

Название работы: Перспективы применения тонкого грохочения в обогащении медных, медно-цинковых руд

Авторы работы: Кривонос Ю.С., Видуецкий М.Г., Мамонов С.В, Ручкин И.И., Взородов С.А., Габдулхаев Р.Л.

Место публикации: Сборник материалов VI конгресса обогатителей стран СНГ (МИСиС, г. Москва)

Год публикации: 2007 г.

Место публикации: Сборник материалов международной научно-технической конференции «Научные основы и практика переработки руд и техногенного сырья» (УГГУ, г. Екатеринбург)

Год публикации: 2007 г.

Место публикации: I Международный научно-практический семинар памяти В.А. Олевского «Проблемы дезинтеграции минерального и техногенного сырья в горной и строительной индустрии» (г. Ставрополь)

Год публикации: 2007 г.

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ТОНКОГО ГРОХОЧЕНИЯ В ОБОГАЩЕНИИ МЕДНЫХ, МЕДНО-ЦИНКОВЫХ РУД

*Видуецкий М.Г., Кривоносов Ю.С., Ручкин И.И., Взородов С.А., Габдулхаев Р.Л.,
Мамонов С.В. «Уралмеханобр»*

Эффективность флотационного обогащения любой руды неразрывно связана с качеством её подготовки к флотации. В первую очередь это касается оптимального гранулометрического состава флотируемой руды, который обеспечивает раскрытие зерен полезного минерала (без переизмельчения) и отделение их от пустой породы..

Для выделения готового по крупности материала в циклах измельчения руд, как правило, применяется гидравлическая классификация, осуществляемая в механических классификаторах или гидроциклонах. При этом, эффективность классификации по готовому классу крупности в указанных аппаратах не превышает 45-50 % [2,3]. Это приводит к уменьшению производительности мельницы по готовому классу, увеличению циркуляционной нагрузки, а также переизмельчению зерен полезных минералов, что в конечном итоге снижает извлечение ценных компонентов в концентрат.

В последнее время на некоторых горно-обогатительных предприятиях гидроциклоны отечественного производства заменены на гидроциклонные установки фирмы «Доберсек», которые снабжены средствами автоматического поддержания давления в гидроциклонах и имеют высокую стоимость. Однако, практика работы предприятий, внедривших указанные установки, показала лишь незначительный прирост эффективности классификации (до 50-55 %).

Существенного улучшения эффективности классификации следует ожидать от применения тонкого грохочения, реализуемого на грохотах нового поколения. Очевидно, что разделение материала по крупности на сетке изначально более эффективно, чем разделение за счет центробежных сил, т.к. в гидроциклонах распределение частиц по продуктам классификации (слив и пески) носит вероятностный характер. Поэтому, тонкое грохочение на сетке должно обеспечивать более качественное

разделение (за счет уменьшения погрешности классификации) и максимальный выход готовых по крупности классов в подрешетный продукт.

Для оценки перспективности применения тонкого грохочения в операциях тонкой классификации сульфидных медных и медно-цинковых руд, а также шлаков металлургического производства обогатительных фабрик Урала и Сибири, институтом «Уралмеханобр» в качестве испытательного агрегата был выбран высокочастотный грохот Repulper корпорации Derrick.

Корпорацией Derrick для тонкого грохочения рекомендуются модели «Стек Сайзер 48» и «Стек Сайзер 56» с длиной и шириной коробов для отсева, соответственно, 4780x1470 мм (площадь 7 м²) и 4780x1830 мм (8,75 м²).

В настоящее время грохоты для тонкого грохочения выполняют самые разнообразные задачи на предприятиях: от отсева мелких абразивных частиц (400 меш) в Буффало и Нью-Йорке до получения промышленных стекольных песков при производительности 100-300 т/час в центральной части США и тонкого отсева железной руды с производительностью 5000 т/час в Северной Африке [5]. Национальная сталепроизводящая компания (NSPC, США) в 1997 г. модифицировала измельчение второй стадии и улучшила качество классификации за счет установки на сливе мельницы грохота тонкого грохочения. Подрешетные продукты грохота являются готовыми продуктами секции измельчения. При этом производительность мельниц второй стадии измельчения выросла на 30-34 %, а удельные энергозатраты снизились на 24 %.

В СНГ грохота тонкого грохочения применяются на ОАО «Карельский окатыш», АО «Ковдорский ГОК», ОАО «Соколовско-Сарбайский ГПО» [5]. За счет их применения на данных предприятиях были получены следующие результаты: значительная экономия по электроэнергии, существенный прирост по выпуску концентратов, а также стабилизация работы узла подготовки питания флотации, которая привела к повышению извлечения ценных компонентов и качества концентратов.

В схемах рудоподготовки сырья цветных металлов грохота тонкого грохочения внедрены в Перу, Мексике, Бразилии.

В России исследования по применению тонкого грохочения в схемах рудоподготовки и обогащении медных, медно-цинковых руд впервые в отрасли цветной металлургии проведены институтом «Уралмеханобр».

В связи с тем, что не существует точной математической модели и справочных таблиц для выбора режимов работы тонкого грохочения, параметры его работы определяются лишь в результате испытательных (тестовых) грохочений конкретных, представительных образцов руды и продуктов обогащения.

В данной работе для определения целесообразности использования грохота в межцикловом измельчении были протестированы промышленные образцы технологических проб десяти горно-обогатительных предприятий ООО «УГМК-Холдинг»: ОАО «Бурибаевский ГОК» (питание гидроциклонов II стадии измельчения); ЗАО «Урупский ГОК» (питание рудных гидроциклонов II стадии измельчения); ОАО «СУМЗ» (слив мельниц II стадии измельчения); ППМ ОАО «Уралэлектромедь» (промпродукт операции III стадии измельчения); ОАО «Учалинский ГОК» (хвосты коллективной флотации, слив гидроциклонов); ОАО «Святогор» (питание рудных гидроциклонов II стадии классификации); Сибайский филиал ОАО «Учалинский ГОК» (слив мельницы II стадии измельчения); ОАО «Сибирь-Полиметаллы» (питание гидроциклонов II стадии классификации); ОАО «Гайский ГОК» (питание гидроциклонов III стадии измельчения); ООО «Березовское рудоуправление» (питание гидроциклонов классификации II стадии измельчения).

Основное влияние на эффективность мокрого тонкого грохочения (классификации) оказывают такие технологические параметры как: содержание твердого в питании грохота; нагрузка на грохот (удельная производительность) и содержание в питании грохота частиц с диаметром, близким к размеру отверстия сит.

Общеизвестно, что во всех случаях увеличение величин указанных параметров ведет к снижению эффективности грохочения. Наибольшее влияние на эффективность грохочения оказывает содержание твердого в питании грохота. Для достижения достаточно высокой эффективности классификации руд цветных металлов, подвергаемых в дальнейшем флотационному обогащению, нельзя произвольно снижать плотность в питании грохота, поскольку подрешетный продукт грохочения

должен поступать на флотацию с оптимальной для данного процесса плотностью 30-36 % твердого. Экспериментальным путем было определено, что заданное устойчивое содержание твердого в подрешетном продукте достигается при плотности питания 39 - 45 % (в среднем 42 %) и стационарном угле наклона грохота 24° . С другой стороны, в промышленных условиях пульпа питания узлов классификации, определяемая сливом мельниц, как правило, содержит более 50 % твердого.

На рисунке 1 представлена графическая зависимость основных параметров тонкого грохочения от содержания твердого в питании грохота.

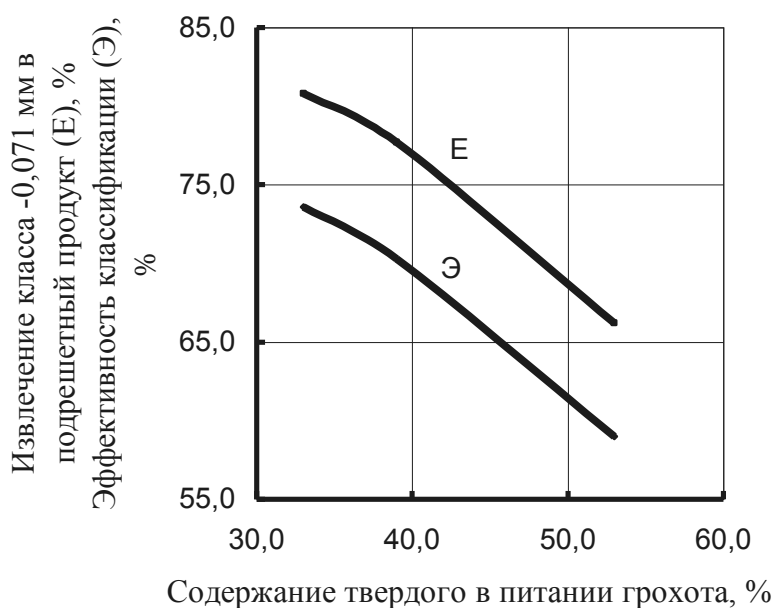


Рисунок 1 – Зависимость основных технологических показателей тонкого грохочения от содержания твердого в питании грохота

Из графика видно, что с увеличением плотности питания грохота до 55 % эффективность классификации (Э) не превышает 60 %, содержание расчетного класса в подрешетном продукте (E) не превышает 70 %.

Повысить значения эффективности и извлечения при грохочении продуктов с весьма большой плотностью возможно путем внедрения дополнительного верхнего орошения с расходом воды не более $1,6 \text{ м}^3/\text{ч}$. При этом эффективность классификации возрастает до уровня 75-83 %, извлечение класса – 0,071 мм в подрешетный

продукт - до уровня 80 %. Необходимо отметить, что при использовании верхнего орошения обводнение продуктов классификации не наблюдается: содержание твердого в подрешетном продукте составляет величину не ниже 30 %, что является оптимальным для флотационного обогащения колчеданных руд цветных металлов.

На пробе слива II стадии измельчения (питание II стадии классификации) обогатительной фабрики Сибайского филиала ОАО «Учалинский ГОК» проведена отработка основных направлений исследований: твердого в питании, равное величине 56 % (с применением верхнего орошения при расходе воды 1,6 м³/ч); при этом уточнен типоразмер сит и диапазон изменения удельной нагрузки на грохот, при которой эффективность классификации находится в приемлемом для практики интервале от 65 до 80 %.

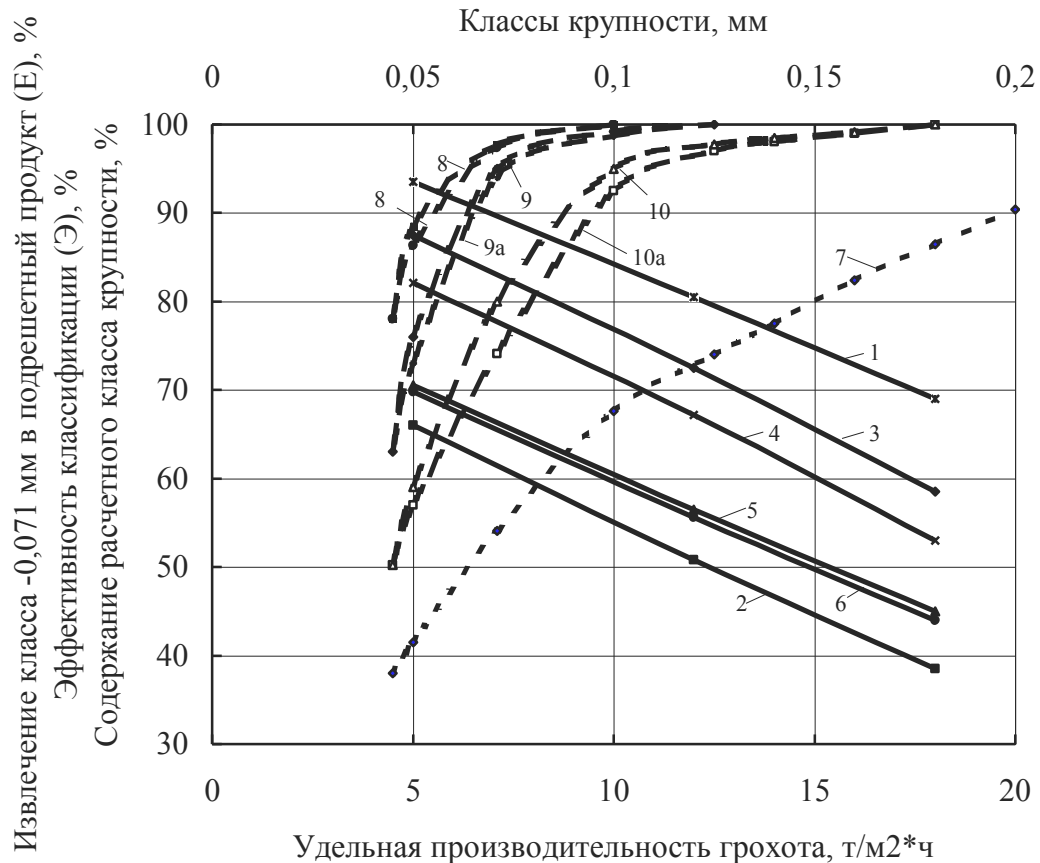
Результаты тонкого грохочения приведены на рисунке 2. Нижняя шкала графика (удельная производительность, т/м²·ч) относится к кривым извлечения E и эффективности классификации Э по расчетному классу -0,071 мм, а верхняя шкала (класс крупности, мм) – к интегральным ситовым характеристикам, построенным по содержанию минусового класса.

Из данных приведенных на рисунке 2, следует, что при удельной производительности грохота от 5 до 20 т/м²·ч наблюдается постепенное снижение эффективности грохочения. Зависимость эффективности классификации и извлечения класса -0,071 мм в подрешетный продукт от удельной производительности грохота в указанном диапазоне, при прочих равных условиях, имеет вид линейной функции. В общем виде, для всех тестируемых проб горно-обогатительных предприятий описывается уравнением линейной зависимости:

$$y = -ax + b,$$

где a и b – постоянные коэффициенты, определяемые в результате постановки эксперимента на конкретном технологическом типе руды.

При тестировании пробы одного технологического типа руды при различных производительностях на ситах с размерами ячеек 100, 125 и 140 мкм получаем систему уравнений для определения эффективности грохочения (Э) и извлечения класса -0,071 мм в подрешетный продукт (E):



1 – зависимость извлечения расчетного класса от удельной производительности грохота (разделение 0,140 мм); 2 – зависимость эффективности грохочения от удельной производительности грохота (разделение 0,140 мм); 3 – зависимость извлечения расчетного класса от удельной производительности грохота (разделение 0,125 мм); 4 – зависимость эффективности грохочения от удельной производительности грохота (разделение 0,125 мм); 5 – зависимость извлечения расчетного класса от удельной производительности грохота (разделение 0,100 мм); 6 – зависимость эффективности грохочения от удельной производительности грохота (разделение 0,100 мм); 7 – ситовая характеристика исходной пробы сульфидной руды; 8 и 8а – ситовая характеристика подрешетного продукта при удельной производительности грохота 5 и 16 т/м²ч, соответственно (разделение 0,100 мм); 9 и 9а – ситовая характеристика подрешетного продукта при удельной производительности грохота 5 и 18 т/м²ч, соответственно (разделение 0,125 мм); 10 и 10а – ситовая характеристика подрешетного продукта при удельной производительности грохота 5 и 18 т/м²ч, соответственно (разделение 0,140 мм)

Рисунок 2 – Изменение основных технологических параметров от удельной производительности грохота при грохочении сульфидной руды

$$\begin{cases} E_{100} = a_1 x + b_1 \\ E_{125} = a_2 x + b_2 \\ E_{140} = a_3 x + b_3 \end{cases} \quad \begin{cases} \mathcal{E}_{100} = a_4 x + b_4 \\ \mathcal{E}_{125} = a_5 x + b_5 \\ \mathcal{E}_{140} = a_6 x + b_6 \end{cases}$$

где a_i, b_i – экспериментально определяемые коэффициенты,
 x – значение удельной производительности.

Если принять значение удельной производительности за постоянную величину, равную $10 \text{ т/м}^2 \cdot \text{ч}$ и решить данную систему уравнений, относительно размера ячейки сита, принимая коэффициенты a_i и b_i по экспериментальным данным, то получим следующие значения:

$$\begin{cases} E_{100} = 60,60 \% \\ E_{125} = 76,55 \% \\ E_{140} = 84,14 \% \end{cases} \quad \begin{cases} \mathcal{E}_{100} = 59,76 \% \\ \mathcal{E}_{125} = 71,16 \% \\ \mathcal{E}_{140} = 55,30 \% \end{cases}$$

Теоретически выведенная зависимость технологических показателей полностью подтверждается практическими значениями, приведенными на рисунке 3. Они были получены в результате тонкого грохочения одного технологического типа руды при постоянной удельной производительности грохота, равной $9,0 \text{ т/м}^2 \cdot \text{ч}$, при постоянном угле наклона, равного 24^0 , постоянном содержании твердого в питании грохота равном 56% и постоянном расходе воды, направляемой на верхнее орошение, равном $1,6 \text{ м}^3/\text{ч}$. Полученные зависимости основных технологических параметров от удельной производительности грохота и размера ячейки сит, при прочих равных условиях, позволяет прогнозировать результаты работы грохотов тонкого грохочения в промышленных условиях.

По результатам стендовых испытаний необходимо также отметить, что при удельной производительности грохота равной диапазону изменения от 5 до $20 \text{ т/м}^2 \cdot \text{ч}$ «срыва» работы грохота, при которой эффективность тонкого грохочения стремится либо достигает нулевых значений, достигнуто не было. Поэтому данный интервал может быть принят в качестве рабочего интервала при последующих исследованиях.

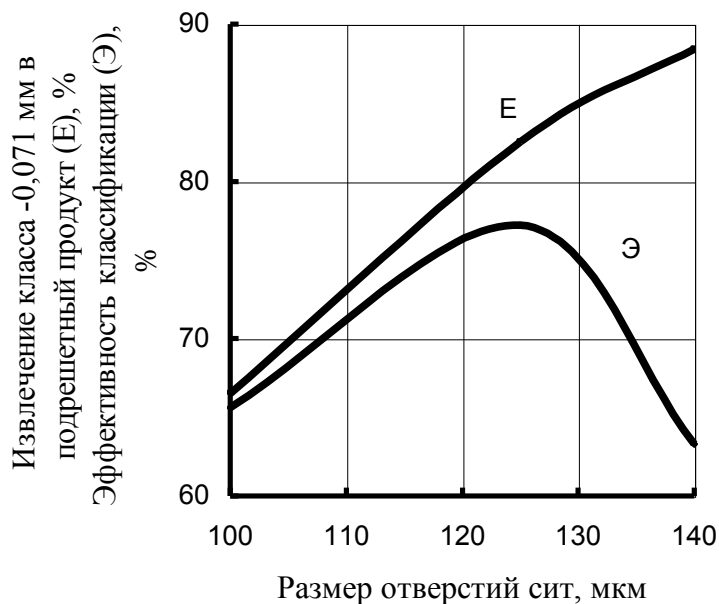


Рисунок 3 – Зависимость основных технологических показателей тонкого грохочения от размера отверстий сит

В дальнейшем при тестировании проб предприятий за основу принят диапазон изменения удельной производительности грохота в интервале от 5 до 20 т/м²·ч, размер отверстий ячеек сита 100 и 125 мкм, как наиболее приемлемые для получения подрешетного продукта с оптимальной ситовой характеристикой для последующего флотационного процесса, а также использование верхнего орошения с расходом воды не более 1,6 м³/ч в случаях высокой плотности питания с целью повышения эффективности классификации.

Анализ данных испытаний тонкого грохочения по предприятиям позволяет сделать следующие обобщающие выводы:

Размер разделения. Выбор размера разделения (размер ячеек сита) согласно литературным данным [2] определяется размером зерна граничной крупности разделения. Для исследованных проб эта величина колеблется в интервале 70-100 мкм. Это значение, с учетом наклона грохота (угол наклона грохота составляет 24⁰) должно быть увеличено на величину 1,25. В таком случае, для практического использования применимы сита с ячейками 100 мкм и 125 мкм. Для использования в промышленных условиях предпочтение следует отдать ситам с размером ячейки,

равным 125 мкм. Поскольку эффективность разделения на этих ситах при удельной производительности грохота $10 \text{ т/м}^2 \cdot \text{ч}$ составляет значения выше 75 %, то при этом также наблюдается высокое содержание расчетного класса в подрешетном продукте грохота, что иллюстрируется данными рисунков 2 и 3.

Содержание расчетного класса. Абсолютный прирост расчетного класса крупности $-0,071 \text{ мм}$, получаемый при грохочении питания II и III стадий классификации при размере разделения 125 мкм и средней производительности грохота, равной $10 \text{ т/м}^2 \cdot \text{ч}$, составит по предприятиям: ЗАО «Бурибаевский ГОК» - 38 %; ЗАО «Урупский ГОК» - 34 %; ОАО «СУМЗ» - 52 %; ППМ ОАО «Уралэлектромедь» - 40 %; ОАО «Учалинский ГОК» - 40 %; ОАО «Святогор» - 48 %; Сибайский филиал ОАО «Учалинский ГОК» - 40 %; ОАО «Сибирь-Полиметаллы» - 38 %. При этом содержание расчетного класса в подрешетном продукте грохота будет иметь величину, равную 80-95 %.

Точность разделения. Грохот отсеивает 97-98 % зерен материала размером, равным размеру ячеек установленного на нем сита. Иначе говоря, он пропускает в подрешетный продукт только 2-3 % зерен выше этого размера и дает «чистую» ситовую характеристику, мало зависящую от производительности (что подтверждается кривыми 8-10 рисунка 2), в то время как на известных грохотах проход крупной фракции превышает значение 5-12 %.

Эффективность грохочения. Снижение эффективности грохочения при увеличении нагрузки на грохот – общая закономерность, подтвержденная практическими исследованиями. Предельная нагрузка на грохот, при которой идет «срыв» потока и практически нет выхода подрешетного продукта в исследуемой области, при испытаниях не была достигнута. По интерполяции построенных кривых (рисунок 1) можно предположить, что критическая нагрузка лежит в области от $40-50 \text{ т/м}^2 \cdot \text{ч}$. На практике следует рекомендовать ведение отсева при ограниченной или оптимальной удельной производительности $10 \text{ т/м}^2 \cdot \text{ч}$, что соответствует $85-90 \text{ т/ч}$ для типового аппарата Стек-Сайзер. При этом эффективность грохочения будет находиться в среднем на уровне -75% .

Эффективность классификации (по представленным продуктам) составляет: ЗАО «Бурибаевский ГОК» - 78 %; ЗАО «Урупский ГОК» - 56 %; ОАО «СУМЗ» - 73 %; ППМ ОАО «Уралэлектромедь» - 68 %; ОАО «Учалинский ГОК»: от 62 % (на хвостах коллективной флотации) до 70 % (на сливе гидроциклонов); ОАО «Святогор» - 67 %; Сибайский филиал ОАО «Учалинский ГОК» - 77 %; ОАО «Сибирь-Полиметаллы» - 73 %; ООО «Березовское рудоуправление» - 77,6 %.

В таблице 1 приведены результаты стендовых испытаний тонкого грохочения в сравнении с реальными параметрами работы узлов классификации промышленных предприятий.

Подрешетный продукт. Химический и минералогический анализы проб грохочения показывают устойчивую закономерность, заключающуюся в том, что при тонком грохочении наблюдается перераспределение ценных компонентов (в частности меди) по продуктам. Прирост массовой доли меди в подрешетном продукте (относительно ее содержания в питании грохота), во всех рассматриваемых случаях, составил величину, равную для сульфидных руд (в относительных %): ЗАО «Бурибаевский ГОК» - 11 %; ЗАО «Урупский ГОК» - 15,6 %; ОАО «Учалинский ГОК» - 10 %; ОАО «Святогор» - 11 %; Сибайский филиал ОАО «Учалинский ГОК» - 6,8 %; ОАО «Сибирь-Полиметаллы» - 9 %. Для шлаков металлургического производства, для которых закономерности тонкого грохочения идентичны грохочению сульфидных руд (рисунок 4), прирост массовой доли меди составляет (в относительных %): ОАО «СУМЗ» - 34 %; ППМ ОАО «Уралэлектромедь» - 40 %.

Прирост массовой доли меди определяется концентрированием раскрытых минералов в подрешетном продукте, что позволяет сделать вывод о том, что грохот тонкого грохочения не только разделяет материал по крупности, но и кондиционирует, стабилизирует состав подрешетного продукта перед флотационным обогащением. Так, флотационные исследования, проводимые на сливе промышленного гидроциклона и подрешетном продукте грохота тонкого грохочения, при прочих равных условиях, показали, что при флотации подрешетного продукта получается медный концентрат с массовой долей меди в нем, равной величине 15,50 %, в то время

Таблица 1 – Сравнительные параметры гидроциклонирования и тонкого грохочения

Предприятие УГМК (точка оп- робования)	Производственные показатели гидроциклонирова- ния			Показатели тестирования по тонкому грохочению на аппарате «Деррик»*		
	Содержание расчетного класса -0,074 мм в сливе, %	Извлечение расчетного класса в слив, %	Эффективность классификации, %	Содержание расчетного класса -0,074 мм в подрешетном продукте, %	Извлечение расчетного класса в подре- шетный про- дукт, %	Эффективность классификации, %
ОАО «СУМЗ» Классификация II стадии измельче- ния (ГЦ 50)	64,0	57,9	35,7	84,0	81,4	73,6
ОАО «Сибирь- Полиметаллы» Классификация II стадии измельче- ния (ГЦ 40)	91,8	28,9	27,1	92,0	82,5	73,3
ОАО «Учалинский ГОК». Сибайский филиал. Питание классификации II стадии измельче- ния (ГЦ 50)	83,2	60,2	41,1	94,2	72,5	67,2
ОАО «Учалинский ГОК». Слив гидро- циклонов мельни- цы №8 (питание классификации II)	66,0	48,8	30,0	84,1	80,8	70,5
ОАО «Святогор». I стадия классифи- кации	50,7	47,1	28,1	73,0	79,6	66,6
ППМ ОАО «Ура- лэлектромедь». Классификация III стадии измельче- ния (ГЦ 50)	78,0	56,8	39,0	78,8	81,6	67,7
ЗАО «Бурибаев- ский ГОК». Пита- ние классификации II стадии измельче- ния (ГЦР-500, ГЦР- 360)	75,0	39,0	23,0	86,4	89,4	75,0

* данные по состоянию на декабрь 2006 г.

** размер отверстия сита 125 мкм, удельная производительность 10 т/м²·ч

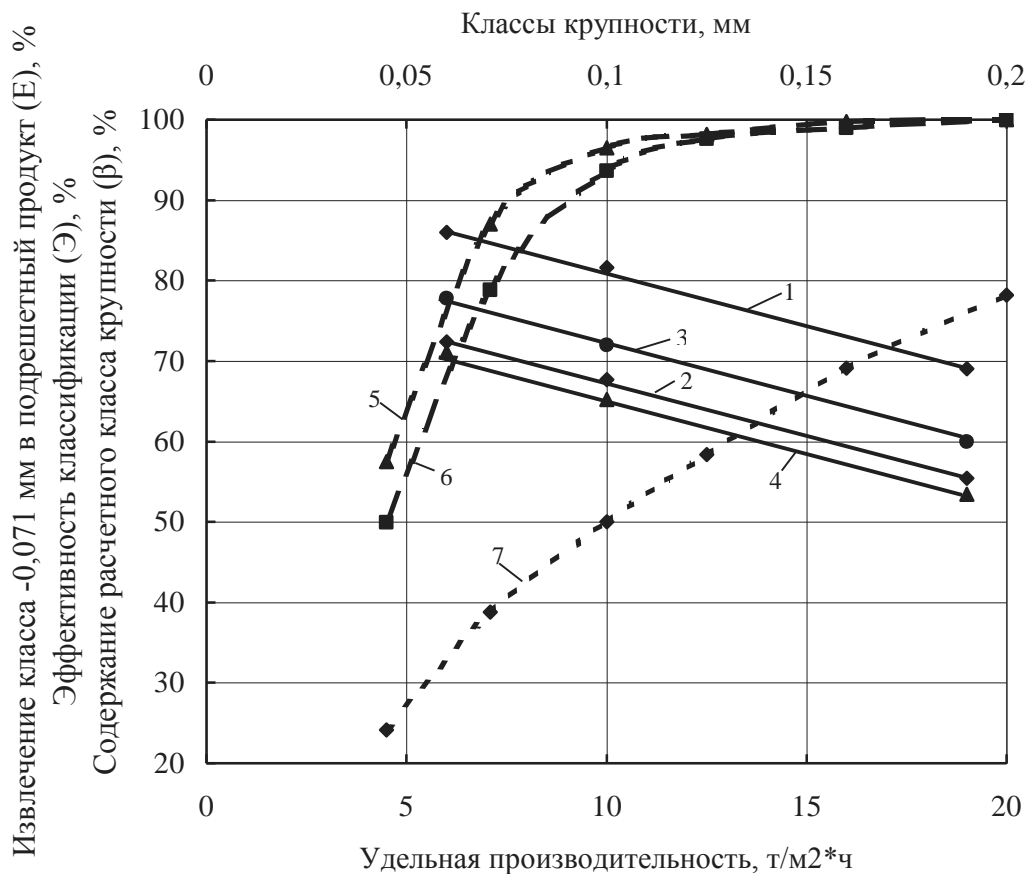
как при флотации слива промышленного гидроциклона медный концентрат получается с содержанием меди 15,41 %. При этом прирост извлечения меди в концентрат составляет 3,13 %. Учитывая это, грохота тонкого грохочения возможно использовать для повышения массовой доли меди на 2-3 и более процентов в бедных медных концентратах с массовой долей меди в них менее 15 % и крупностью до 80-85 % класса –0,071 мм, с последующей доработкой надрешетного продукта в отдельном цикле обогащения (или возвратом его в операции измельчения).

При тонком грохочении продуктов с использованием верхнего орошения и без такового характерно то, что обводнение подрешетного продукта не происходит. При содержании твердого в питании грохота 38-56 % плотность подрешетного продукта составляет 29-37 %, что является оптимальной для флотационного обогащения сульфидных руд и металлургических шлаков.

Помимо вышеизложенного, необходимо отметить, что освоение тонкого грохочения вместо гидроциклонирования позволит на обогатительных фабриках обеспечить стабильность питания последующих стадий измельчения и флотации по плотности и гранулометрическому составу флотируемых продуктов и снизить циркуляционную нагрузку на стадиях измельчения до уровня не более 200-300 %. Данные параметры, наряду с эффективностью классификации, позволяют регулировать производительность процесса замкнутого цикла измельчения.

Для оценки влияния величины эффективности классификации (\mathcal{E}) на производительность мельницы (Q) обычно пользуются формулой С.Е. Андреева [1, стр.334], принимая величину циркулирующей нагрузки при производительности мельницы Q_1 и Q_2 одинаковой, равной C , эффективность классификации при производительности Q_1 постоянной, равной 100 % ($\mathcal{E}_1=1$) и при производительности Q_2 , равной \mathcal{E}_2 :

$$\frac{Q_2}{Q_1} = \frac{\lg \frac{1+C}{C}}{2+C - \frac{1}{\mathcal{E}_2}} \cdot \frac{\lg \frac{\mathcal{E}_2}{1+C - \frac{1}{\mathcal{E}_2}}}{\mathcal{E}_2}$$



1 – зависимость извлечения расчетного класса в подрешетный продукт от удельной производительности грохота (разделение 0,125 мм); 2 – зависимость эффективности грохочения от удельной производительности грохота (разделение 0,125 мм); 3 – зависимость извлечения расчетного класса в подрешетный продукт от удельной производительности грохота (разделение 0,100 мм); 4 – зависимость эффективности грохочения от удельной производительности грохота (разделение 0,100 мм); 5 – ситовые характеристики подрешетного продукта при производительности грохота 10 т/м²ч (разделение 0,100 мм); 6 – ситовые характеристики подрешетного продукта при производительности грохота 10 т/м²ч (разделение 0,125 мм); 7 – ситовая характеристика исходной пробы

Рисунок 4 – Изменение основных технологических параметров от удельной производительности грохота при грохочении шлака медеплавильного производства

Относительные производительности мельницы при различных значениях циркулирующей нагрузки и эффективности классификации приведены на рисунке 5.

Данные рисунка 5 показывают, что производительность мельницы тем меньше, чем ниже эффективность классификации, причем, отрицательное влияние эффективности больше сказывается при низких циркулирующих нагрузках.

Любое увеличение эффективности классификации дает экономию в расходе энергии на измельчение благодаря уменьшению количества переизмельчаемого материала и позволяет использовать большую часть энергии, необходимой для вращения мельницы, для измельчения некондиционных крупных зерен рудного материала.

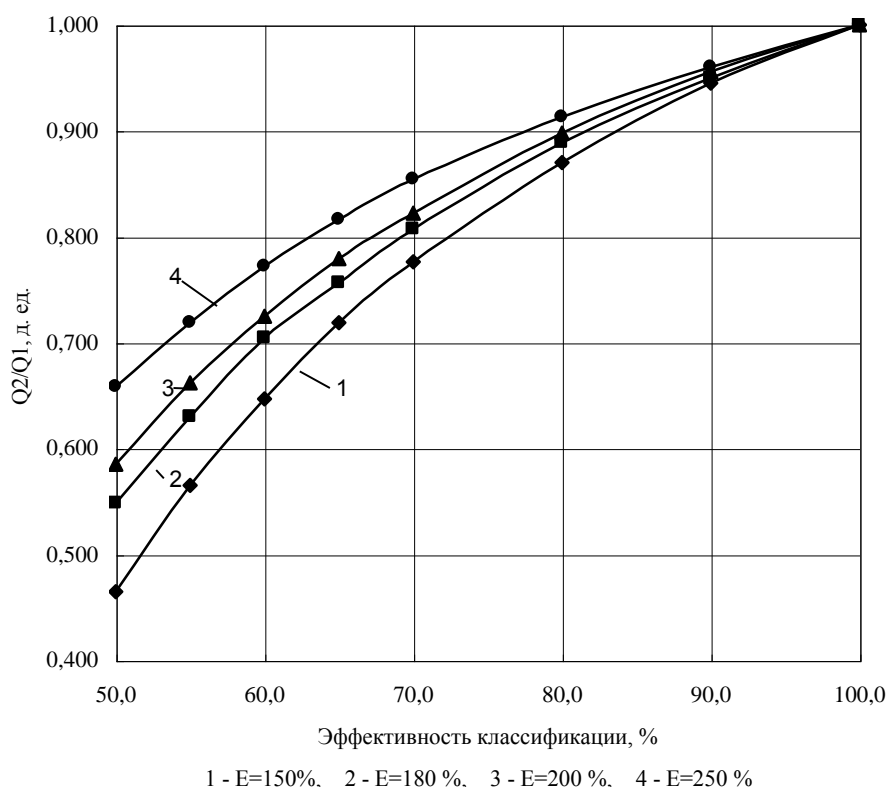


Рисунок 5 – Зависимость относительной производительности мельницы от эффективности классификации при различных значениях циркулирующей нагрузки

При замене в традиционных схемах измельчения гидроциклонов с уровнем эффективности классификации не более 50 % на более эффективное тонкое грохочение на грохотах корпорации «Деррик», например, при циркулирующей нагрузке 200 %, повышение эффективности классификации на 10 % может обеспечить увеличение производительности мельницы на 24 % ($\frac{0,725 - 0,585}{0,585} \cdot 100$), а повышение Э на

20 % с 50 до 70 % позволит иметь выигрыш в производительности до 40,5 %
 $(\frac{0,822+0,585}{0,585} \cdot 100)$.

Экономические расчеты показали, что срок окупаемости внедрения данных аппаратов, в зависимости от объемов производства обогатительной фабрики, не превышает 2,5 лет.

Список использованных источников

1. Андреев С.Е., Зверевич В.В., Петров В.А. Дробление, измельчение и грохочение полезных ископаемых. Из-во «Недра». М, 1966. 396 с.
2. Справочник по обогащению руд. Подготовительные процессы. М., Недра, 1982.
3. Вайсберг Л.А., Коровников А.Н. Тонкое грохочение как альтернатива гидравлической классификации по крупности. Обогащение руд, 2004 г., №3.
4. Освоение высокочастотного грохота корпорации «Деррик» на ОАО «ССПО». Горная промышленность, 2002 г., № 4.
5. Steven В. Тонкое грохочение в технологии обогащения минерального сырья. Горная техника, 2005 г.