

Abstract. The article shows the possibility of flotation of coal slam from sedimentation tanks to obtain high-quality products, as one of the directions for solving environmental problems.

Key words: flotation, coal slam.

Высокий уровень техногенных воздействий на окружающую среду в регионах с повышенной концентрацией угольной промышленности, таких как Кузбасс, обуславливает необходимость решения экологических проблем. Тенденция к снижению качества добываемых углей при одновременном повышении требований к качеству угольного концентрата расширяет объемы переработки рядовых углей, усложняет технологию углеобогащения и приводит к увеличению выбросов угля за пределы фабрик. В связи с этим обостряются проблемы рационального использования природных ресурсов и отрицательного воздействия углеобогачительных фабрик на природную среду [2].

Особого внимания заслуживает проблема переработки угольных шламов, которые являются не только одним из основных источников потерь органической части угля, но и загрязняют при этом окружающую среду. Применяемые на фабриках технологии регенерации шламовой воды могут вызывать ряд негативных экологических последствий по следующим причинам:

- на ряде фабрик, обогащающих коксующиеся угли, из-за недостаточной эффективности процесса флотации высокодисперсные и крупные угольные частицы часто теряются с отходами флотации и складировются в гидроотвалах, занимающих значительные площади земельных угодий;

- при обогащении энергетических углей необогащенные, высокозольные угольные шламы низкого качества накапливаются в шламовых отстойниках и илонакопителях, загрязняя окружающую среду;

- в результате в наружных отстойниках угольных предприятий Кузбасса скопились десятки млн. тонн шламов, из которых после обогащения можно получить сравнительно дешевое твердое топливо [2].

В настоящее время в Кузбассе построены и успешно работают десятки современных обогатительных фабрик с глубиной обогащения угля до нуля, на которых возможна переработка шламов с отстойников.

Таким образом, вполне очевидна необходимость исследования возможности эффективного обогащения угольных шламов методом флотации на действующих обогатительных фабриках, что позволило бы решить следующие задачи:

- обеспечить получение качественного угольного концентрата из шламов коксующихся углей;

- снизить глубину обогащения энергетических углей и тем самым расширить сырьевую базу углей для энергетики;

- включить в переработку и использовать огромные запасы угольных шламов, захороненных в гидроотвалах и илонакопителях, и тем самым снизить загрязнение окружающей среды за счет освобождения земельных площадей, занятых накопителями угольных шламов.

Исследование возможности решения указанных выше задач проведено на представительных пробах углей различных марок из шламовых отстойников Пркопьевского и Ленинск-Кузнецкого районов, в каждом из которых находятся десятки и сотни тысяч тонн угольных шламов. Гранулометрический состав четырёх проб угольных шламов показан в табл. 1. Необходимо отметить высокое содержание в пробах тонких шламов менее 0,05 мм, а также присутствие в небольших количествах высокозольных частиц крупнее 0,5 мм, которые перед проведением флотационных исследований были отсеяны.

Таблица 1. Гранулометрический состав четырех проб угольных шламов

Классы, мм	Марка «Г»		Марка «КС»		Марка «ОС»		Марка «КО»	
	γ , %	A^d , %						
+1,0	2,41	53,1	5.4	34.1	2.1	20.1	3.4	43.3
0,5-1,0	1,06	25,3	5.0	17.0	6.1	16.1	6.9	35.0
0,25-0,5	6,47	6,2	9.0	13.9	12.2	12.2	7.3	16.1
0,12-0,25	7,43	4,8	9.7	14.2	13.1	13.6	9.9	19.2
0,05-0,12	20,3	7,9	16.0	14.2	16.6	16.4	16.8	21.7
-0,05	62,4	40,6	55.0	24.1	49.9	20.3	55.7	36.4
Всего	100	29,2	100	20.8	100	17.5	100	30.9

Флотационные опыты проводились с использованием применяемого на углеобогатительных фабриках Кузбасса комплексного реагента собирателя КРС, поставляемого на фабрики ООО «Завод химреагентов» г. Кемерово.

Эффективность флотации шламов оценивались в каждом опыте по следующим показателям: выход γ и зольность A^d концентрата и отходов флотации; селективность процесса флотации $K_{\text{сел}}$.

В табл. 2 приведены результаты флотации шламов углей марок «Г», «КС», «КО» и «ОС» при оптимальном расходе реагента, обеспечивающем максимальную селективность процесса. По результатам проведенных исследований установлено, что угольные шламы всех марок обладают неплохой флотиремостью и

разделяются на концентрат и отходы с удовлетворительной селективностью при сравнительно небольшом расходе реагентов.

Таблица 2. Результаты флотации шламов марок «Г», «КС», «КО» и «ОС»

Марка угля	Расход, кг/т	$A^d_{исх}, \%$	Концентрат		Отходы		$K_{ссл}$
			$\gamma, \%$	$A^d, \%$	$\gamma, \%$	$A^d, \%$	
Г	2,5	29,7	76.4	12.6	25,6	75,6	0.98
КС	2.1	20.2	78.3	10.5	21,7	55.1	0.56
ОС	1.3	17.0	83.6	7.3	16,4	66.7	0.72
КО	1.8	30.8	72.4	12.4	27,6	79.0	0.96

Выводы.

Таким образом, флотационное обогащение угольных шламов с отстойников на действующих обогатительных фабриках с получением качественного товарного продукта экономически целесообразно и позволяет решить проблемы ресурсосбережения и защиты окружающей среды.

Список литературы.

1. Клейн, М. С. Повышение технологической и экологической эффективности очистки шламовых вод углеобогащения / М.С. Клейн, Т.Е. Вахонина // Вестник КузГТУ.- 2014. - № 3.- С. 125-127.
2. Клейн, М. С. Проблемы экологии и ресурсосбережения при очистке шламовых вод углепереработки / М. С. Клейн, Т. Е. Алешкина // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – Кемерово, 2005. – № 2. – С. 114-117.

**ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ
РЕШЕНИЙ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ РАЦИОНАЛЬНОЙ ТЕХНОЛОГИИ
ОБОГАЩЕНИЯ КОКСУЮЩИХСЯ УГЛЕЙ
АПСАТСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ**

Кандинский В.А., аспирант гр. ОПа-201,

Бегунов А.А., аспирант гр. ОПаз-161,

Плотникова Л.Н., аспирант гр. ОПаз-161,

Удовицкий В.И., зав. кафедрой ОПИ, проф., д.т.н., +79095118833,
uvi@kuzstu.ru, ГБОУВО КузГТУ, г. Кемерово, РФ

Аннотация. Представлены результаты компьютерного моделирования технологий тяжелосреднего обогащения и с использованием ширококлассифицированной отсадки для труднообогатимых углей Апсатского месторождения.

Ключевые слова: схемы обогащения, моделирование, отсадка, тяжелая среда, плотность разделения, концентрат.

Abstract. The results of computer modeling of heavy-medium separation technologies with the use of wide classifier jigging for hard coals of Apsatsky field are presented.

Keywords: enrichment schemes, modeling, deposition, heavy liquids, separation density, concentrate.

Методика вычислительных экспериментов

Определены качественно-количественные показатели для двух вариантов схем обогащения с помощью программ компьютерного моделирования технологий подготовительных, основных и вспомогательных процессов обогащения углей:

- Программа ввода и корректировки гранулометрического и фракционного составов угольных пластов для заполнения базы данных.
- Программа для ЭВМ №2012613676. Расчет фракционного состава и определение обогатимости каменных углей.
- Программа «*Sit*» формирования состава шихты, состоящей из одного или более пластов (до 500).
- Программа «*Razub*» – расчет ситового и фракционного составов пластов в зависимости от фактической зольности пласта, поступающего на обогатительную фабрику.
- Пакет программ «*Gran_38*» – аналитическое представление суммарных характеристик крупности углей по «плюсу».
- Программа «*Igel_Kp*» – расчет практического баланса продуктов гравитационного обогащения для заданных плотностей разделения.
- Программный комплекс «*Igel*» – расчет качественно-количественных показателей продуктов обогащения для проектируемой схемы переработки каменных углей с определением оптимальных плотностей разделения, при которых достигается максимальный выход суммарного концентрата заданной зольности.

Для реализации теоремы Рейнгардта использованы программы для ЭВМ, имеющие свидетельства о государственной регистрации:

- №2012613674. Аппроксимация кривой элементарных фракций методом наименьших квадратов.
- №2012613675. Применение полинома Лагранжа для построения кривых обогатимости.
- №2012611251. Интерполяция кривых обогатимости кубическими сплайнами.

По вариантам: ширококлассифицированная отсадка и тяжелосреднее обогащение выполнен компьютерный расчет технологических показателей обогащения углей Апсатского месторождения.

Результаты исследований

В таблице приведены результаты вычислительного эксперимента в виде значений выходов и зольностей концентрата, рассчитанных для плотностей разделения от 1300 до 1600 кг/м³, представляющие два варианта: «Ширококласифицированная отсадка» и «Тяжелосреднее обогащение».

Плотность разделения, кг/м ³	Ширококласифицированная отсадка		Тяжелосреднее обогащение	
	Выход, %	Зольность, %	Выход, %	Зольность, %
1300	54,83	8,80	51,64	8,16
1350	63,70	9,17	60,89	8,68
1400	71,61	9,66	69,59	9,25
1450	77,15	10,13	75,30	9,82
1500	80,69	10,52	79,22	10,32
1600	84,26	11,06	82,91	10,92

Выводы

1. Вычислительными экспериментами установлено:

- минимально возможная зольность суммарного концентрата для ширококлассифицированной отсадки составляет 8,8 % при выходе 54,8 %; для тяжелосреднего обогащения эти же показатели равны, соответственно: 8,16 и 51,4 %;
- при предельно допустимой зольности концентрата 11 % выход суммарного концентрата для отсадки 84,3 %, для варианта с тяжелосредним обогащением 82,9 %.
- низкая зольность отходов 52,4 %, т. е. возникает необходимость выделения промпродукта.

2. Обращает на себя внимание высокая влажность обезвоженного концентрата (14,0 %), что делает необходимыми операции складирования концентрата для дополнительного испарения (вымораживания) влаги или термической сушки класса 0–1 мм (две сушилки типа «*Tornesh*» производительностью по 100 т/ч каждая).

3. В математических моделях технологических процессов зольность отходов низкая и составляет 52,4 %.

Принятие решений при определении рациональной технологии обогащения коксующихся углей Апсатского месторождения

Разработанный принципиально новый методический подход в проектировании и разработке информационного и программного обеспечения поддержки принятия решений при определении рациональной технологии обогащения коксующихся углей Апсатского месторождения для заданных условий доказал необходимость применения термической сушки мелкого концентрата.

Для окончательного принятия решения по выбору рациональной технологии обогащения углей Апсатского месторождения необходимо специалистам:

1. ОАО «СУЭК» разработать техническое задание для предпроектных исследований с указанием:

- последовательности отработки пластов;
- количества секций обогатительной фабрики и производительности каждой из них;
- зольности и влажности суммарного концентрата (для летнего и зимнего периода), обязательное выделение промпродукта и др.

2. Для более обоснованного выбора крупности машинных классов ОАО «СИБНИИУГЛЕОБОГАЩЕНИЕ» представить более полную информацию по гранулометрическому и фракционному составам для классов крупности 50–100, 25–50, 13–25, 6–13, 3–6, 1–3, 0.5–1.0, 0.1–0.5 и 0–0.1 мм.

3. Кузбасскому государственному техническому университету им. Т.Ф. Горбачева (кафедра обогащения полезных ископаемых) выполнить предпроектные

исследования в соответствии с техническим заданием и обязательным технико-экономическим сравнением вариантов технологий обогащения.

Список литературы

1. Артюшин С.П. Проектирование углеобогащительных фабрик. - Изд. 2-е, перераб. и доп. – М.: Недра, 1974. – 200 с.
2. Вычислительная техника в инженерных и экономических расчетах : Учебн. для вузов под ред. А.В.Петрова. – М. : Высшая школа, 1984. – 365 с.
3. Вылегжанин В. Н. Физические и геомеханические основы оптимизации угольных шахт. – Новосибирск, Наука, 1981. – 210 с.
4. Заварькин В.М., Житомирский В.Г., Лапчик М.П. Численные методы: Учеб. пособие для студентов физ.-мат. пед. ин-тов. – М.: Просвещение, 1990. – 176 с.
5. Мак-Кракен Д., Дорн У. Численные методы и программирование на Фортране. – М.: Мир, 1977. – 584 с.
6. Экономико-математическое моделирование процессов и технологий обогащения полезных ископаемых: учебное пособие [Электронный ресурс]: для студентов специализации 130406.65 «Обогащение полезных ископаемых» / В.И. Удовицкий, С.О. Шутов, И.А. Королев, В.А. Кандинский. – Электрон. дан. – Кемерово: КузГТУ, 2012.

ГЕНЕТИЧЕСКАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ ТОРФОВ

Малюта А. В., студент группы ОПИ-15 ГОУВПО «ДОННТУ».

Самойлик В. Г., профессор каф. ОПИ ГОУВПО «ДОННТУ», к.т.н., доцент,
эл. адрес: samoylik@donntu.org

Аннотация. В статье проанализированы основные принципы построения генетической классификации торфов. Приведены примеры классификаций различных авторов и современная трактовка, используемая для классификации торфов России.

Ключевые слова: классификация, торф, растения-торфообразователи, тип, подтип

Annotation. The article analyzes the basic principles of constructing a genetic classification of peats. Examples of classifications by various authors and a modern interpretation used for the classification of peat in Russia are given.

Key words: classification, peat, peat-forming plants, type, subtype

Формирование твёрдых горючих ископаемых, залегающих в недрах земли, проходило на протяжении длительного периода, охватывающего докембрий, палеозой, мезозой и кайназой. В результате различных сочетаний палеогеографических и тектонических факторов образовались различные виды ТГИ: от древнейших протерозойских шунгитов до современных торфяников.

Многообразие видов ТГИ, обширный диапазон изменения их вещественного состава и свойств, а также важная роль в процессах промышленного использования обусловили необходимость разработки их классификации. В данной работе остановимся более подробно на генетической классификации торфов.

Генетическая классификация торфов по их происхождению берёт своё начало в 18 веке.

Еще в 1766 г. И.Г. Леман различал пять сортов торфа по их пригодности на топливо. При описании он давал для каждого характеристику его природных свойств: плотности, цвета, пластичности и иногда указывал на заметные в торфе на глаз растительные остатки [1].

Г. Энгельман (1810 г.) различает в торфе уже семь пород. Описание этих пород он даёт для высушенного кускового торфа, но отмечает для каждой из пород кроме цвета и плотности после высушивания возможную глубину залегания в торфянике. Таким образом, оба автора характеризуют единицы своих классификаций не только со стороны их топливных качеств, но и как природные образования.

Г.И. Танфильев (1900 г.) при изучении подмосковных торфяников выделяет стратиграфические пласты на разрезах – стенках карьеров и, связывая образование отдельных торфяных горизонтов со сменой растительного покрова, даёт для каждого на них описание исходной растительной группировки.

К. Вебер (1908 г.) в своей классификации торфов выделяет три группы торфов по содержанию в них питательных веществ. Внутри групп он выделяет различия торфов в зависимости от их ботанического состава (точнее по преобладающему торфообразователю), реже по исходной группировке:

а) богатые питательными веществами (евтрофные) торфы: тростниковый, осоковый, камышовый, гипновый, трясинный (или ольховый) и лесной;

б) более бедные питательными веществами (мезотрофные) торфы: торф из мха, торф из соснового леса, вересковый;

в) бедные питательными веществами (олиготрофные) торфы: пушицевый, шейхцериевый, сфагновый.

Для своего времени эта классификация была громадным шагом вперед в вопросе познания природы торфа и послужила отправной точкой при создании ряда более подробных классификаций другими авторами.

В 1911 г. появляются две классификации видов торфа (Потонье и Романна), в основу которых заложен ботанический принцип и условия питания. Впервые у Романна выделены мергелистые торфы, а у Потонье – группа сильно минерализованных полуторфов [2].

Г. Варен и Г. Андерсен (1924 г.) разработали классификации по ботанико-систематическому принципу, в основу которого были положены систематические группы растений.

Л.Ф. Пост (1926 г.) рекомендует при выделении вида торфа пользоваться материнскими растительными формациями, т. е. совокупностью характерных торфообразующих растений (генетический принцип). В его классификации торфы делятся на два класса или серии по потребности материнских формаций в питательных веществах: класс евтрофных торфов и класс олиготрофных торфов. Химически эти два класса торфов, по его мнению, отличаются по содержанию азота. В торфах евтрофного класса содержание азота 1%, чаще 2,0-2,5%, в торфах олиготрофного класса оно большей частью меньше 1%. Оба класса торфов Л.Ф. Пост делит на ступени по степени увлажнения материнских формаций.

Для евтрофных торфов этих ступеней четыре:

водная (торфы отлагаются под водой) – тростниковый торф;

водно-болотная (средняя между водной и болотной) – хвощовый торф, торф из *Cladium mariscus*, *Thelypteris*-торф, *Iris*-торф, *Glyceria*-торф;

болотная (место образования торфа находится под водой лишь периодически) – крупноосоковый торф, буромоховой торф;

наземная (место образования торфа находится выше уровня воды) – мелкоосоковый торф, торф болотистого леса.

Одна часть олиготрофных торфов дана вместе для водной и болотной ступеней: *cuspidatum*-торф (торф из сфагновых мхов секции *Cuspidata*), *Scheuchzeria*-торф, осоковый торф, торф из пушицы со *Sph. magellanicum*, *Sph. cuspidatum*.

Другая часть олиготрофных торфов объединена в наземную и омброгенную ступени (омброгенная ступень – ступень атмосферного питания) – кустарниковый торф, торф болотистого березового леса, торф болотистого соснового леса, торф болотистого елового леса, фускум-торф, магелланикум-торф.

В конце 20-х годов были разработаны еще две классификации видов торфа – Шрейбера (1929 г.) и Бюлова (1930 г.), основанные на ботаническом принципе, причем Бюлов проводит деление торфа на 19 единиц, а Шрейбер различает 24 вида торфа [2].

На ботанической основе построено деление на виды торфа в классификации Гакке (1933 г.), который, кроме того, различает торфы и по содержанию питательных веществ.

В Финляндии (Е. Кивинен, 1954 г.) классификация видов торфа построена на ботанических признаках остатков торфообразователей. В ней различаются следующие виды торфа: моховой торф – сфагновый, осоково-моховой, древесно-моховой; луговой торф – осоково-моховой; евтрофный торф – осоково-моховой, осоковый, гипново-осоковый.

В.С. Доктуровский (1915, 1922 гг.) и В.Н. Сукачев (1915, 1926 гг.) дают весьма близкие между собой классификации, в которых выделение видов торфа основано на микроскопических признаках и главным образом на составе растительного волокна. В.Н. Сукачев объединяет 11 выделенных им торфов в три группы: евтрофных, мезотрофных и олиготрофных торфов. Евтрофные торфы: тростниковый, камышовый, хвощовый, осоковый, ольшаниковый; мезотрофные торфы: лесной, политрихум-торф; олиготрофные торфы: сфагновый (старый и молодой), сосново-сфагновый, смоляк.

В.С. Доктуровский кроме 11, общих с классификацией В.Н. Сукачева, торфов выделяет еще четыре вида торфа: сланцевый, вересковый, березовый и еловый, из которых два первых весьма редки.

М.Я. Короткина (1939 г.) выделяет девять видов торфа: сфагновый, шейхцерицево-сфагновый, пушицевый, гипновый, осоковый, тростниковый, хвощовый

и березовый. Эти виды торфа подразделяются на неограниченное число единиц по количественным соотношениям торфообразующих растений, исходя из следующих принципов.

В название торфа входят только те торфообразователи, количество которых в данном образце составляет не менее 20%. В случае, когда торф образован не одним, а несколькими торфообразователями в количестве не менее 20% каждый, все эти торфообразователи входят в название торфа, причём количественно преобладающий ставится в названии на последнее место, а имеющий самый меньший процент – на первое. Одно и то же название торфа может иметь место при различных количественных соотношениях главнейших торфообразователей. Например, в первом случае сфагнома 70%, пушицы 20%, древесных остатков 10%, во втором – сфагнома 50%, пушицы 40%, древесных остатков 10%. В обоих случаях название торфа будет пушицево-сфагновый.

Ботанический анализ торфа доводится обычно до определения рода растений. Принцип наименования торфа остается тот же, если это определение растительных остатков доводится и до вида растения.

Как видно из рассмотренной классификаций, общее число единиц торфа в ней не установлено и границы между отдельными видами торфа определяются процентом растительных остатков главнейших торфообразователей, отмеченных при анализе.

В классификации М.И. Нейштадта вместо подтипов вводится новый термин «класс», который объединяет роды по принципу объединения торфов, имеющих сходные главные компоненты (класс сфагновый, пушицево-сфагновый, шейхцерицево-сфагновый и другие роды торфов и т. д.). Кроме того, автор предлагает в классификации виды торфа подразделять на подвиды по степени разложения, золе, географическому положению. По генезису (условиям питания) автор предлагает кроме существующих в классификации типов торфа (верховой, переходной, низинный) ввести минерализованный (гипертрофный) тип

торфа, где в основном вид торфа будет определять характер минеральных примесей, а не ботанический состав.

Не изменяя по существу структуру классификации, М.Н. Никонов, как и М.И. Нейштадт, выделяет дополнительно высокозольные (12-50%) торфа всех видов, разделенные далее на группы торфов: песчано-глинистые с рН 3-6, известковые с рН 0-7,9; вивианитовые с рН 4,4-5,8; охристые с рН 4,4-5,4; сернистые с рН 3,5-5.

Московским торфяным институтом разработана генетическая классификация торфов, которая отражает комплекс природных условий, определяющих и характер фитоценозов, и интенсивность биохимических процессов в торфогенном горизонте, обусловивших, в свою очередь, физико-химические свойства торфа[3].

По этой классификации выделяется три типа торфов: низинный, переходный и верховой. Название типов торфа как бы соответствует их положению в рельефе и условиям питания растений-торфообразователей (табл. 1).

Торфа *низинного типа* отлагаются в условиях богатого минерального питания, в разнообразных условиях увлажнения, начиная от сильно обводненных безлесных топей и кончая периодически увлажняемыми заболоченными лесами. Большая амплитуда водно-минерального питания торфяных месторождений низинного типа дает большое разнообразие фитоценозов, а отсюда и разнообразие видов торфа.

Все они характеризуются повышенной зольностью (6-18%), нейтральной или щелочной реакцией среды и большим разнообразием других физико-химических свойств для отдельных групп и видов торфа.

Торфа *переходного типа* отлагаются в условиях несколько обеднённого минерального питания, поэтому они характеризуются пониженной зольностью (4-6%) и слабокислой реакцией. В залежах переходные торфа имеют чаще небольшую мощность пласта и залегают в виде прослоек на контакте между

слоями низинных и верховых торфов. Реже они нацело слагают отдельные участки торфяников с довольно большой мощностью залежи.

Исходные растительные группировки переходных торфов по своему видовому составу являются промежуточными между фитоценозами верховой и низинной растительности и слагаются наиболее требовательными к минеральному питанию растениями из верхового типа и наименее требовательными – из низинного. Видовой состав растительного волокна переходных торфов для групп и даже видов весьма постоянен и отличается для отдельных единиц только различным процентным соотношением основных торфообразователей.

Торфа верхового типа отлагаются в условиях бедного минерального питания, весьма разнообразных по степени увлажнения: от сильно обводнённых безлесных сфагновых топей до дренированных облесенных болот с мощной сосной и большим числом кустарничков. Разнообразие влажности отлагаемых торфов создаёт и значительные отклонения в степени разложения торфа. Все торфа верхового типа характеризуются пониженной зольностью (2-4%).

Каждый тип состоит из подтипов, отражающих соотношение основных растений-торфообразователей по их требованию к обильности водного питания: лесного, лесотопяного и топяного. Лесной подтип торфа – в ботаническом составе которого содержание древесных остатков от 40 до 100%; в лесотопяном – от 15 до 35%; в топяном – не более 10%.

В каждом типе торфа различают 6 групп: древесная – в ботаническом составе которой древесных остатков от 40 до 100%; древесно-травяная – древесных остатков от 15 до 35%, травянистых от 35 до 85%; древесно-моховая – древесных остатков от 15 до 35%, моховых от 35 до 65%; травяная – древесных остатков не более 10%, травянистых от 65 до 100%; травяно-моховая – древесных остатков не более 10%, травянистых – от 35 до 65%, моховых от 35 до 65%; моховая – древесных остатков не более 10%; моховых от 70 до 100%.

Группы включают в себя от 1 до 5 видов торфов. Вид – первичная таксономическая единица классификации торфа. Он отражает исходную растительную

Таблица 1. Классификация торфа (Московский торфяной институт)

Тип	Лесной подтип	Лесотопяной подтип		Топяной подтип		
	Древесная группа	Древесно-травяная группа	Древесно-моховая группа	Травяная группа	Травяно-моховая группа	Моховая группа
Низинный	Ольховый	Древесно-тростниковый	Древесно-гипновый	Хвощёвый	Осоково-гипновый	Гипновый низинный
	Берёзовый			Тростниковый		
	Еловый	Древесно-осоковый	Древесно-сфагновый низинный	Осоковый	Осоково-сфагновый	Сфагновый низинный
	Сосновый низинный			Тростниково-осоковый		
	Ивовый			Древесно-хвощёвый		
Переходный	Древесный переходный	Древесно-осоковый переходный	Древесно-сфагновый переходный	Осоковый переходный	Осоково-сфагновый переходный	Гипновый переходный
				Шейхцериевый переходный		Сфагновый переходный
Верховой	Сосново-кустарничковый	Сосново-пушицевый	Сосново-сфагновый	Пушицевый	Пушицево-сфагновый	Ангустифолиум-торф
				Шейхцериевый		Шейхцериевый верховой сфагновый
					Комплексный верховой	
Магелланикум-торф						

группировку и первичные условия образования торфа, характеризуется определённым сочетанием доминирующих остатков отдельных видов растений (а также характерных остатков). Видам торфа в пределах каждой группы дают соответствующее название в зависимости от их ботанического состава.

Торфа переходного типа делятся на те же группы, что и низинный, причём четыре из них включают всего по одному виду торфа и только в двух – травяной и моховой – объединены по два вида. К торфам верхового типа относятся 12 видов торфа.

Такая видовая оценка торфов совпадает с химическими различиями, например, по содержанию в растениях-торфообразователях целлюлозы: во мхах – 17%, травах – 30% и древесных – 45-50%.

Эта классификация разработана на основе видов торфа, встречающихся большей частью в залежах Средней и Северо-Западной частях Европейской территории России и Западной Сибири. Наиболее распространённые из них: магелланикум, комплексный верховой, древесный низинный, осоковый. В других регионах и странах в связи с местными экологическими особенностями формировались иные фитоценозы, поэтому могут выделяться и другие виды торфа.

Список литературы

1. Тюремнов, С.Н. Торфяные месторождения: 3-е изд., перераб. и доп. / С.Н. Тюремнов. – М.: Недра, 1976. – 488 с.
2. Лиштван, И.И. Физика и химия торфа: Учеб. пособие для вузов / И.И. Лиштван, Е.Т. Базин, Н.И. Гамаюнов, А.А. Терентьев. – М.: Недра, 1989. – 304 с.
3. Самойлик, В.Г. Классификация твёрдых горючих ископаемых и методы их исследований: монография / В.Г. Самойлик. – Харьков: Водный спектр Джи-Ем-Пи, 2016. – 308 с.

АНАЛИЗ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА ПРОЦЕСС БРИКЕТИРОВАНИЯ

Новиков А. А., студент группы ОПИ-14 ГОУВПО «ДОННТУ».

Самойлик В. Г., профессор каф. ОПИ ГОУВПО «ДОННТУ» к.т.н., доцент,
эл. адрес: samoylik@donntu.org

Аннотация. В работе проанализированы основные факторы, оказывающие влияние на эффективность процесса брикетирования.

Ключевые слова: брикетирование, твёрдая фаза, гранулометрический состав, связующее, прочность, температурный режим.

Annotation. The paper analyzes the main factors affecting the efficiency of the briquetting process.

Key words: briquetting, solid phase, particle size distribution, binder, strength, temperature.

Основной задачей брикетирования, как метода окускования измельченных материалов, является получение прочных брикетов заданной плотности и пористости. Брикетирование имеет существенные отличия от других методов окускования – сплавления, спекания, агломерации и окатывания. При брикетировании первоначальное связывание частиц осуществляется за счёт сил адгезии и когезии, а окончательное скрепление частиц в единое целое происходит в результате реакций цементации, протекающих в местах контакта. При этом состав частиц не меняется, а материал брикета представляет собой механическое соединение различных частиц в одно целое, при котором они сохраняют свои свойства, являясь, по сути, конгломератом.

Потребительские свойства брикетов во многом определяются особенностями самого процесса брикетирования. Основными факторами, определяю-

щими эффективность процесса брикетирования, являются параметры твёрдой фазы, температурный режим, характеристики используемого связующего, давление прессования, режим охлаждения полученных брикетов [1].

Основное влияние на процесс брикетирования оказывает гранулометрический состав твёрдой фазы. Оптимальное сочетание крупных и мелких частиц в шихте способствует плотной упаковке зёрен при их брикетировании. Преобладание в шихте крупных зёрен приводит к образованию пористой структуры. Количество и величина пор (пустот) оказывает отрицательное влияние на прочность брикетов.

Влага, находящаяся на поверхности минеральных зёрен, создает гидратную пленку, толщина которой определяет прочность связи субстрата со связующим. Избыток влаги не позволяет связующим прочно прилипнуть к субстрату, смачивающая способность уменьшается, адгезия падает, механическая прочность брикетов уменьшается. Для снижения вредного влияния поверхностной влаги применяют термическую сушку. Иногда полезно применение химической модификации поверхности частиц посредством ПАВ. В результате на твёрдой поверхности образуются нерастворимые соединения, способствующие прочному соединению субстрата со связующим.

Доминирующая роль в формировании структуры брикетов принадлежит связующим. Брикет из любых полезных ископаемых со связующим можно рассматривать как дисперсную систему, где дисперсная среда – связующее, а дисперсная фаза – полезное ископаемое. От правильного выбора типа связующего, его расхода в большой степени зависят прочностные характеристики получаемых брикетов [2].

Температурные воздействия благоприятно сказываются на адсорбционной активности твердых частиц. Усиливается колебательный процесс поверхностных молекул, что приводит к отщеплению некоторой их части. Образуется активные свободные радикалы, взаимодействующие между собой и связующим. В результате нагрева достигается тонкослоевое растекание связующих по

твердой поверхности и усиливаются связи в их адсорбционных слоях. Недостаточный нагрев приводит к повышенному расходу связующего.

В процессах структурообразования брикетов велика роль давления прессования. С приложением давления рыхлая брикетная смесь превращается в прочный брикет. Деформируемость брикетной смеси в период прессования является функцией пластичности. Под пластичностью понимают способность брикетной смеси изменять свою форму под влиянием внешних сил без образования трещин и сохранять полученную форму после прекращения действия этих сил. Процесс уплотнения брикетной смеси можно представить следующим образом. Вначале происходит быстрая усадка. Затем она замедляется и по мере уплотнения смеси приближается к предельной величине. Первыми уплотняются верхние слои, находящиеся ближе к формообразующим поверхностям. Давление прессования распространяется волнообразно, уменьшаясь в глубину брикета. Плотность брикета определяется давлением и временем прессования.

Структурная прочность брикетов окончательно приобретает в процессе охлаждения. Выходящий из пресса брикет имеет температуру, близкую к температуре размягчения связующего. Снижение температуры достигается пребыванием брикетов в атмосфере подаваемого принудительно или естественно воздуха. В этот период связующее восстанавливает свою структуру до значений максимальной когезии. На охлаждение оказывают влияние влажность и количество связующих в брикетах. При высокой влажности в процессе охлаждения происходит интенсивное испарение. Возникающие при этом трещины вызывают падение прочности брикетов. Скорость охлаждения находится в прямой зависимости от расхода связующего. Если связующего в брикете мало, то охлаждение идет быстро. Температура падает почти с одинаковой скоростью во всем объеме брикета. Если же содержание связующего высокое, температура снижается медленно и неравномерно. Поверхностные слои брикета охлаждаются сравнительно быстро, а внутренние – длительное время.

Следовательно, при выборе режима брикетирования необходимо учитывать все эти факторы. Подбирая их оптимальное сочетание, следует обращать

внимание не только на потребительские характеристики получаемых брикетов, но и на экономическую составляющую процесса брикетирования. Увеличение расхода связующего, температуры брикетирования, способствуя упрочнению брикетов, повышает расходы на получение товарного продукта.

Список литературы

1. Окускование минерального сырья и продуктов его переработки : монография / А.Н. Корчевский, Е.И. Назимко, В.Г. Самойлик и др. – Донецк : ГОУВПО "ДОННТУ", 2019. 338 с.
2. Самойлик В.Г., Холодов К.А. Исследование брикетируемости каменноугольной шихты // Материалы IX международной научно-практической конференции «Современные тенденции и инновации в науке и производстве». – филиал КузГТУ в г. Междуреченске. – 15 апреля 2020 г. – С. 141.1 - 141.8.

ОСОБЕННОСТИ ОБОГАЩЕНИЯ СИЛЬВИНИТОВЫХ РУД

Романько М. А., студентка группы ОПИ-15 ГОУВПО «ДОННТУ».

Самойлик В. Г., профессор каф. ОПИ ГОУВПО «ДОННТУ» к.т.н., доцент,
эл. адрес: samoylik@donntu.org

Аннотация. В статье приведено описание технологии обогащения сильвинитовых руд. Рассмотрены особенности процесса. Описаны современные тенденции в обогащении сильвинитовых руд.

Ключевые слова: сильвинитовые руды, хлористый калий, поваренная соль, растворимость, маточный раствор.

Annotation. The article describes the sylvinite ore dressing technology. The features of the process are considered. The current trends in sylvinite ore dressing are described.

Key words: sylvinite ores, potassium chloride, table salt, solubility, mother liquor.

При обогащении калийных руд решаются такие основные задачи, как отделение калийсодержащих минералов от других сопутствующих минералов (галита, ангидрида, а также от так называемого «нерастворимого остатка» – глины, песчаника и т.д.) и разделение калийсодержащих сульфатов от хлоридов калия.

Отличительной особенностью калийных руд является то, что почти все входящие в них минералы хорошо растворимы в воде, вследствие чего механическое обогащение может производиться либо без применения водной среды (сухое обогащение), либо при использовании насыщенных растворов солей. При обогащении калийных руд могут применяться следующие мето-

ды: радиометрический, термический, гравитация, физико-химический, флотация, флотогравитация, электросепарация [1].

Остановимся более подробно на особенностях физико-химического метода обогащения.

Физико-химический метод переработки калийных солей, впервые освоенный в немецкой калийной промышленности (1861 г.), до настоящего времени широко применяется на калийных предприятиях различных стран.

Метод обогащения основан на повышении растворимости хлористого калия в воде по мере увеличения температуры (при 0°C – 21,2 %; при 50°C – 30,1%; при 100°C – 35,9 %) при практически не изменяющейся растворимости хлористого натрия (26,3-28,2 %). В процессе обработки сильвинита оборотным маточным раствором при температуре, близкой к 110°C, в раствор переводится главным образом хлористый калий, большая часть хлористого натрия в раствор не переходит.

При охлаждении полученного горячего раствора хлористый калий выпадает в осадок, который отделяется от жидкой фазы и направляется на сушку. Маточный раствор разбавляется водой и возвращается на растворение. Технологическая схема обогащения сильвинитовых руд представлена на рис. 1.

На растворение направляют руду крупностью менее 10 мм. В качестве растворителя используют маточный раствор, из которых выделен хлористый кальций. Нагрев маточного раствора осуществляется в теплообменниках, а руда нагревается за счет теплообмена. Растворение производится в шнековых растворителях. При вращении шнека руда перемешивается и одновременно перемещается к разгрузке. Хвосты разгружаются в приёмное устройство обезвоживающего элеватора, обезвоживаются и поступают на фильтрование.

Растворение с получением насыщенных щелоков осуществляется в полупротивоточном режиме.

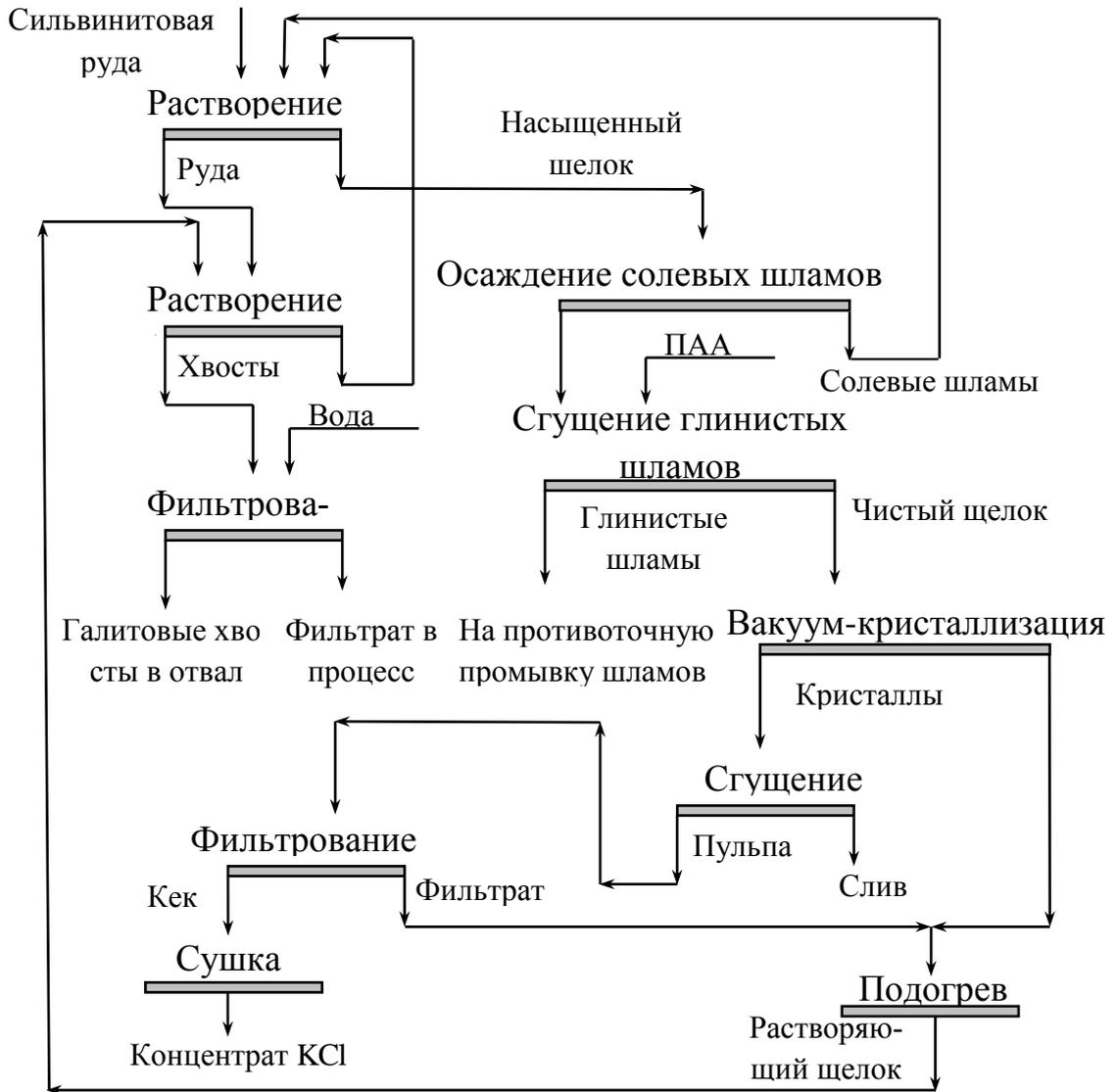


Рис. 1. Технологическая схема обогащения сильвинитовых руд
 Схема движения руды и выщелачивающего раствора приведена на рис. 2.

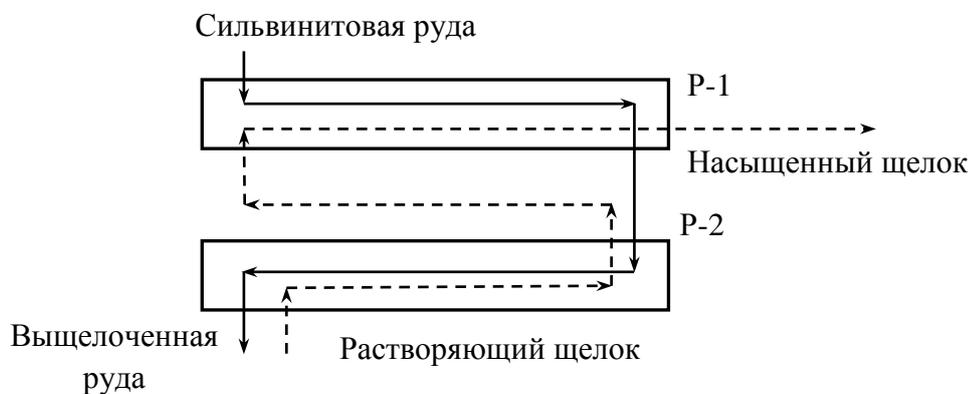


Рис. 2. Схема движения руды и растворителя в шнековых растворителях (P-1 и P-2) при противоточном методе растворения

Для предотвращения потерь со шламами тонких зёрен руды используется операция осаждения (сгущения) солевых шламов и возврата их в начало процесса. Нерастворимые минералы, механическим путём попавшие в щелок после растворения руды, выводятся из процесса при сгущении с добавлением полиакриламида для увеличения скорости осаждения шламов. Снижение потерь ценного компонента со шламами достигают их обработкой в узле противоточной промывки.

Селективное выделение из раствора хлористого калия производится методом вакуум-кристаллизации с использованием различий в растворимости при различных температурах солей натрия и калия.

На современных калийных предприятиях кристаллизацию производят в многоступенчатых вакуум-кристаллизационных установках с рекуперацией тепла растворного пара. Непрерывно действующие многоступенчатые вакуум-кристаллизационные установки обеспечивают возможность рекуперации 40-70% тепла, затраченного на нагрев щелоков при выщелачивании руды. Рекуперация тепла осуществляется путем нагревания маточных щелоков растворным паром в поверхностных конденсаторах или конденсаторах смешения. Скорость охлаждения и перепад температур при ступенчатой кристаллизации значительно снижаются, что способствует увеличению размеров кристаллов.

После вакуум-кристаллизации хлористый калий отделяется от охлажденного раствора отстаиванием и фильтрацией. Сушка влажного хлористого калия производится в барабанных сушильных установках, печах кипящего слоя или трубах-сушилках.

Хлористый калий, полученный из сильвинита этим методом, содержит около 96-97 % KCl и 3-4 % NaCl. Извлечение KCl в концентрат составляет 90-95%.

Список литературы

1. Брагина В.И., Брагин В.И. Технология обогащения полезных ископаемых. – Красноярск: ИПК СФУ, 2009. – 380 с.

2. Самойлик В.Г. Специальные и комбинированные методы обогащения полезных ископаемых: учебное пособие / Самойлик В. Г. - Донецк: ООО «Східний видавничий дім», 2015.- 164 с.