

А.С. КИРНАРСКИЙ, д-р техн. наук
(Германия, "Инжиниринг Доберсек ГмбХ")

ГРОХОТ И/ИЛИ ГИДРОЦИКЛОН?

Грохочение – древнейший технологический процесс, документальные подтверждения применения которого находим уже на настенных росписях в Египте, датируемых примерно 1500 до н.э. [1]. Гидроциклон же впервые был запатентован только в 1891 году [2]. Он составил конкуренцию грохотам при переработке мелкодисперсного минерального сырья ввиду значительной производительности и эффективности, простоты и компактности, удобства компоновки и надежности. Особенно актуально стало использование гидроциклонов в замкнутых циклах измельчения руд, где наряду с указанными преимуществами обнаружились и их недостатки, основным из которых есть то, что в гидроциклоне накладывается два технологических процесса: классификация по крупности и разделение по плотности. В результате этого в песках гидроциклона накапливается значительное количество готового продукта высокой плотности, что приводит к увеличению непродуктивной циркулирующей нагрузки, переизмельчению ценных минералов и снижению их извлечения. Для устранения таких негативных явлений прибегают к установке в замкнутых циклах высокочастотных виброгрохотов. Рассмотрим типичную двухстадиальную схему шарового измельчения золотосодержащей руды в замкнутом цикле с высокочастотными виброгрохотами (рис. 1) и гидроциклонами (рис. 2). Рудоподготовка включает четыре стадии дробления и измельчение в валках высокого давления (ИВД). Годовая производительность предприятия – 5 млн т или в часовом измерении – 628 тонн по дробленой руде. Как видно из рис. 1, при установке грохотов эффективность разделения по граничной крупности – 0,071 мм достигает 76,02% по первой стадии и 75,38% – по второй стадии гидрогрохочения, что позволяет сократить циркуляционную нагрузку на первой стадии до 130% и на второй стадии измельчения – классификации до 110%. Переход схемы на автоматизированные гидроциклонные установки "Conticlass[®]" (рис. 2) позволяет получить эффективность на первой и второй стадиях гидроклассификации соответственно 63,65 и 70,19%, что уступает показателям тонкого грохочения. Ввиду большего засорения песков гидроциклонов готовым классом – 0,071 мм циркуляционная нагрузка возрастает по первой стадии до 174,69% и по второй стадии – до 130%. Такое положение объясняется тем, что гидроциклон работает по двум разделительным признакам, крупности и плотности зерен, в результате чего в песках оседает тонкодисперсное золото высокой плотности. Безусловно, согласно принципу однофункциональности [3], грохоты предпочтительнее, но какой ценой достигается это преимущество? Известно, что высокочастотные виброгрохоты требуют значительного разбавления исходной пульпы до содержания твердого не более 35%. Следствием этого есть обводнение системы. Дейст-

Підготовчі процеси збагачення

вительно, водооборот в условиях схемы на рис. 1 составляет 1869,98 м³/час, а на схеме (рис. 2) – 902,35 м³/час. Следовательно, по водопотреблению примат следует отдать технологии с применением гидроциклонов.

Условные обозначения:

Нагрузка, т/ч	Объем пульпы, м ³ /ч
Выход, %	Объем воды, м ³ /ч
Сод. твердого, %	Сод. кл. - 0,074 мм, %

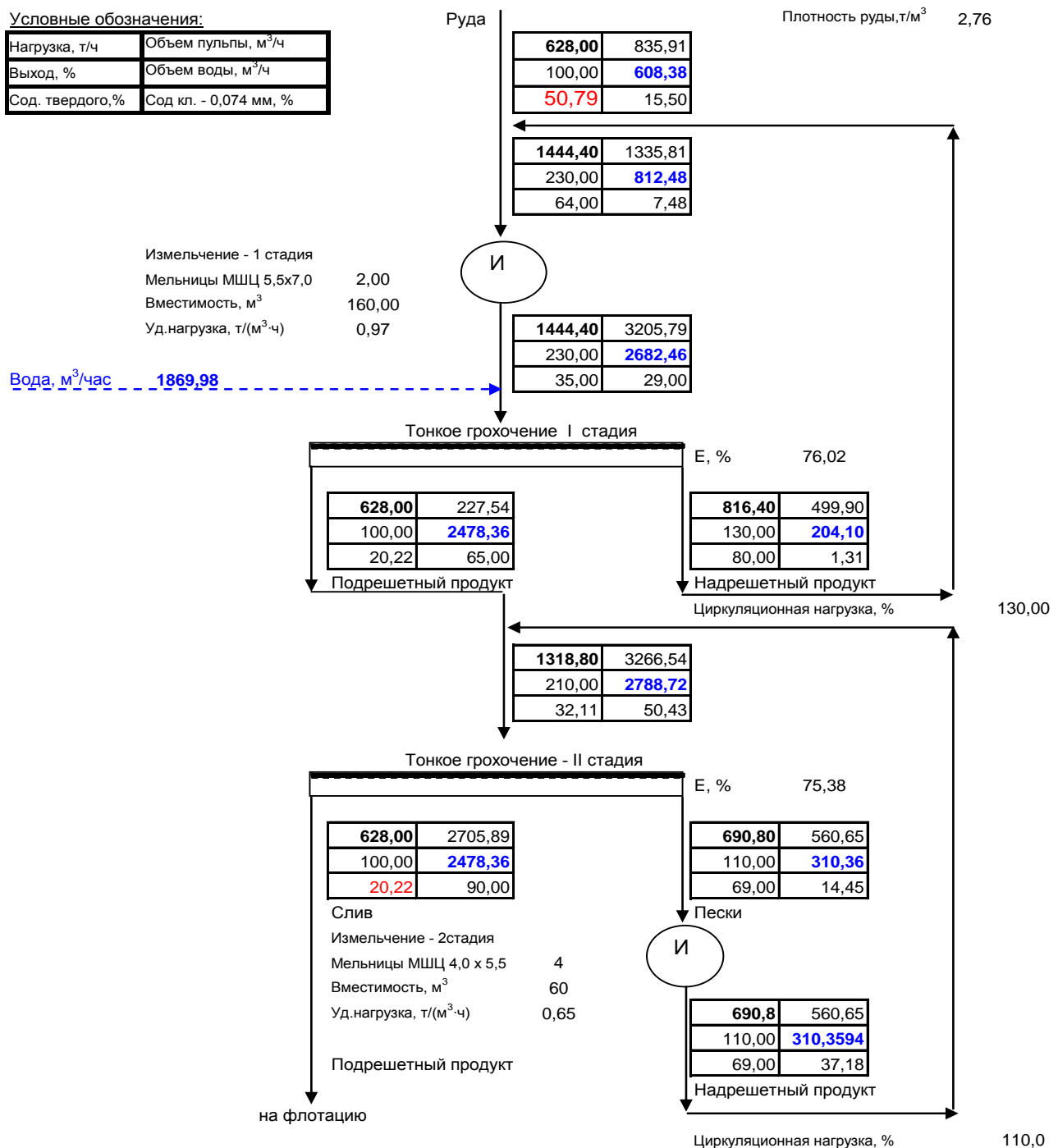


Рис. 1. Водно-шламовая схема цикла измельчения золотосодержащей руды с использованием высокочастотных виброгрохотов

Підготовчі процеси збагачення

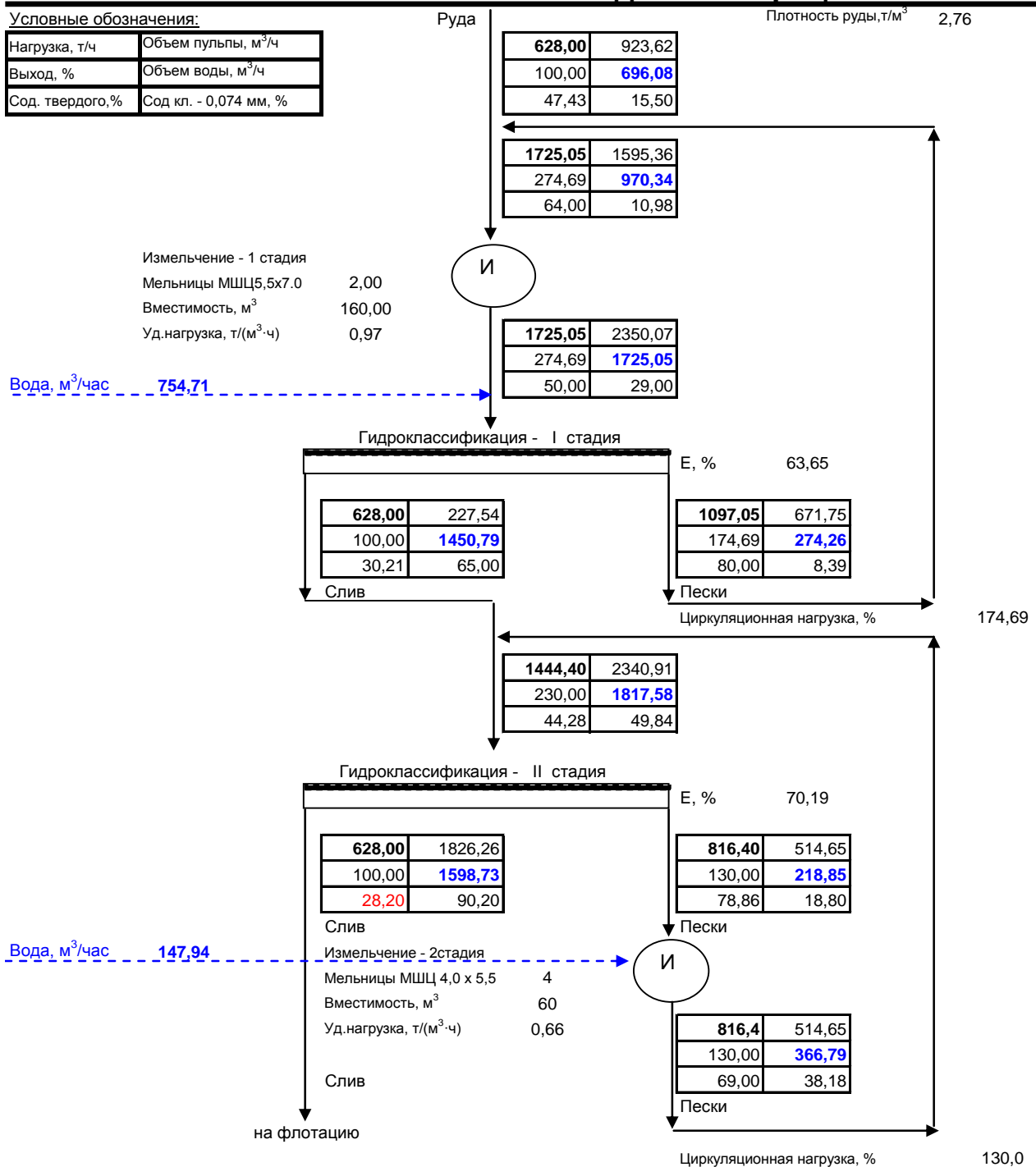


Рис. 2. Водно-шламовая схема цикла измельчения золотосодержащей руды с использованием автоматизированных гидроциклонных установок "Conticlass®"

Другой важный технологический показатель – это содержание твердого на выходе отделения измельчения. Обычно в питании флотации содержание подерживается на уровне 27-30%. В схеме с грохотами этот показатель не более 20,22%, в то время как в сливе гидроциклонов второй стадии – не менее 28,20%, что означает меньший фронт флотации при последующем обогащении руды.

Підготовчі процеси збагачення

Таким образом, повышенная эффективность разделения достигается за счет обводненности системы и разбавления питания флотационных машин. Но самый большой недостаток состоит в том, что необходимая площадь грохочения превышает разумные пределы с точки зрения компоновочных решений. Рассчитаем необходимую площадь грохочения по первой и второй стадиям гидрогрохочения.

При установке виброгрохотов после мельниц первой стадии имеет место разделение измельченной руды по крупности 0,071 мм, при этом согласно предоставленному грансоставу циркулирующая нагрузка составит 130,00% или 816,4 т/час. Тогда нагрузка на мельницу и узел грохочения снизится до 1444,4 т/час. В этом случае необходимая площадь грохочения для первой стадии гидроклассификации вычисляется по формуле [4].

$$F = \frac{1,1 \cdot Q_{av}}{q \cdot k \cdot l \cdot m \cdot n \cdot o \cdot p}, \text{ м}^2,$$

где Q – производительность виброгрохота по исходной руде, 1444,40 т/ч; 1,1 – коэффициент неравномерности нагрузки; q – максимальная удельная производительность грохота на 1 м² поверхности сита, 5 т/час; k – коэффициент, учитывающий влияние мелочи при содержании в питании грохота зерен размером меньше половины размера отверстия сита (22%), 0,65; l – коэффициент, учитывающий влияние крупных зерен при содержании в питании грохота зерен размером больше размера отверстия сита (70%), 1,55; m – коэффициент, учитывающий эффективность грохочения (76%), 1,5; n – коэффициент, учитывающий форму зерен материала, 1,0; o – коэффициент, учитывающий влажность материала, 0,85; p – коэффициент, учитывающий способ грохочения, 1,3. Тогда, необходимая площадь сита равна 190,3 м². Для обеспечения такой поверхности грохочения необходимо установить высокочастотные грохоты с площадью сита 9,0 м² в количестве 21 шт. Аналогично производим расчет по второй стадии гидроклассификации при разделении по крупности – 0,071 мм. Потребная площадь грохочения для второй стадии гидроклассификации 162,2 м² или 18 штук высокочастотных вибрационных грохотов с площадью сита 9,0 м². Таким образом, даже при максимальной загрузке грохотов при удельной нагрузке 5 т/(час·м²) количество грохотов равно 39 шт., что потребует производственной площади на уровне 600 м². При снижении удельной нагрузки до 2,5 т/(час·м²) потребная площадь под размещение достигает 1200 м². В этом отношении выигрывают гидроциклонные установки, который хорошо komponуются с шаровыми мельницами и занимают минимальную производственную площадь. Так, на первой стадии измельчения каждая мельница работает в замкнутом цикле с тремя гидроциклонами 650CVX и насосом Варман 250 FF-MCR. Габаритные размеры насоса: длина – 1742 мм, ширина – 1692 мм и высота – 1697 мм. Габаритные размеры гидроциклонного кластера: длина – 5505 мм, ширина – 5361 мм и высота – 6000 мм. Потребная производственная площадь для двух гидроциклонных установок первой стадии гидроклассификации – не

более 30 м². Мощность привода каждой установки – 185 кВт. На второй стадии измельчения четыре мельницы сопряжены с четырьмя гидроциклонными установками на основе насоса Варман 200 RSCY-WBH и четырех гидроциклонов 400CVX. Габаритные размеры насоса: длина – 1499 мм, ширина – 1305 мм и высота – 13230 мм. Габаритные размеры гидроциклонного кластера: длина – 4260 мм, ширина – 3608 мм и высота – 5000 мм. Мощность электропривода одной установки составляет 110 кВт. Потребная производственная площадь для второй стадии гидроциклонирования – не более 62 м². Всего гидроциклонные модули займут 92 м² площади ОФ против 600 м² при монтаже виброгрохотов. Установочная мощность электропривода по первой стадии гидроклассификации – 370 кВт, по второй – 440 кВт, а по фабрике – 810 кВт.

Таким образом, высокочастотные виброгрохоты в замкнутых циклах измельчения минерального сырья не выдерживают конкуренции с гидроциклонами по производительности, водопотреблению и необходимой плотности питания флотации. Сказанное не означает, что тонкое грохочение исключаются как несостоятельный технологический передел. Его применение в условиях крупнотоннажных секций оправдывает себя как дополнение к гидроциклонированию, например при перечистке всего объема или части песков гидроциклонов, для чего достаточно одного – двух виброгрохотов.

Анализ распределения железа и кремнезема в замкнутом цикле второй стадии измельчения одного из железорудных ГОКов Кривбасса показывает, что в песках гидроциклонов в классах менее 0,07 мм концентрируется значительное количество магнетитовых зерен (рис. 3) при относительно малом количестве кремнезема в продуктивных классах, так как он преимущественно переходит в состав сростков крупностью от 0,14 до 0,56 мм (рис. 4). Так как масса песков в замкнутом цикле измельчения составляет 300 т/час, то реально подвергнуть тонкому грохочению третью часть песков по крупности менее 0,074 мм на двух виброгрохотах. После мокрой магнитной сепарации подрешентного продукта можем рассчитывать на получение промежуточного концентрата с содержанием железа 64,8-66,6%, что позволяет сократить циркуляционную нагрузку, повысить переработку исходной руды и улучшить качественно – количественные показатели ее обогащения по ОФ в целом.

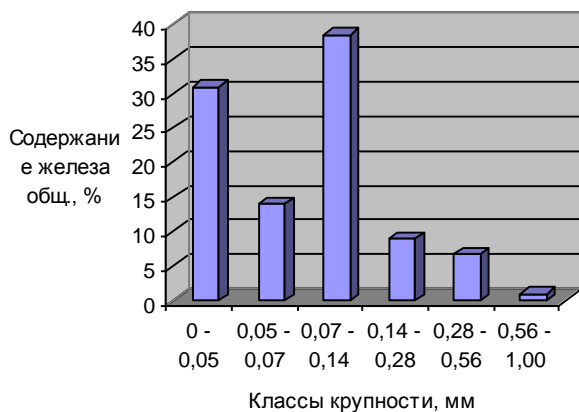


Рис. 3. Распределение железа по классам крупности в песках гидроциклона

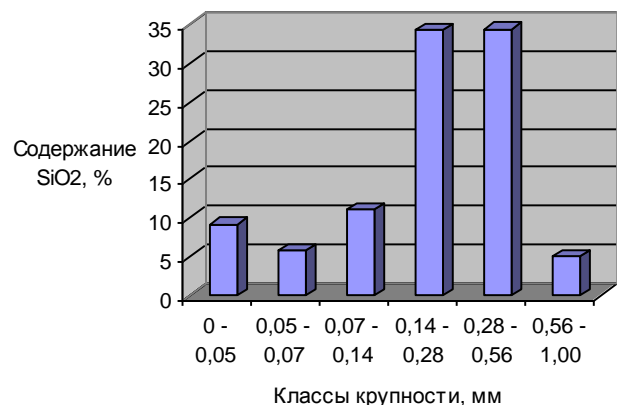


Рис. 3. Распределение кремнезема по классам крупности в песках гидроциклона

Підготовчі процеси збагачення

Таким образом, работа гидроциклонов в комплексе с высокочастотными виброгрохотами в части перераспределения песков не только возможна, но и технологически перспективна, так как первые сокращают фронт гидрокласификации, а вторые позволяют получить кондиционный по крупности материал. В результате, после второй стадии измельчения можно выделить промежуточный концентрат, сократить циркуляционную нагрузку и адекватно этому сокращению повысить производительность предприятия по исходной руде.

Выводы

1. При гидрокласификации тонкодисперсного минерального сырья, особенно в крупнотоннажных замкнутых циклах шарового измельчения, гидроциклоны предпочтительнее грохотов ввиду их высокой производительности, меньшего водопотребления и достижения требуемого уплотнения пульпы перед флотацией.

2. В то же время высокочастотные виброгрохоты технологически эффективнее, так как разделяют материал по одному разделительному признаку – крупности зерен и исключают накопление раскрытых тонких зерен большей плотности в составе циркулирующей нагрузки.

3. Совместное применение гидроциклонов и виброгрохотов позволяет перерабатывать большие объемы пульпы при максимальной эффективности разделения по граничному зерну – 0,074 мм, умеренном водопотреблении и требуемом содержании твердого в выходном продукте схемы измельчения – класификации.

Список литературы

1. Левушкин Д.Н. Развитие техники грохочения минерального сырья // Горная промышленность. – 2009. – №1. – С. 39-42.
2. Patent USA № 453105. Britney. – Hydrocyclone, 1891.
3. Кирнарский А.С. Принцип однофункциональности разделительных процессов при обогащении полезных ископаемых // Горный журнал. – 2010. – № 2. – С. 44-46.
4. Разумов К.А., Перов В.А. Проектирование обогатительных фабрик. – М.: Недра, 1982. – 518 с.

© Кирнарский А.С., 2013

*Надійшла до редколегії 25.03.2013 р.
Рекомендовано до публікації д.т.н. П.І. Піловим*