

УДК 622.74:621.926.086

*к.т.н. Морус В.Л.
(ИГТМ НАН Украины, г. Днепропетровск, Украина),
к.т.н. Филимонов П.Е.
(ПАО «Шахта им. А.Ф. Засядько», г. Донецк, Украина)*

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ТОНКОСЛОЕВОГО ГРОХОЧЕНИЯ ПРИ ВРАЩАТЕЛЬНОМ ДВИЖЕНИИ ПРОСЕИВАЮЩЕЙ ПОВЕРХНОСТИ

Проведено дослідження технологічних параметрів процесу тонкошарового просівання при обертovому русі циліндричної поверхні типу СДАС. Обґрунтовано раціональні технологічні й конструктивні параметри барабанного грохота.

Ключові слова: *процес тонкошарового просівання, поверхні типу СДАС, технологічні й конструктивні параметри, барабанний грохот.*

Проведены исследования технологических параметров процесса тонкослоевого грохочения при вращательном движении цилиндрической просеивающей поверхности типа СДАЛ. Обоснованы рациональные технологические и конструктивные параметры барабанного грохота.

Ключевые слова: *процесс тонкослоевого грохочения, поверхности типа СДАЛ, технологические и конструктивные параметры, барабанный грохот.*

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. Современное развитие теоретических исследований в области обогащения полезных ископаемых и практические достижения в ней связаны с решением актуальной проблемы - повышением качества продукции и эффективности работы оборудования. Не менее важными являются и такие задачи как увеличение производительности, снижение эксплуатационных и энергетических затрат, создание простых, удобных в эксплуатации конструкций и другие. В полной мере все это относится и к важной составляющей процесса обогащения-классификации.

Для решения проблемы и текущих задач развитие обогатительной техники во всем мире и в нашей стране сориентировано на совершенствовании технологии и техники классификации. Создание новых технологий основывается на использовании новейших просеивающих поверхностей из самых современных материалов, характеризующихся высокой износостойкостью, эластичностью, низкими эксплуатационными затратами.

Анализ исследований и публикаций. Анализ теоретических и экспериментальных исследований последних лет [1-8] показывает, что из достаточно большого количества разнообразных средств классификации недостаточно исследованы и недооцениваются аппараты с вращательным цилиндрическим (коническим) рабочим органом. В частности, практически не изучены процессы классификации при тонкослоевом движении материала по вращающейся просеивающей поверхности из резиновых элементов типа сит динамически активных ленточных (СДАЛ) при тонком грохочении.

Исследования, выполненные в Институте геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины, показали, что кинематика перемещения частиц материала внутри вращающегося цилиндрического рабочего органа с многозаходными транспортирующими спиралями существенно зависит от ряда факторов и, в первую очередь, от угла наклона барабана, частоты и направления его вращения. Это позволяет использовать аппараты такого типа не только как классифицирующее, но и как транспортирующее устройство, способное доставить материал на разные отметки фабрики для дальнейшей его переработки.

Кроме того, установлено, что наличие динамически активных просеивающих поверхностей из резиновых элементов СДАЛ и многозаходных транспортирующих спиралей позволяет создать при больших (свыше 10^0) углах наклона оси вращения барабана перемещение надрешетных фракций по транспортирующим спиралям навстречу подаче исходного материала в барабан. Другими словами, происходит циркуляционное движение частиц материала в продольной и поперечной плоскости барабана. Это создает условия для трехпродуктного разделения материала, когда наряду с надрешетным к подрешетным продуктам выделяются и крупные фракции через верхний торцевой проем барабана.

Постановка задачи. Таким образом, целью настоящих исследований является установление закономерностей и параметров процесса гидрогрохочения при тонкослоевом перемещении материала по цилиндрической вращающейся поверхности, оснащенной динамически активными просеивающими поверхностями типа СДАЛ.

Изложение материала и его результаты. Движение материала тонким слоем обычно реализуется в крутонаклонных плоских или дуговых грохотах. В этих случаях грохоты работают с очень высокими производительностями. Наличие крутого угла наклона просеивающей поверхности и тонкого слоя материала на ней обеспечивают одновременно высокий уровень эффективности и необходимую производительность.

Для создания такого же режима в крутонаклонной вращающейся поверхности при большей производительности по исходному и выполнена реконструкция стенда барабанного грохота с замкнутым циклом

питания. Режим, подобный тонкослоевому в дуговых грохотах, в данном случае создается благодаря наличию многозаходных спиралей и определенной частоте и направлению вращения барабана. Тонкослоевым движением материала в этом случае можно назвать условно. Истинная траектория перемещения частиц материала внутри вращающегося барабана сложнее, а в некоторых режимах происходит одновременно в двух плоскостях.

Реконструкция стенда заключалась в создании специального фрикционного привода, обеспечивающего свободный доступ к торцевым частям барабана, надежное сцепление с бандажом и устойчивое вращение массивного барабана с материалом при больших (до 30-40 град.) углах наклона оси вращения. Схема реконструированного стенда представлена на рисунке 1. Основными элементами стенда являются: барабанный грохот 1, верхний 2 и нижний 3 баки, трубопроводы 4, 5, 9, насосы 6, приводы грохота 7 и насосов 8, электрическая аппаратура управления пуском стенда и заданием различных режимов процесса грохочения.

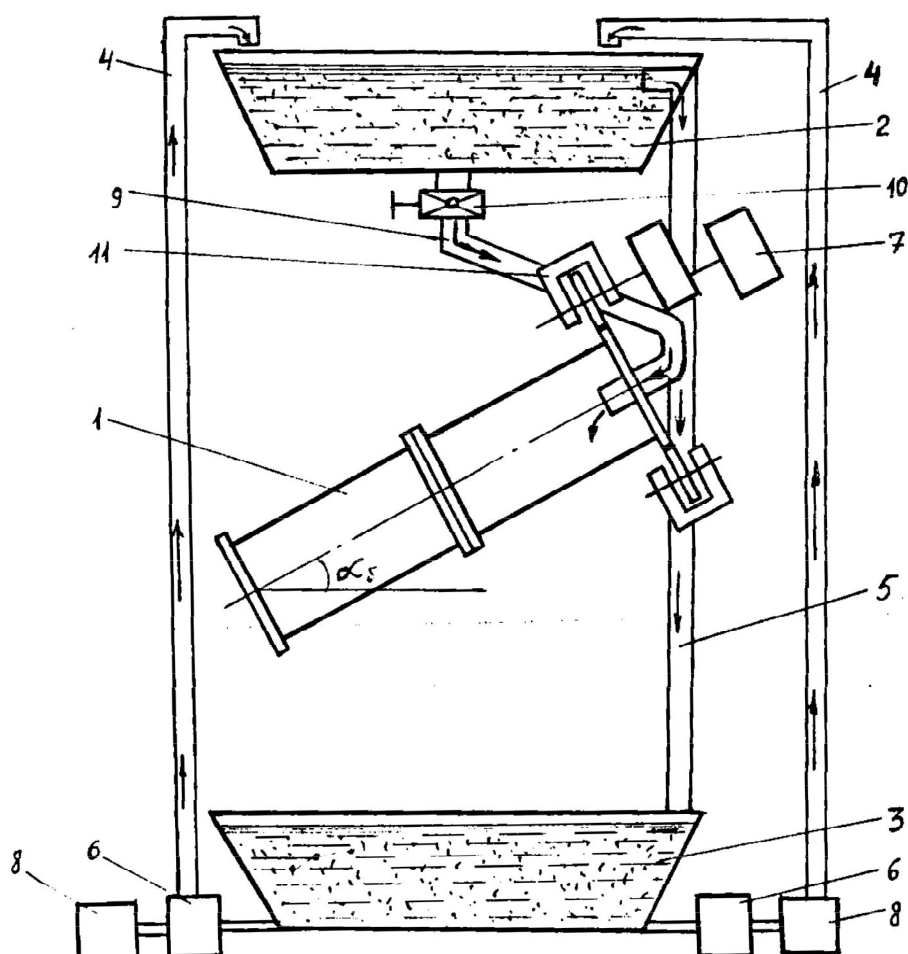


Рисунок 1 - Схема реконструированного стенда
Общий вид стенда показан на рисунке 2.

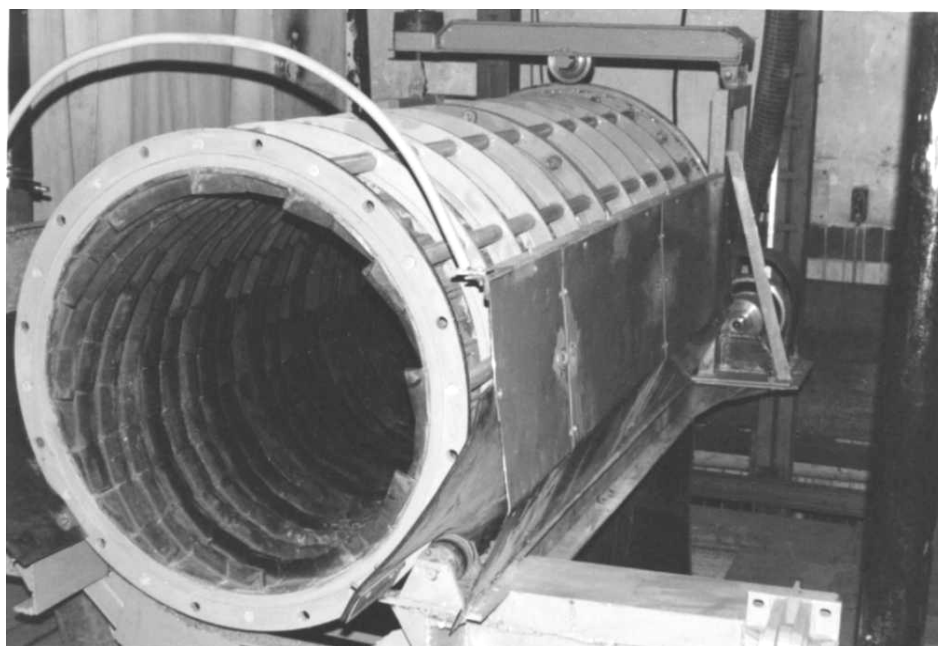


Рисунок 2 - Общий вид стенда

Особенностью лабораторных экспериментальных исследований являлось получение результатов в условиях, максимально приближенных к промышленной эксплуатации грохотов и просеивающих поверхностей типа СДАЛ. Циркуляционное перемещение сыпучего материала от вращательного движения СДАЛ осуществлялось в барабанном грохоте специальной модульной конструкции: диаметр барабана 0,8 м, длина 2,17 м, площадь сита 5,45 м². Исходное питание в грохот подается из верхнего бака 2 через задвижку 10. Верхний бак 2 снабжен переливным порогом, успокоителями и трубами ввода 4. Выходное сечение трубы 9 расположено непосредственно над окном задвижки 10 на расстоянии около 500 мм. Этим обеспечивается подача жидкой и твердой фаз, образующих пульпу, непосредственно в зону задвижки, а также их перемешивание за счет отражения от стенок бака потоков жидкости. Твердая и жидкая фазы подаются в верхний бак 2 центробежными насосами 6, всасывающие патрубки которых соединены со сливной горловиной нижнего бака 3, предназначенного для сбора продуктов грохочения и их смешивания с пульпоносителем.

Барабан приводится во вращение с помощью фрикционного привода 11, составные части которого представлены на схеме (рис. 3). Основу его (рис. 3а) составляет бандаж, смонтированный по образующей цилиндра барабана, и специальные фасонные ролики - приводной и поддерживающий. Движение приводного ролика осуществляется с помощью редуктора.

Желоб приводного ролика (рис. 3б), охватывающий бандаж, соприкасается с последним в двух точках, т.е. имеет две поверхности сцепления, через которые и передается тяговое усилие. Расчеты, выполненные ранее, показали, что для реализации силы тяги $G\mu$ (где μ - коэффициент трения), угол между стенками паза приводного ролика должен составлять 60° . При этом угол установки на барабане между приводным и не приводным фасонными роликами должен составлять 150° .

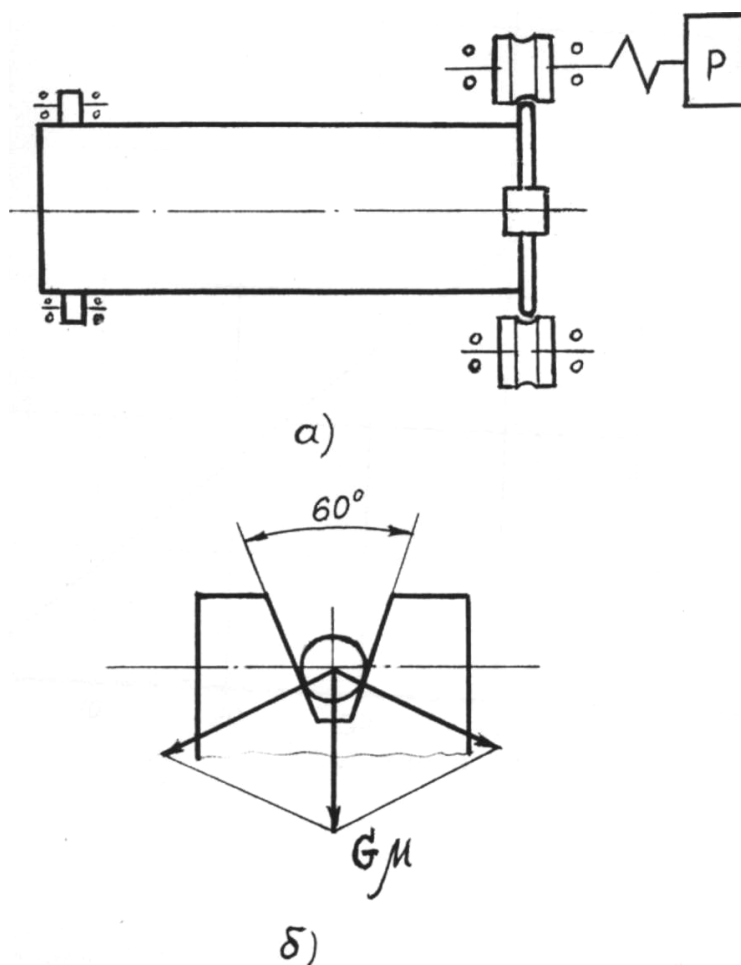


Рисунок 3 – Схема фрикционной передачи привода барабанного грохота

Таким образом, приводным является один ролик, что существенно упрощает конструкцию привода. Кроме того, система содержит еще один ролик и поддерживающие конструкции, что не позволяет фасонным роликам потерять контакт с бандажом при больших углах подъема оси барабана.

Наладка стенда осуществлялась поэтапно и в комплексе. Работа двигателя приводного устройства проверялась после монтажа на раме.

Проверена работа фрикционной передачи при различных частотах вращения барабана и углах подъема его оси. Устранены зазоры. Верхним роликом создано дополнительное прижатие фасонного ролика к барабану.

Комплексная наладка работы стенда включала в себя проверку работы насосов пульпоподачи и всего режима циркуляции пульпы.

Осуществлены отборы проб исходного материала с целью тарировки задвижки пульпоподачи. Тарировочный график показан на рисунке 4. Функцией производительности по исходному питанию $Q_{исх}$, является выход винта задвижка $\Delta_{винта}$.

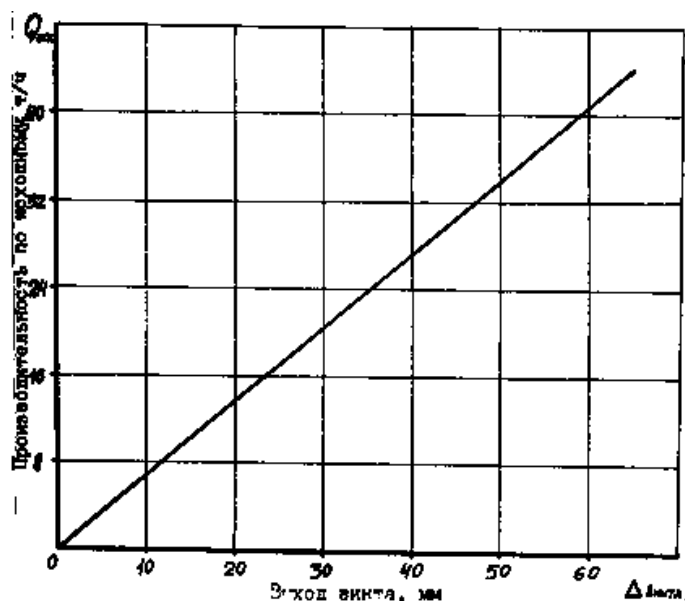


Рисунок 4 – График тарировки задвижки пульпоподачи

Важной принципиальной особенностью стенда является возможность осуществления регулируемого реверсивного вращения барабана, что позволяет предать широкий спектр режимам работы грохота. В совокупности же с плавной подачей исходного материала, регулировкой состава пульпы и системой регулирования угла наклона или подъем оси барабана (от -8 град, до +30 град.) имеется возможность задать режим работы, отличный от традиционных для такого типа устройств. Частота вращения барабана регулируется от 0 до 40 мин⁻¹, подача исходного материала - от 0 до 80 т/ч.

Просеивающие элементы СДАЛ с ячейкой 2,5 мм установлены внутри цилиндрического барабана с многозаходными спиральями. Вращение барабана, наклон грохота и наклон спиралей способствуют перемещению материала (пульпы) по зигзагообразной траектории, его просеиванию и обезвоживанию. В зависимости от величин этих парамет-

ров, а также места загрузки, создаются различные режимы перемещения материала и, соответственно, различные качественные показатели классификации - эффективность и производительность грохочения, "замельченность" надрешетного продукта. В этом состоит новизна экспериментальных исследований.

Отличительной особенностью станда является наличие свободных торцевых проемов, куда беспрепятственно может разгружаться надрешетный продукт и отбираться пробы для последующей их обработки и анализа.

На рисунке 5 представлен диапазон возможностей реализации различных вариантов конструкций и технологического назначения барабанных грохотов с динамически активными рабочими поверхностями типа СДАЛ и многозаходными транспортирующими спиралями. Позиция а) рисунка 5 демонстрирует традиционную схему сухого или мокрого грохочения, при котором угол наклона барабана α_b составляет 0-5 град. В этом случае исходный материал подается в верхнюю часть барабана, а надрешетный выходит с нижней.

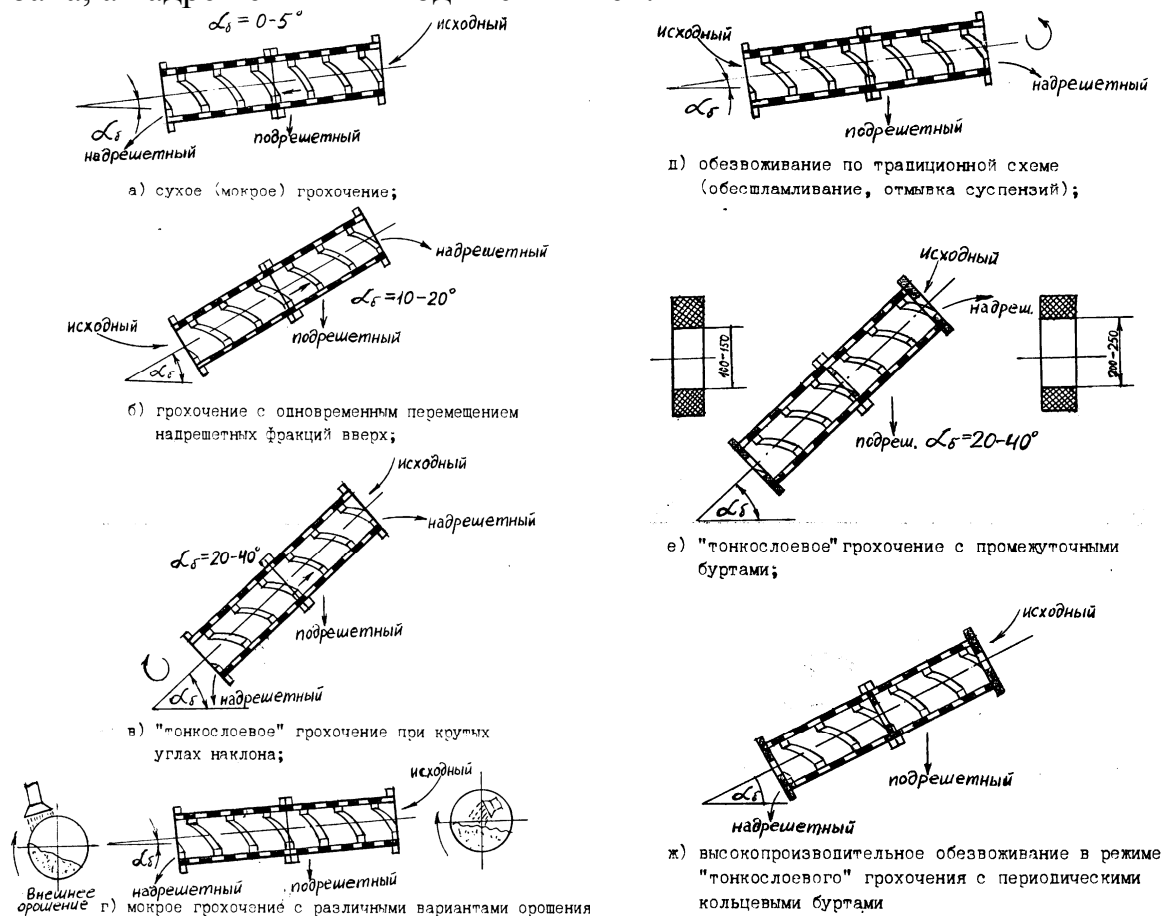


Рисунок 5 – Схемы возможного технологического использования

Возможно осуществлять грохочение и одновременно перемещать надрешетные фракции вверх (рис. 5,б), При этом угол подъема оси барабана может достигать 20 град, и более. Мокрое грохочение по традиционной схеме (рис. 5,г) может быть выполнено с различными вариантами орошения: внутренним, внешним и комбинированно.

Новый вариант технологического назначения грохотов такого типа предполагает осуществление "тонкослоевого" грохочения при крутых (20, 30 и более градусов) углов наклона оси барабана (рис. 5,в). При этом задается такое направление вращения, когда частицы подрешетных фракций движутся от транспортирующих спиралей навстречу подаче исходного материала. Таким образом, происходит одновременное циркуляционное движение частиц в продольной и поперечной плоскостях барабана. Увеличивается время пребывания материала в грохоте, улучшается эффективность грохочения, облегчен повторный запуск грохот после внезапной остановки. В этом новом варианте для улучшения качества грохочения могут быть использованы специальные бурты (рис. 5,е), расположенные по стыкам и торцам барабанов-модулей, способствующие торможению материала внутри барабана и лучшему его разделению.

Барабанные грохоты могут осуществлять еще несколько важных технологических функций: обезвоживание, обесшламливание, отмывку суспензий. Эти функции могут быть выполнены как по традиционной схеме (рис. 5,д), так и в режиме "тонкослоевого" грохочения с периодически установленными кольцевыми буртами (рис. 5,ж).

Для отработки методики экспериментальных исследований выполнены предварительные эксперименты, цель которых состоит в анализе механики перемещения сыпучего материала в области больших углов подъема оси вращения цилиндрической просеивающей поверхности из резиновых элементов СДАЛ с многозаходной транспортирующей спиралью. На основании этих исследований были установлены области варьирования конструктивных и режимных параметров, необходимые при дальнейшем проведении технологических исследований настоящего этапа работы. Для этого барабан грохота заполнялся материалом 3-7 мм. Эти фракции выбрали для того, чтобы исключить просеивание (ячейка сита 2,5 мм) и наблюдать изменение режимов перемещения при варьированы частоты вращения и угла наклона оси барабана.

При изменении направления вращения против направления транспортирования спиралью материал двигался в сторону загрузки. Так при угле наклона оси барабана 10-15 град, и изменении частоты вращения от 15 до 24 мин⁻¹ сохранялся водопадный режим перемещения материала вверх, в сторону загрузки. То есть, с увеличением скорости вращения происходит увеличение скорости транспортирования вверх и

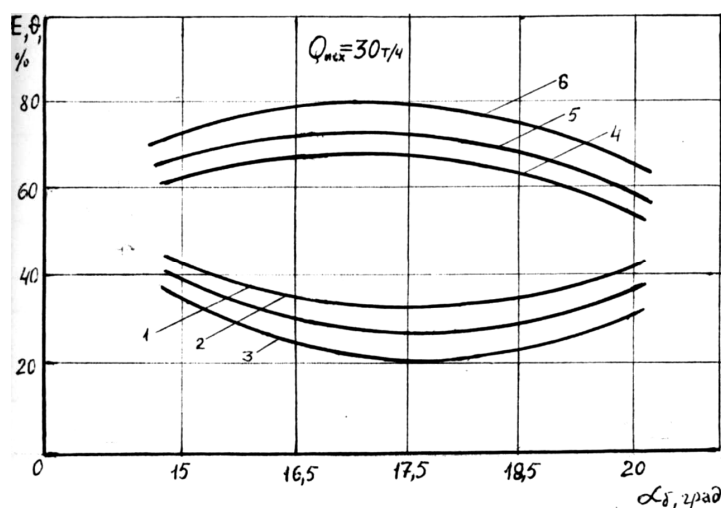
выгрузки через верхний торцевой проем. При этом режим перемещения меняется с каскадного на смешанный и, наконец, чисто водопадный.

При угле наклона 20 град, и более при частоте вращения 15 мин^{-1} начинается разгрузка материала в нижнем торцевом проеме барабана. Наблюдается движение крупных фракций вверх, к верхнему, мелких фракций - вниз, к нижнему торцевым проемам. Таким образом, исходит разделение фракций внутри рабочего органа. Этот эффект сохраняется и при увеличении частоты вращения до $20-26 \text{ мин}^{-1}$. Интенсивность разделения при этом возрастает.

Обнаруженный эффект перемещения материала при крутых углах наклона оси барабана позволяет осуществлять грохочение с получением с одной провеивающей поверхности трех продуктов - подрешетного и двух надрешетных. Он позволяет сформулировать новое перспективное направление дальнейших исследований механики грохочения.

Выполнены технологические экспериментальные исследования тонкослоевого грохочения на полноразмерном стенде с замкнутым циклом питания исходным материалом.

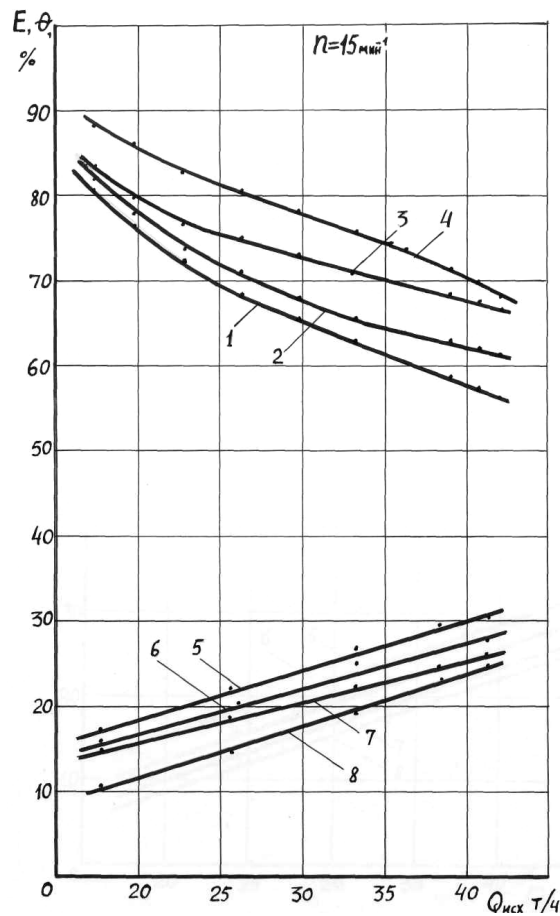
Остановимся на описании и анализе полученных результатов. На рисунках 6-8 представлены графики зависимостей основных показателей грохочения - эффективности и "замельченности" надрешетного продукта от частоты вращения барабана, угла наклона оси барабана и производительности по исходному питанию. Полученные зависимости характеризуются плавным изменением параметров, отсутствием ярко выраженных экстремальных зон и интервалов, имеющих значительные отклонения исследуемых параметров.



для частоты вращения 1-4; 2-5; 3-6; 4-10; 5-15; 6-20 мин^{-1}

Рисунок 6 – Зависимости "замельченности" надрешетного продукта и эффективности грохочения от угла наклона барабана

Так, из графика зависимостей $E, \theta = f(\alpha_0)$ (рис. 6), построенного для производительности по исходному питанию 30 т/ч, следует, что с увеличением угла наклона оси барабана происходит плавное изменение функций E и θ , кривые носят параболический характер. При увеличении угла наклона с 15 град, до 17,5, происходят снижение уровня "замельченности" и, соответственно, увеличение эффективности грохочения на 24-39 %. Дальнейшее увеличение угла наклона приводит к увеличению "замельченности" и снижению эффективности. Это характерно для любых частот вращения барабана. Однако, чем выше частота вращения барабана, тем меньше процент "замельченности" и выше эффективность грохочения.



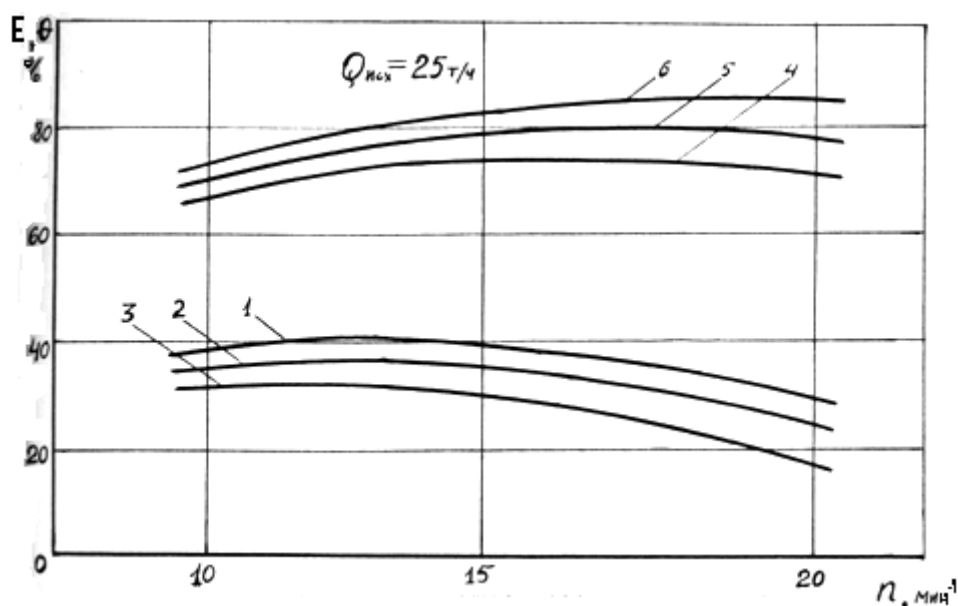
для угла наклона барабана 1,5 – 0; 2,6 – 2; 3,7 – 6; 4,8 – 10 град

Рисунок 7 – Зависимости "замельченности" надрешетного продукта и эффективности грохочения от производительности по исходному питанию

Для иных производительностей по исходному питанию характер изменения параметров, показанных на рисунке 5, сохраняется. Однако,

с уменьшением $Q_{исх}$, "замельченность" надрешетного и эффективность грохочения изменяются по-разному, в зависимости от угла наклона оси α_6 - частоты вращения барабана. До угла наклона 15 град, и частоты 10 мин^{-1} θ уменьшается, а E возрастает соответственно на 10-20 %. При угле наклона 17,5 град θ начинает увеличиваться на 6-11 %, эффективность практически не меняется. С увеличением угла наклона до 20 град, с ростом частоты снижается "замельченность" и увеличивается эффективность грохочения более существенно - на 28-40 %.

Подобные изменения объясняются изменением характера перемещения материала в транспортирующих спиралях при различных частотах вращения барабана. При увеличении частоты происходят переход режимов движения от каскадного до водопадного, и при разных углах на оси эта частота разная. Чем больше угол, тем большую частоту следует задать для достижения водопадного режима. С увеличением частоты вращения возрастает эффект центрифугирования, что, с одной стороны, улучшает просеивание материала (выход подрешетного), а с другой - уменьшает скорость движения материала внутри барабана и снижает производительность по надрешетному продукту.



для угла наклона барабана 1 - 4; 2 - 5; 3 - 6; 4 - 15; 5 - 17,5; 6 - 20 град

Рисунок 8 – Зависимость "замельченности" надрешетного продукта и эффективности грохочения от частоты вращения барабана

На рисунке 7 представлены зависимости "замельченности" надрешетного продукта и эффективности грохочения от производительности по исходному питанию, взятые для частоты вращения 15 мин^{-1} .

Кривые носят пологий характер с небольшим увеличением значений в области производительностей 24-25 т/ч. Оно составляет 14-16 %.

Для меньших углов наклона оси барабана характерны большая "замельченность" надрешетного продукта и меньшая эффективность грохочения. Эта закономерность прослеживается и для других (10, 20 мин⁻¹) частот вращения.

Из рисунка 7 видно, что, с увеличением угла наклона оси от 15 до 20 градусов, "замельченность" надрешетного снижается, примерно, 14-26%, а эффективность грохочения возрастает на 8-13 %. Таким образом, для данной частоты вращения и указанных на рисунке 7 углов α_6 – тонкослоеое грохочение с наилучшими технологическими показателя обеспечивается при производительностях по исходному питанию, равных 24-25 т/ч.

Из двух предшествующих зависимостей (рис. 6, 7) вытекает третья - зависимость θ и E от частоты вращения барабана (n), приведенная на рисунке 8 для производительности по исходному питанию 25 т/ч. Характер кривых свидетельствует о том, что с увеличением наклона оси снижается "замельченность" и увеличивается эффективность грохочения. Так, например, для $\alpha_6 = 20$ град., по сравнению с $\alpha_6 = 15$ град., "замельченность" снизилась в среднем на 34 %, а эффективность грохочения возросла на 13 %.

Оценивая уровень полученных результатов, можно отметить следующее. Экспериментальными технологическими исследованиями установлено, что режим тонкослоеого грохочения материала на наклонной вращающейся поверхности с многозаходными транспортирующими спиралям, при котором достигаются высокие технологические показатели, можно осуществить в классифицирующих устройствах барабанного типа. Так как исследования выполнены на стенде с полноразмерным барабанным грохотом модульной конструкции, то результаты их вполне могут быть использованы на практике в реальных производственных условиях. При любых углах наклона оси барабана возможно достичь наилучших показателей разделения для грохотов подобного типа, находящихся в технологических цепях обогатительных фабрик. Это достигается с помощью плавной регулировки частоты вращения барабана и задаваемой производительности по исходному. Кроме того, наличие транспортирующих спиралей и правильный выбор частоты и направления вращения барабана создают необычные для традиционных машин подобного типа режимы перемещения материала внутри цилиндрической вращающейся поверхности, которые способствуют эффективному разделению исходного материала. Следует отметить, что эксперимент выполнялся с использованием резиновых динамически активных просеивавших элементов типа СДАЛ с ячейкой 2,5 мм, осуществляющих

режим тонкого грохочения. Это новое использование таких установок, так как традиционные барабанные грохоты, используются в основном для среднего и мелкого грохочения (ячейки 60-6 мм). Кроме того, наличие практически не забивающихся материалом эластичных СДАЛ обеспечивает наилучшее просеивание и качество подрешетного продукта.

Исследования показали, что рациональный режим тонкослоевого грохочения может быть достигнут и при крутых (20 и более градусов) углах наклона оси барабана.

По данным эксперимента тонкослоевое грохочение с наилучшими технологическими параметрами обеспечивается:

- для угла наклона оси барабана 15 град.: при $n=20$ мин⁻¹ $Q_{исх}=19$ т/ч;
- для $\alpha_б=17,5$ град.: при $n=20$ мин⁻¹ и $Q_{исх}=30$ т/ч;
- для $\alpha_б=20$ град.: при $n=15$ мин⁻¹ и $Q_{исх}=30$ т/ч.

Таким образом, в случае регулируемости конструктивных параметров грохота (частоты вращения, угла наклона оси барабана) возможно для любой производительности по исходному питанию установить рациональный режим тонкослоевого грохочения.

Практическое использование предоставленных выше параметров грохочения возможно осуществить на действующих фабриках. Однако, следует учесть, что на основные технологические показатели (производительность, "замельченность" надрешетного продукта и эффективность грохочения) влияют также факторы, зависящие от физико-механических свойств материала (плотность, пропускная способность грохота) и конструктивно-механические факторы (размеры грохота, режим его работы). Это обстоятельство предполагает в каждом конкретном случае использования внести коррективы в выбор рациональных параметров грохочения. Поэтому для каждого угла наклона оси барабана значения параметров расширяются. Так, например:

- а) для $\alpha_б=15$ град.: $n=18-24$ мин⁻¹; $Q_{исх}=25$ т/ч;
- б) для $\alpha_б=17,5$ град.: $n=18-24$ мин⁻¹; $Q_{исх}=28-35$ т/ч;
- в) для $\alpha_б=20$ град.: $n=13-18$ мин⁻¹; $Q_{исх}=28-35$ т/ч;
- г) для $\alpha_б=25$ град.: $n=12-15$ мин⁻¹; $Q_{исх}=30-40$ т/ч.

Выводы.

На основании выполненных исследований процесса тонкослоевого грохочения при вращательном движении просеивающей поверхности можно сделать следующие выводы:

1. Режим тонкослоевого грохочения при движении материала по наклонной вращающейся поверхности достигается при плавном регулировании частоты вращения и технологической нагрузки на грохот.

2. Важными особенностями, способствующими созданию режима тонкослоевого грохочения, являются наличие многозаходных транспор-

тирующих спиралей и направление вращения барабана, противоположное направлению транспортирования.

3. Анализ зависимостей основных технологических показателей разделения позволяет сделать заключение о следующем:

- наилучший режим тонкослоевого грохочения с минимальной "замельченностью" надрешетного продукта и максимальной эффективностью обеспечивается при углах наклона оси барабана 17-18 град.;

- каждому углу наклона оси барабана соответствуют разные частоты вращения последнего, при которых реализуются наилучшие технологические показатели;

- чем выше частота вращения, тем ниже уровень "замельченности" надрешетного продукта и выше эффективность;

- для обеспечения наилучших технологических показателей грохочения при увеличении угла наклона оси барабана необходимо увеличивать частоту вращения;

- установлено, что уровень "замельченности" в среднем составил 21-31 %, а эффективность грохочения - 70-81 %;

- тонкослоевое грохочение при крутых углах наклона обеспечивает трехпродуктовое разделение материала и отсутствие затруднений по запуску грохота при завале его после внезапной остановки.

4. Для режима тонкого грохочения впервые получены, приемлемые для рекомендаций производителям, параметры тонкослоевого грохочения на цилиндрической вращающейся поверхности с использованием эластичных СДАЛ.

5. Впервые установлен и описан режим циркуляционного движения материала в продольной и поперечной плоскостях барабана.

6. Установлен новый эффект трехпродуктового разделения материала на одной просеивающей поверхности, заключающийся в одновременном движении мелких частиц вниз, а крупных - вверх и просеивании.

7. Эффективному использованию тонкослоевого грохочения способствуют незабывающиеся сита динамически активные ленточные.

8. Из результатов экспериментальных исследований вытекают следующие рекомендации:

- полученные параметры тонкослоевого грохочения на барабанном грохоте модульной конструкции могут быть рекомендованы для использования на грохотах подобной конструкции в технологических цепях обогатительных фабрик;

- рекомендуется использовать резиновые СДАЛ в качестве просеивающих поверхностей грохотов с вращающимся движением рабочего органа и многозаходными транспортирующими спиральями;

– новым перспективным направлением дальнейших исследований следует считать работы по использованию эффекта одновременного разнонаправленного движения частиц надрешетных фракций для осуществления трехпродуктового разделения материала.

Библиографический список

1. Исламов М.С. Угол подъема сыпучего материала во вращающемся барабане и влияние его на структуру поперечного сечения загрузки / М.С. Исламов // Кам. политех. ин-т., Набережные Челны. - 1990. - 11 с.

2. Назаренко М.В. Регулирование угла наклона сита инерционного грохота / М.В. Назаренко // Изв. вузов. Горн. ж., 1997. - № 1-2. - С. 113-117.

3. Рабочие поверхности грохотов // Aufbereit.-Techn. - 1996. - 37, № 8. - С. 401.

4. Берлин А.М. Новая просеивающая поверхность для грохочения рядовых углей повышенной влажности / А.М.Берлин, В.И. Рокач // Уголь Украины, 1996. - № 12. - С. 29-31.

5. Опыт применения резино-струнных сит на обогатительных фабриках / А.М. Ольховский и др. // Горн. Ж., 1995. - № 3. - С. 41-42.

6. Исследование процессов, машин и аппаратов разделения материалов по крупности // Междвед. сб. научн. тр. Механобр. Ред. Вайсберг Л.А. - Л., 1988. - 183 с.

7. Исламов М.С. О движении материала по наклонной плоскости / М.С. Исламов // Кам. политехи. ин-т., Набережные Челны, 1990. - 21 с.

8. Технология просеивания будущего // Neue Bergbautech, 1991. - 21, № 6. - С. 238.

Рекомендована к печати д.т.н., проф. Фрумкиным Р.А.