

Рис. 4. Графік залежності коефіцієнта впливу вологості від вологості торфу, мм (1 –  $d_{p, cp} = 0,59$ ; 2 –  $d_{p, cp} = 0,94$ ; 3 –  $d_{p, cp} = 1,21$ )

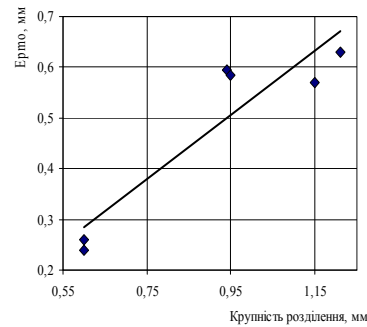


Рис. 5. Графік залежності середнього імовірного відхилення отриманого при пневматичній сепарації сухого торфу від крупності розділення

Отримане рівняння регресії має вигляд, мм

$$E_{пто} = 0,63d_p + 0,10. \quad (10)$$

Отримані рівняння регресії дають можливість визначити сепаратійні характеристики процесу пневматичної сепарації (сепаратором типу «Зиг-заг») при вологостях високозольного торфу від 5,43 до 48,95 % та крупностях розділення від 0,59 до 1,21 мм

Суттєвий вплив вологості на ефективність пневматичної сепарації спостерігається при крупностях розділення менших 0,94 мм. При вологості високозольного торфу до 30 %, її вплив на ефективність пневматичної сепарації не значний. При пневматичній сепарації торфу з вологістю більшою 40 % його частинки руйнуються при ударах об стінки сепаратора та налипають на їх поверхні. Це ускладнює процес сепарації торфу. Тому у виробничих умовах краще направляти на сепарацію високозольний торф із вологістю меншою 30 %, що відповідає вологості сировини після сушіння.

**Висновок та напрямок подальших досліджень.** Отже, вплив вологості високозольного торфу при пневматичній сепарації значно знижується при її значеннях менших 30 % та крупностях розділення більших 0,94 мм.

#### Список літератури

1. Кислов Н.В. Аэродинамика измельченного торфа [Текст] / Н.В. Кислов; под ред. И.И. Лиштвана. – Минск: Наука и техника, 1987. – 175 с.
2. Анахин В.Д. Вибрационные сепараторы [Текст] / В.Д. Анахин, Д.А. Плисс, В.Н. Монахов. – М.: Недра, 1991. – 157 с.
3. Верхотуров М.В. Сепарация влажных материалов [Текст] / М.В. Верхотуров. – Красноярск: Издательство Красноярского университета, 1987. – 136 с.
4. Корінчук Д.М. Розробка композиційного палива на основі торфу і рослинної біомаси для використання в теплоенергетичних установках. Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук. – К.: Інститут технічної теплофізики НАН України. – 2010. – 20 с.
5. Лиштван. И.И. Физика и химия торфа: Учеб. пособие для вузов [Текст] / И.И. Лиштван, Е.Т. Базин, Н.И. Гамаюнов, А.А. Терентьев. – М.: Недра, 1989. – 304 с.
6. Зальцман А.М. Пневматическая сепарация торфа / А.М. Зальцман // Комплексное использование торфа. – Вып. 2. – АН БССР. – М.: Энергия, 1968. – С. 181-189.

Рукопис подано до редакції 21.03.13

УДК 622.7

Г.В. ГУБИН, В.И. МУЛЯВКО, доктора техн. наук, проф.,

Г.Г. ГУБИН, канд. техн. наук, доц., ГВУЗ «Криворожский национальный университет»

#### ИННОВАЦИИ ЖДУТ ПРИМЕНЕНИЯ

Предлагаются инновационные процессы и аппараты для измельчения, сухой магнитной сепарации и обезвоживания, которые позволяют повышать эффективность измельчения, организовывать сухое складирование хвостов и интенсифицировать обезвоживание соответственно.

**Проблема и ее связь с научной и практической задачей.** В настоящее время перед обогащением полезных ископаемых остро стоит несколько проблем. Наиболее важные из них: энерго- и ресурсосбережение и связанное с этим комплексное использование недр и добываемого сырья, необходимость дальнейшего повышения качества продукции и извлечения полезных компонентов и, наконец, необходимость снижения нагрузки на экосистемы.

На шести ГОКах Украины эксплуатируется более 350 шаровых мельниц, которые расходуют примерно 3,6 млрд кВт·ч в год электроэнергии. Энергоемкость получения железорудных при этом составляет 110-115 кВт·ч/т, из них на долю обогатительного передела приходится 90-95 кВт·ч/т, в том числе на измельчение 55-60 кВт·ч/т.

Повышение эффективности измельчения и снижение и снижения расхода энергии достигается как за счет крупности дробленой руды, используя замкнутые циклы и более совершенные циклы, так и за счет повышения эффективности самого измельчения и классификации.

**Анализ исследований и публикаций.** Известно, что при традиционном измельчении в шаровых мельницах ударные нагрузки имеют наибольший удельный вес и достигают 85-90 %, тогда как на истирание приходится не более 10-15 %. При этом происходит нерациональное использование ударной нагрузки падающих шаров из-за значительного ее превышения над требуемой для измельчения. Так, например, величина энергии при падении шаров диаметром 60-125 мм достигает 0,3 кНм, а усилие и напряжение в контакте шара с футеровкой соответственно 600 кН и 2500 МПа, что в десятки раз превышает усилие необходимое для измельчения руды [1,2].

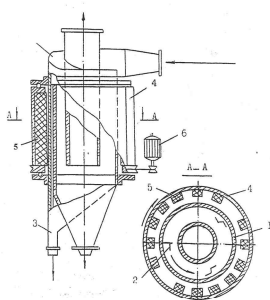
**Изложение материала.** Для уменьшения избыточной ударной нагрузки необходимо уменьшить высоту падения шаров и увеличить частоту ударов. Это возможно сделать за счет увеличения степени заполнения мельниц. Проведенные лабораторные исследования и промышленные испытания подтвердили возможность повышения производительности мельниц и снижения расхода электроэнергии на 15-25 % при повышении степени заполнения мельниц от 40 до 60 % [3,4].

Следует отметить еще одно направление повышения эффективности измельчения, вытекающее из дислокационного механизма образования трещин при разрушении – это электрическое воздействие на материал. Электрическое воздействие на измельчаемый материал приводит к ускорению движения дислокаций и концентрации их у поверхности срастания минералов, что, в свою очередь, способствует образованию микротрещин и последующему их развитию в магистральные трещины разрушения при внешних механических нагрузках.

Измельчение магнетитовых кварцитов с использованием электрообработки повышало производительность мельниц по классу минус 0,074 мм на 7-9 %, степень раскрытия рудных зерен на 3%, качество концентрата при одинаковом измельчении на 2 %, при этом энергетическая эффективность измельчения повышалась на 7,2-12,5 % [5].

Криворожским национальным университетом разработаны сепараторы, которые в зависимости от установки слабых или высокоинтенсивных магнитных систем могут использоваться для сухого обогащения кварцевых песков, редкометального сырья и различных продуктов, содержащих металлическое железо, магнитные и слабомагнитные соединения (графитовая и колюшниковая пыль, мелкая фракция металлургических шлаков).

Разработаны два типа сепараторов - трубный и циклонный. Оба типа отличаются простой конструкции и изготовления [6]. Трубный сепаратор является участком воздухопровода, а циклонный одновременно и обеспыливающим аппаратом. В отличие от традиционных магнитных сепараторов, где рабочей поверхностью является наружная часть вращающегося барабана, у новых сепараторов рабочей поверхностью служит внутренняя часть неподвижного вертикального барабана, вокруг которого вращается магнитная система (рис. 1).



**Рис. 1.** Сухой магнитный сепаратор: 1 - корпус; 2 - магнитная ловушка; 3 - патрубок для удаления магнитной фракции; 4 - ферромагнитный кожух; 5 - магнитная система; 6 - электропривод магнитной системы

Новое поколение сухих сепараторов работает под разрежением, что позволяет устранить пыление в местах их установки. Сепараторы позволяют организовать на ГОКах сухое складирование хвостов вместе с породами вскрыши в выработанное пространство рудников, что приведет к коренному улучшению экологической обстановки.

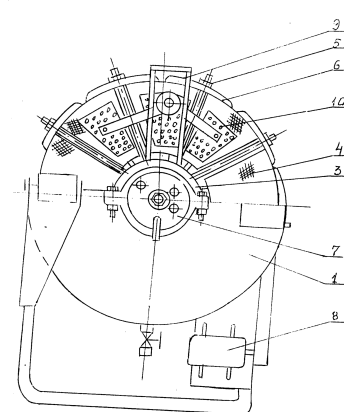
В настоящее время для раскрытия минералов требуется все бо-

лее тонкое измельчение. Снижение крупности измельчения приводит к значительному росту удельной поверхности продуктов обогащения и увеличению их влагоемкости. Повышение удельной поверхности концентратов сильно затрудняет процесс их обезвоживания, приводит к снижению производительности фильтров, росту затрат на удаление влаги и повышению влажности готовой продукции.

В Криворожском национальном университете на протяжении ряда лет велись работы по интенсификации обезвоживания с помощью постоянного электрического тока. Идея работы заключалась в использовании явления электроосмоса при обезвоживании тонкодисперсных материалов в процессе вакуумного фильтрования [9].

Показано, что при наложении электрического поля происходит снижение количества влаги в осадке, как за счет электроосмотического движения жидкости, так и за счет джоулева разогрева системы. Установлено, что с увеличением напряженности электрического поля влажность осадка снижается во всех случаях, однако скорость снижения влажности зависит от концентрации солей жесткости. При некоторой напряженности поля скорость снижения влажности достигает максимального значения. С увеличением жесткости воды экстремальная точка смещается в область низких полей. Скорость фильтрования возрастает во всем диапазоне напряженностей электрического поля. Вместе с тем предельная влажность осадка в зависимости от жесткости воды достигается при различной напряженности поля. Например, влажность осадка равная 6 % достигается в поле 120 В/см при жесткости воды 6,6 мг·экв/л. Такая же влажность осадка, при концентрации солей жесткости жидкой фазы 53,6 мг·экв/л имеет место при напряженности поля 50 В/см [7-9].

В результате теоретических и экспериментальных исследований, было разработано устройство к дисковому вакуум-фильтру для электрообработки осадка (рис. 2).



**Рис. 2.** Принципиальная схема дискового вакуум-фильтра с электроосмотическим устройством: 1 - ванна; 2 - пустотелый ячеистый вал; 3 - опорные подшипники; 4 - перфорированные сектора; 5 - шпильки; 6 - накладки; 7 - распределительная головка; 8 - привод фильтра; 9 - рама; 10 - электрод

Испытания фильтра в промышленных условиях показали, что удельная производительность составила 0,55-0,86 т/м<sup>2</sup>·ч при изменении удельной производительности от 178 до 183 м<sup>2</sup>/кг.

При напряженности электрического поля 20-26 В/см снижение влажности составляет 0,7-1,9 % (абс.) в зависимости от частоты вращения диска, а удельный расход электроэнергии достигает 0,8 и 2,5 кВт·ч/т при снижении влажности на 0,5 и 1 %.

**Выводы.** Проведенные испытания позволили разработать чертежи электроосмотического устройства к стандартному дисковому вакуум-фильтру.

В заключение хотелось бы сказать, что несмотря на трудное экономическое положение в котором сейчас находится Украина, научно-исследовательские и проектные организации, предприятия и промышленные предприятия разрабатывают и осваивают новую технику и технологию обогащения полезных ископаемых. Хотелось бы иметь взаимовыгодное научно-техническое и коммерческое сотрудничество в этой области с другими странами.

#### Список литературы

1. Маргулис В. С. Определение оптимальной степени заполнения объема мельниц измельчаемым материалом. Обогащение руд черных металлов. - Вып.3. - М.: Недра. - 1975. - С. 15-20.
2. Андреев С. Е., Перов В. А., Зверевич В. В. Дробление, измельчение и грохочение полезных ископаемых. 3-е изд., перераб. и доп. - М.: Недра, 1980. - 415 с.
3. Шестаков А. М., Губин Г. В. Повышение эффективности работы шаровых мельниц.//Черная металлургия: Бюл. научн.- техн. инф. - №3. - М. - 1990. - С. 43-44.
4. Губин Г. В., Шестаков А. А., Шестаков А. М. Энергосберегающие режимы барабанных мельниц// Разраб. руд. месторожд. - Вып. 59. - Кривой Рог: КТУ. - 1996. - С. 68-70.
5. Губин Г. В., Ткач В. В., Губин Г. Г. Электрокинетические явления и дислокационный механизм разрушения руд при измельчении// Разработка рудных месторождений. Научно-технич. сборн. Вып.72, Кривой Рог, 2000 г., с. 57-61.
6. Губин Г. В., Мулякко В. И. Безводная технология обогащения окисленных железистых кварцитов// Вісник КТУ. - Вип. 8. - Кривий Ріг: КТУ. - 2005. - С 71-74
7. Губин Г.Г. Влияние джоулева тепла при электроосмотической интенсификации обезвоживания суспензии// Разраб. рудн. месторожд. - Вып.82. - Кривой Рог: КТУ. - 2003. - С. 93-98.

8. Губин Г.Г. Теоретические предпосылки интенсификации процесса обезвоживания с использованием электроосмоса// Сб. научн. тр.– Кривой Рог: Ин-т Механообрчермет, 1999 г. – Ч.3. – С. 90-94.
9. Губин Г.Г. Электроосмотическая интенсификация обезвоживания дисперсных материалов в условиях повышенной минерализации жидкой фазы// Разраб. рудн. месторожд. – Вып.81. – Кривой Рог: КТУ. – 2002. – С. 94-99.

Рукопись поступила в редакцию 18.03.13

УДК 621.926: 534.16

Е.В. КОЧУРА, д-р техн. наук, проф.,

ФАРИС САМИР РАСМИ АЛЬХУРИ, аспирант, ГВУЗ «Национальный горный университет»

## АВТОМАТИЗАЦИЯ РАСКРЫТИЯ ЖЕЛЕЗНОЙ РУДЫ ВО ВТОРЫХ И ТРЕТЬИХ СТАДИЯХ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ

Наведено наукове обґрунтування функціональної схеми автоматизації розкриття залізної руди в кульових млинах других та третіх стадіях подрібнення магнітозбагачувальних фабрик

**Проблема и ее связь с практическими задачами.** Научной проблемой является обоснование функциональной схемы автоматизации управления раскрытием руды с переменными свойствами в шаровых мельницах, работающих во вторых и третьих стадиях измельчения железных руд магнитообогатительных фабрик. Решение этой проблемы позволяет автоматически раскрывать измельчением железную руду с переменными физико-механическими свойствами и обеспечить повышение технико-экономических показателей обогащения железных руд. Поэтому эта проблема является актуальной.

**Анализ исследований и публикаций.** В большинстве работ по автоматизации процессов измельчения основное внимание уделяется автоматизации шаровых мельниц, работающих в первых стадиях измельчения в замкнутом цикле со спиральными классификаторами. Известные принципы автоматизации вторых стадий измельчения [1] повторяют принципы автоматизации первых стадий измельчения. Однако технологические требования к автоматизации первых и вторых стадий различны. Поэтому и принципы автоматизации первых и вторых стадий измельчения должны быть разными. Первая стадия измельчения относится к процессам рудо-подготовки. Здесь главным является предварительное измельчение исходной руды с последующим выделением максимального количества бедных фракций и пустой породы. Задачей вторых стадий измельчения является раскрытие рудных сростков в промежуточном продукте, поступившем на вторую стадию обогащения после первой стадии. В настоящее время отсутствуют научно обоснованные принципы автоматизации управления раскрытием руды в шаровых мельницах, работающих во вторых стадиях магнитообогатительных фабрик.

**Постановка задания.** Требуемая крупность измельчения железной руды определяется требуемой массовой долей железа в продукте измельчения в соответствии с технологической картой. Требуемая крупность измельчения не может быть обеспечена известным критерием управления «максимальная производительность по классу -0,074 мм» по трем причинам: шаровая мельница работает в середине технологической линии и ее производительность задается производительностью предыдущего оборудования и не может быть максимальной; требуемая крупность измельчения задается крупностью вкрапления железа и является величиной переменной, а не фиксированной, равной 0,074 мм. Кроме того во вторых стадиях измельчения применяются шаровые мельницы с центральной разгрузкой, а не мельницы с решеткой как в первых стадиях измельчения. Целью настоящей статьи является разработка принципов автоматизации шаровых мельниц, работающих последовательно с магнитным сепаратором, на основе моделирования процессов измельчения и магнитной сепарации железных руд.

**Изложение материала.** Рассмотрим математическую модель шаровой мельницы. Уравнение Тунцова-Загустина определяет кинетику измельчения и имеет вид

$$\frac{1}{\bar{d}_2} - \frac{1}{\bar{d}_1} = k_1 t, \quad (1)$$

где  $\bar{d}_1, \bar{d}_2$  - соответственно средние крупности руды на входе и выходе мельницы;  $t$  - время измельчения;  $k_1$  - постоянный коэффициент определяющий условия измельчения. Время измельчения определяется временем нахождения руды в мельнице [1]