

Министерство образования Украины
Криворожский технический университет

На правах рукописи

Шестаков Александр Анатольевич

**Увеличение
эффективности работы
шаровых мельниц за счет
повышения степени
рудно-шаровой загрузки**

Специальность: 05.15.08 - "Обогащение полезных ископаемых"

**Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук**

Кривой Рог - 1997

022.1



00751817 (Т)

Диссертация является рукописью

Работа выполнена в Криворожском техническом университете

Научный руководитель - академик АН Украины,
д-р техн. наук, проф.
Губин Георгий Викторович

Официальные оппоненты: доктор технических наук,
Шупов Леонид Петрович ;
канд. техн. наук, доцент
Николаенко Виктор Павлович

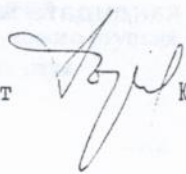
Ведущая организация - Институт Механобрчермет

Защита состоится "27" марта 1997 г. 13⁰⁰ час.
на заседании специализированного совета К 16.01.01 по защите
диссертаций при Криворожском техническом Университете
/ 324002, г. Кривой Рог, ул. Пушкина, 37, КТУ /

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке
Криворожского технического университета

Автореферат разослан "27" февраля 1997 г.

Ученый секретарь
специализированного совета,
кандидат технических наук, доцент

 Ю.Г.Горбачев

4B - 37.043 3

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Украина является одной из ведущих держав мира по производству железорудного сырья для металлургической промышленности. Для получения железосодержащих концентратов необходимо добывать и перерабатывать сотни миллионов тонн сырой руды.

Энергоемкость получения концентратов на горнообогатительных комбинатах Украины 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. Таким образом, наиболее энергоемкой операцией в обогатительном переделе является измельчение руды, на которую приходится свыше 60 % расхода электроэнергии.

Усложнение геологических и горнотехнических условий добычи сырья сопровождается уменьшением вкрашенности минеральных зерен и ухудшению измельченности руды. Для раскрытия минералов требуется измельчить руду до минус 0,05 мм. Снижение крупности измельчения ведет к росту затрат электроэнергии и уменьшению производительности мельниц.

Поэтому поиск и разработка эффективных и сравнительно простых методов интенсификации измельчения, приводящих к снижению расхода электроэнергии и увеличению производительности мельниц является актуальной народно-хозяйственной задачей. Целью работы является снижение энергоемкости и повышение производительности мельниц.

Идея работы заключается в рациональном перераспределении действия разрушающих нагрузок на рудную массу за счет увеличения степени заполнения мельниц.

Методы исследования. При выполнении работы использованы:

- обобщение и анализ научной информации о параметрах определяющих эффективность измельчения руды в шаровых мельницах и методы повышения эффективности их работы;
- аналитические и статистические исследования по оптимизации режимов измельчения в шаровых мельницах;
- лабораторные исследования и промышленные испытания эффективности измельчения при высоких степенях заполнения мельниц;
- расчет ожидаемого экономического эффекта от предлагаемой технологии.

Основные защищаемые научные положения.

1. Модели разрушения частиц руды описывающие рациональное сочетание ударных и истирающих нагрузок при измельчении.
2. Экспериментальные результаты, подтверждающие корректность модели распределения ударных и истирающих нагрузок между шарами и рудой в мельницах с высокими степенями заполнения.
3. Рекомендации и конструктивные решения позволяющие использовать предлагаемый метод в существующих мельницах.
4. Принцип проектирования новых высокопроизводительных и энергосберегающих мельниц.

Научная новизна работы заключается в следующем:

- получены новые зависимости между силовыми нагрузками и степенью измельчения частиц руды;
- установлены зависимости между высокими коэффициентами заполнения мельницы шарами, производительностью по готовому классу, качеством измельчения и расходом электроэнергии в лабораторных и промышленных условиях;
- предложена математическая модель процесса, которая дает возможность по результатам лабораторных опытов рассчиты-

вать показатели промышленных мельниц с высокой степенью заполнения.

Достоверность и обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций диссертации подтверждены: результатами исследований с использованием методов теории физики твердого тела, а также лабораторными, промышленными испытаниями и математической обработкой экспериментальных данных на ЭВМ. Объем экспериментальных исследований определялся из условий обеспечения 90 % надежности результатов. Отклонение результатов теоретических и экспериментальных исследований не превышает 12 %, что доказывает их удовлетворительную сходимость. Новизна технического решения по конструкции мельницы защищена авторским свидетельством и изобретением.

Практическая ценность. На основе лабораторных исследований и промышленных испытаний предложены оптимальные режимы измельчения частиц руды в шаровых мельницах с решеткой, позволяющие при высоких коэффициентах заполнения от 0,6 до 0,7 их объема повсичить производительность на 30...35 % и сократить расход электроэнергии на 25...30 %. Разработаны рекомендации и конструкции портативных решеток для работы мельниц с центральной разгрузкой в режимах с высокими коэффициентами шарорудной загрузки.

Реализация работы. Результаты работы могут быть использованы при измельчении руд в мельницах с решетками и в мельницах с центральной разгрузкой при переоборудовании разгрузочного устройства, а также при проектировании новых высокопроизводительных мельниц предназначенных для работы с высокими коэффициентами шарорудной загрузки.

Апробация работы. Результаты работы доложены и обсуждены на

научно-технических конференциях Криворожского горнорудного института /г. Кривой Рог, 1991...1995 г.г./; научно-технической конференции "Вузовская наука - резерв ускорения научно-технического прогресса"/г. Кривой Рог, 1991 г./; технических советах и координационных совещаниях на ЦГОКе, СевГОКе /г. Кривой Рог, 1992...1993 г.г./, в институте Механобрчермет /г. Кривой Рог, 1989...1995 г.г./.

Личный вклад в разработку научных результатов, вынесенных на защиту, состоит в формулировании цели, идеи, научных положений и задач исследований, теоретическом и экспериментальном обосновании повышения эффективности измельчения при использовании высоких коэффициентов шарорудной загрузки, в создании приборов для контроля величины заполнения мельниц в промышленных условиях, разработке решеток для мельниц с центральной разгрузкой и получении исходных данных для проектирования промышленного образца мельницы с высоким коэффициентом заполнения.

Публикации. По результатам выполненных работ опубликованы две статьи и авторское свидетельство на изобретение.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, общих выводов и рекомендаций, списка использованной литературы из 108 наименований, содержит 129 страниц, 21 рисунок, 11 таблиц и 3 приложения на 22 страницах.

Автор выражает глубокую признательность научному руководителю академику Губину Г.В., доцентам Николаенко В.П. и Гвоздику В.С. за ценные советы, а также сотрудникам кафедры обогащения полезных ископаемых Криворожского технического университета за критические замечания по улучшению диссертационной работы.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Анализ литературных источников и опыт эксплуатации шаровых мельниц показывает, что наиболее энергоемкой операцией в обогатительном переделе является измельчение. Так, на 14-ти ГОКах стран СНГ расход электроэнергии на измельчение составляет более 60 % от общих затрат электроэнергии на обогащение.

Прогноз развития измельчения выполненного Г.В.Губинным, Л.П.Шуповым и Н.П.Самохваловой, показал, что барабанная шаровая мельница остается основным измельчительным агрегатом в технологии обогащения железных руд. Повышение производительности, снижение расхода электроэнергии на измельчение будет осуществляться за счет конструктивных изменений мельниц.

В диссертационной работе приведены исследования механизма взаимодействия между мелкими телами, футеровкой и частями руды и его влияние на эффективность измельчения.

Для анализа зависимости эффективности измельчения от степени заполнения шаровой и рудной загрузкой, крупности частиц и расхода мощности в лабораторных условиях на моделях устанавливались зависимости между усилием в контакте шара с рудой, степенью измельчения и работой измельчения при статических и динамических режимах воздействия.

При исследованиях шары диаметром 50, 65, 100 и 110 мм сбрасывались с различной высоты на слой руды. При этом определялся средний диаметр частиц до удара и после и замерялся диаметр контакта. Аналогичные параметры определялись при статическом раздавливании частиц шарами на прессе. В результате была установлена следующая зависимость между диаметром кон-

такта d_k и диаметром шара $d_{ш}$

$$d_k = 0,3 d_{ш}$$

(1)

Установлена зависимость работы измельчения W от усилия в контакте F и степени перемещения шара Δd

$$W = F \Delta d = k \Delta d^{n+1} \quad (2)$$

где $\Delta d = d_i - d_{i+1}$ - степень перемещения шара за один удар адекватная степени измельчения;

- d_i - средний диаметр частиц до удара шара;
- d_{i+1} - средний диаметр частицы в контакте после удара;
- n - коэффициент нелинейности диаграммы;
- k - эмпирический коэффициент.

По результатам экспериментальных данных и расчетам по формуле (2) были построены диаграммы зависимости степени измельчения частиц руды от усилия в контакте шара.

Показано, что для повышения эффективности измельчения целесообразнее использовать многократное воздействие на частицы руды небольших нагрузок, чем малых количеств воздействий с большими усилиями.

Исследования по раздавливанию частиц руды показывают, что величина усилий не превышает 10...20 кН. Отсюда следует вывод, что энергия падающих шаров при существующих режимах работы является избыточной.

Далее в работе дается анализ напряжений возникающих в частицах руды различной формы от контактных напряжений при раздавливании частиц и разрушении их от скользящей нагрузки.

Показано, что большие нагрузки возникают на поверхности контакта даже при незначительных внешних усилиях. Это еще раз подтверждает вывод, что энергия падающих шаров является избыточной. Для рационального перераспределения энергии раз-

рушения руды необходимо уменьшить долю усилий возникающих от энергии удара шарами и увеличить долю усилий от скользящей нагрузки.

Для уменьшения избытка энергии необходимо использовать режимы работы мельниц с высокими коэффициентами загрузки.

Исследования эффективности измельчения руды при высоких коэффициентах заполнения проводились в 14-ти литровой мельнице. Руда была с ЦГОКа крупностью $- 0,210 + 0,071$ мм. Массовая доля твердого принималась в пределах 70 %. Диаметр шаров был 30 мм. Навеска загружаемой руды 2,2...3,0 кг.

При исследованиях изменялись: коэффициент заполнения мельницы шарами от 0,35 до 0,9 и скорость вращения барабана от 0,5 до 0,9 от критической.

Результаты исследований представлены на рис. 1

Из данных рис. 1 также следует, что при измельчении руды в барабанных мельницах с шаровой загрузкой 0,7...0,75 и относительной скоростью вращения 0,65...0,7 производительность измельчения по готовому классу повышается на 30...35 %, а потребляемая энергия на измельчение снижается на 25...30 %.

Затем были проведены исследования на укрупненной установке в мельнице объемом 60 л с диаметром барабана 420 мм и длиной 440 мм.

Исследования проводились в режиме сухого и мокрого измельчения. В мельницу загружали шары диаметром 50 мм. Крупность измельчаемой руды была $- 6 + 0$ мм. Коэффициент заполнения мельницы изменялся от 0,4 до 0,8, а навески руды при этом изменялись от 16 кг до 40,5 кг.

Математическая обработка экспериментальных данных представлена на рис. 2 в виде зависимостей производительности мельницы Q и удельного расхода электроэнергии E

Зависимость скорости измельчения V и
 потребляемой мощности N от величины
 заполнения барабана мельницы шарами φ

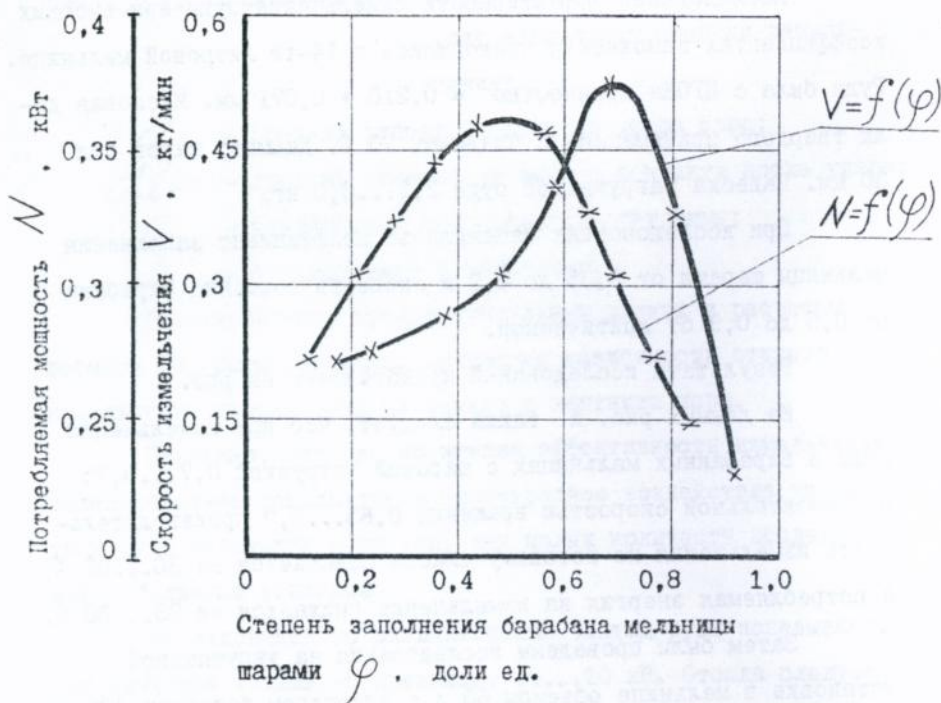
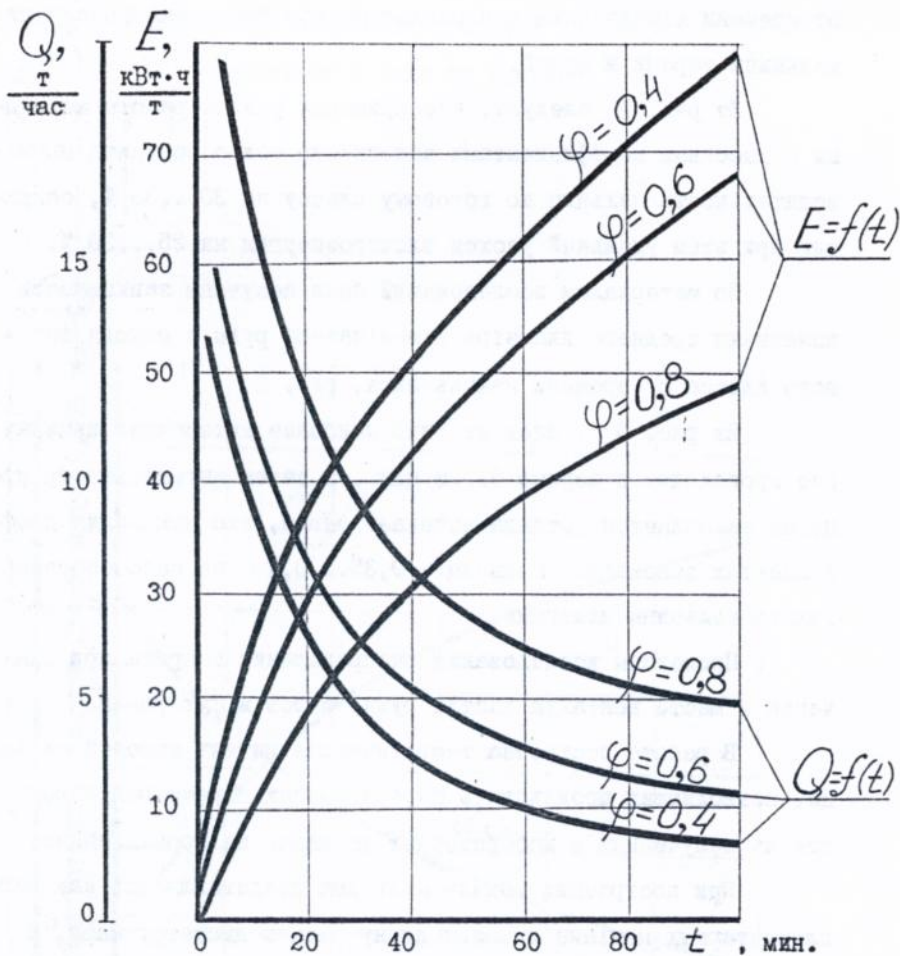


Рис. 1.



Зависимость производительности Q по классу крупности минус 0,071 мм и удельного расхода электроэнергии E на измельчение от коэффициента заполнения мельницы φ

Рис. 2.

от времени измельчения при различных коэффициентах заполнения мельницы шарами и рудой.

Из рис. 2 следует, что применяя режимы работы мельницы с высокими коэффициентами заполнения можно повысить производительность мельниц по готовому классу на 30...35 %, сократив при этом удельный расход электроэнергии на 25...30 %.

По материалам исследований были получены зависимости изменения среднего диаметра измельчаемой руды и выхода готового класса от времени измельчения, рис. 3.

Из рис. 3, следует, что наиболее интенсивно измельчение происходит в первые 5...8 мин., а затем интенсивность процесса замедляется. Отсюда вытекает вывод, что при малых коэффициентах заполнения мельниц 0,35...0,4 не целесообразно делать мельницы длинными.

Проведены исследования распределения энергии при измельчении в месте контакта частиц руды, шаров и футеровки.

В работе построена теоретическая модель шаровой мельницы, позволяющая производить пересчет всех параметров измельчения из полученных в лабораторных условиях на промышленные.

При построении модели мельница представлялась как набор элементарных мельниц имеющих длину равную диаметру шара, а диаметр равный диаметру барабана (рис.4). Используя работу разрушения при ударе в формуле (2) и приравнивая ее к кинетической энергии падающего шара получим

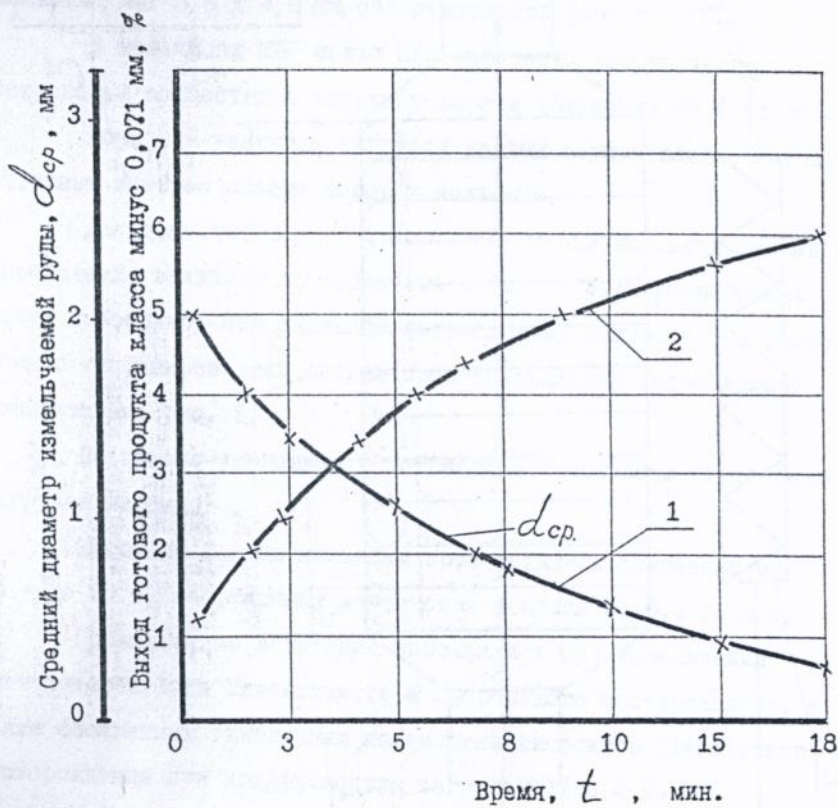
$$W = k \cdot \Delta d^{n+1} = \frac{m V_n^2}{2} \quad (3)$$

где m - масса шара;

V_n - скорость шара в момент удара.

После преобразований формулы (3) и учета геометрических и механических параметров мельниц получена зависимость произ-

Зависимость изменения среднего диаметра
измельчаемой руды от времени

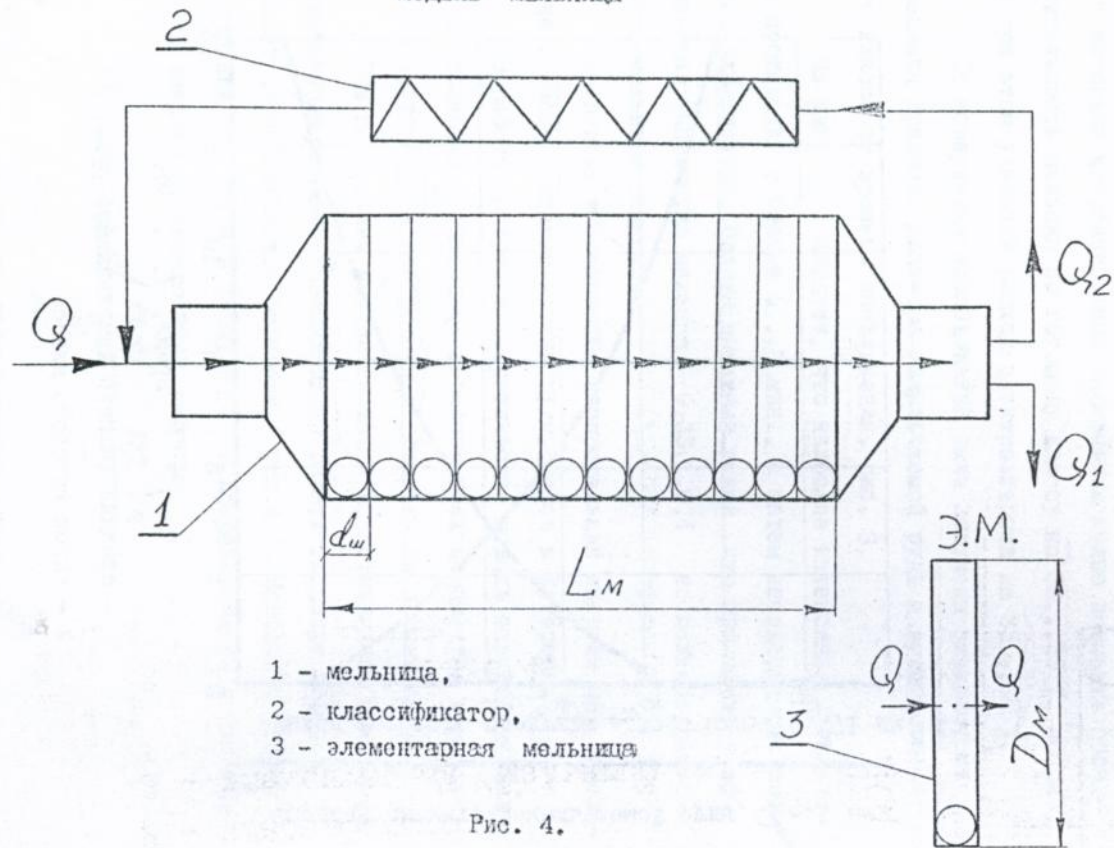


1 - средний диаметр измельчаемой руды,

2 - выход готового класса.

Рис. 3.

МОДЕЛЬ МЕЛЬНИЦЫ



- 1 - мельница,
- 2 - классификатор,
- 3 - элементарная мельница

Рис. 4.

водительности мельницы в виде

$$Q = \frac{d_k^2 \pi}{4} \left[d_0 - N \left(\frac{m V n^2}{2 K_1} \right)^{\frac{1}{n+1}} \right] \cdot N \cdot 60 n \quad (4)$$

где N - количество шаров в мельнице при $\varphi = 0,7$;

n - частота вращения барабана, мин^{-1}

Промышленные испытания производились с использованием мельниц МШР 3,6 x 4,0 на обогатительной фабрике ЦГОКа.

В мельницах МШР можно без переделки загрузочного устройства осуществить загрузку шарами только до 60 % их объема.

Контроль величины загрузки шарами осуществлялся непосредственным замером объема шаров в мельнице.

Для дополнительного контроля загрузки мельницы шарами и определения величины потребляемой мощности была разработана схема преобразования активной потребляемой мощности 3-х фазного тока в унифицированный сигнал пропорциональный потребляемой мощности см. рис. 5.

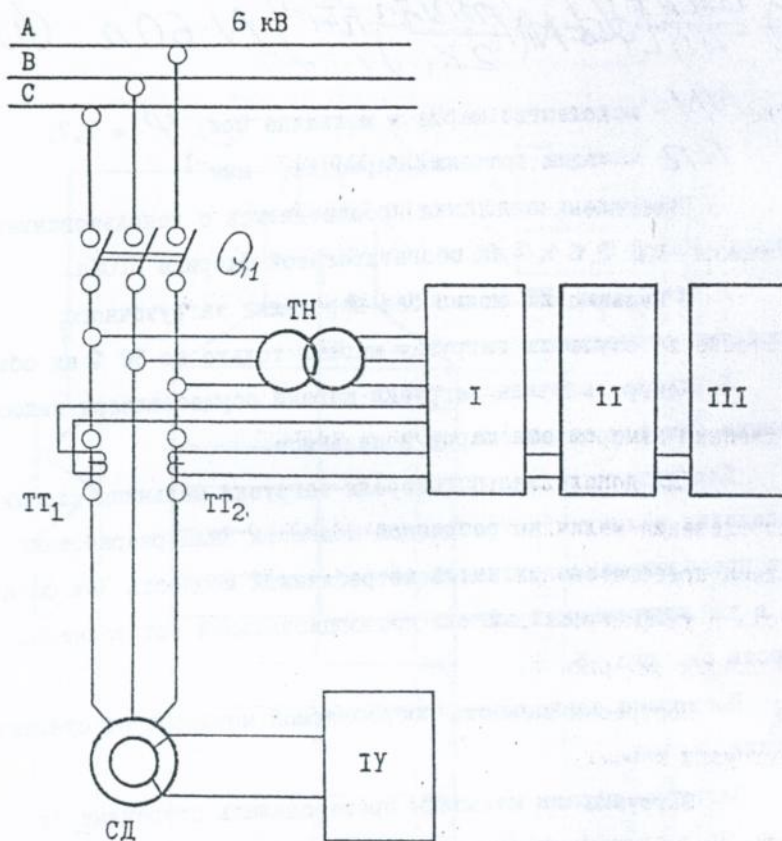
Построена зависимость потребляемой мощности от степени загрузки шарами.

Загрузка шарами мельницы производилась ступенями от 70 т до 95 т, коэффициент заполнения менялся от 0,4 до 0,6.

Промышленные испытания выполнялись при измельчении магнетитовой руды Глееватского и Петровского месторождения, а также обожженных окисленных железистых кварцитов Глееватского месторождения при коэффициентах загрузки от 0,4 до 0,6.

При испытаниях регулировался водный режим и циркуляционная нагрузка. После 2-х...3-х часов работы, когда устанавливался постоянный режим производились записи показаний производительности, потребляемой мощности и отбор проб на качество измельчения. Результаты испытаний представлены в таблице.

Схема контроля загрузки мельниц



- I - преобразователь мощности Е - 829,
 II - блок кондуктивного разделителя БКР - 1П,
 III - прибор показывающий и самопишущий КСУ - 2,
 IV - тиристорные возбуждающие устройства ТВУ,
 TN - трансформатор напряжения,
 TT_1 и TT_2 - трансформаторы тока,
 CD - синхронный электродвигатель.

Рис. 5.

Таблица

Результаты промышленных испытаний мельницы МПР 3,6 x 4,0 на магнетитовой руде
1-й стадии измельчения на обогатительной фабрике ЦГОКа

Производительность по исходной руде, т/час	Шаровая загрузка, т	Коэффициент заполнения шарами, доли ед	Потребляемая мощность, кВт	Удельный расход электроэнергии, кВт·час/т	Повышение производительности, %	Снижение расхода электроэнергии, %	Примечание
75 - 90	65	0,4	905-930	10,76	-	-	
110 - 120	95	0,6	780-795	6,85	32,2	20,4	Глееватская руда
100 - 110	95	0,6	780-795	7,71	20,5	18,2	Руда Петровского карьера

Анализируя результаты испытаний можно сделать вывод, что при повышении коэффициента загрузки мельниц шарами до 0,6 повышается производительность мельниц на 18...20 % и снижается расход электроэнергии на 12...14 %.

Кроме ЦГОКа промышленные испытания были проведены на обогатительной фабрике СевГОКа, где также имело место повышение производительности и снижение потребляемой мощности при повышении коэффициента загрузки шарами. Однако из-за частых поломок и остановок оборудования не удалось получить существенных результатов. Анализ существующих конструкций барабанных мельниц МШР и МШЦ применяемых на ГОКах показывает, что мельницы МШР уже в настоящее время можно эксплуатировать при коэффициентах заполнения 0,6.

Мельницы МШЦ можно также эксплуатировать при коэффициентах заполнения 0,6 предварительно переоборудовав их разгрузочный узел.

Для работы барабанных шаровых мельниц при коэффициентах загрузки 0,7...0,75, когда прирост производительности и снижение электроэнергии максимальны предполагается переоборудовать их разгрузочное устройство, увеличив величину высоты витка шнека и уменьшив шаг на выходе из разгрузочного устройства в 2 раза (авт.свид. № 1715409 (СССР) Шаровая барабанная мельница).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертация является законченной научно-исследовательской работой, в которой повышение эффективности измельчения шаровых мельниц производится за счет выбора более рациональных схем передачи энергии измельчающих тел руде.

Основные выводы и рекомендации сводятся к следующему:

1. В диссертации научно обоснован и экспериментально подтвержден метод рационального сочетания ударной и скользящей нагрузок при измельчении, приводящей к минимальным удельным энергозатратам.
2. В лабораторных условиях осуществлено перераспределение разрушающих усилий за счет повышения коэффициента заполнения шарами мельниц до 0,8 это позволило повысить производительность на 30...35 % и снизить расход электроэнергии на измельчение на 25...30 %.
3. Оптимальными режимами эксплуатации мельницы являются: коэффициент заполнения 0,7...0,75 и относительная скорость вращения мельницы 0,7.
4. Промышленные испытания шаровых мельниц с решетками со степенью заполнения шарами до 0,6 без переделки конструкции позволили повысить производительность на 18...20 % и снизить расход электроэнергии на тонну измельченного продукта на 14 %.
5. Шаровые мельницы с центральной загрузкой также могут работать в режиме с высоким коэффициентом заполнения при переоборудовании их разгрузочного узла.
6. Расчитано, что интенсивность износа шаров и футеровки снижается на 8...12 %.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Повышение эффективности работы шаровых мельниц // Черн. металлургия. - 1990. - № 3. - С.43...44. /Соавтор Губин Г.В./.
Исследовал процесс разрушения частиц руды в мельнице при высоких коэффициентах заполнения.
2. Авт.свид. № 1715409 /СССР/. Шаровая барабанная мель-

ница. - Опубл. в Бюлл.Изобр., 1992, № 8./Соавт. Шестаков А.М., Елисеев А.К., Губин Г.В./. Предложил новую конструкцию загрузочного устройства шаровых мельниц для осуществления высоких коэффициентов заполнения.

3. Об энергосберегающих режимах барабанных мельниц. - - Сб.Разраб.руд.месторождений. - Кривой Рог: КТУ, 1996, № 59.- - С.53...55./Соавт. Губин Г.В., Шестаков А.М./. Провел промышленные испытания измельчения при высоких коэффициентах загрузки.

4. Работа мельниц с высокой степенью заполнения. - - Кривой Рог, 1996, - 6 с. - Рук. деп. в ГНТБ Украины./Соавторы Губин Г.В., Шестаков А.М./. Установил зависимость производительности мельниц и расхода электроэнергии от коэффициента заполнения.

5. Об одном методе повышения эффективности шаровых мельниц. - Кривой Рог, 1996. - 20 с. - Рук. деп. в ГНТБ Украины./Соавт. Губин Г.В., Шестаков А.М./. Провел лабораторные испытания измельчения при высоких коэффициентах заполнения.

ANNOTATION

Shestakov A.A. Increasing of the ball mills functioning efficiency by intensifying of the ball and ore mass filling.

The thesis is submitted for Candidat's Degree (Eng.) in the field of mineral processing speciality (05.15.08), Krivoy Rog Technical University, Krivoy Rog, 1996.

The way for increasing of the ore particles grinding rate efficiency owing to the optimum combination of the sliding and impact loads produced due to the application of high coefficients of the mill volume filling with balls and ore mass is to be defended.

The determined relationships give a possibility to estimate the optimum grinding parameters and to project more effective ball mills.

The proposed way for grinding optimisation conditions.

Key words: GRINDING, BALLS, OPTIMISATION, FILLING WITH BALLS AND ORE MASS, CRUSHING, ORE PARTICLES, FILLING COEFFICIENT.

АНОТАЦІЯ

Шестаков А.А. Збільшення ефективності роботи кульових млинів за рахунок підвищення ступеня рудно-кульового завантажування.

Дисертація на здобуття вченого ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.15.08 - "Збагачення корисних копалин", Криворізький технічний університет, Кривий Ріг, 1997.

Захищається метод збільшення ефективності здрібнювання частин руди шляхом оптимального поєднання ковзаних і ударних навантажень здобутих за рахунок застосування високих коефіцієнтів заповнення об'єма млина рудно-кульовим завантажуванням.

Установлені залежності дозволяють розрахувати оптимальні параметри здрібнення і спроектувати більш ефективні кульові млини.

Пропонуваний метод оптимізації здрібнення перевірений у промислових умовах.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ЗДРІБНЮВАННЯ, КУЛІ, ОПТИМІЗАЦІЯ, РУДНО-КУЛЬОВЕ ЗАВАНТАЖУВАННЯ, ЗРУЙНУВАННЯ, ЧАСТИНИ РУДИ, КОЕФІЦІЄНТ ЗАПОВНЕННЯ.

ница. - Оpubл. в Бюлл.Изобр., 1992, № 8./Соавт. Шестаков А.М., Елисеев А.К., Губин Г.В./. Предложил новую конструкцию загрузочного устройства шаровых мельниц для осуществления высоких коэффициентов заполнения.

3. Об энергосберегающих режимах барабанных мельниц. - Сб.Разраб.руд.месторождений. - Кривой Рог: КТУ, 1996, № 59.- С.53...55./Соавт. Губин Г.В., Шестаков А.М./. Провел промышленные испытания измельчения при высоких коэффициентах загрузки.

4. Работа мельниц с высокой степенью заполнения. - Кривой Рог, 1996, - 6 с. - Рук. деп. в ГНТБ Украины./Соавторы Губин Г.В., Шестаков А.М./. Установил зависимость производительности мельниц и расхода электроэнергии от коэффициента заполнения.

5. Об одном методе повышения эффективности шаровых мельниц. - Кривой Рог, 1996. - 20 с. - Рук. деп. в ГНТБ Украины./Соавт. Губин Г.В., Шестаков А.М./. Провел лабораторные испытания измельчения при высоких коэффициентах заполнения.

ANNOTATION

Shestakov A.A. Increasing of the ball mills functioning efficiency by intensifying of the ball and ore mass filling.

The thesis is submitted for Candidat's Degree (Eng.) in the field of mineral processing speciality (05.15.08), Krivoy Rog Technical University, Krivoy Rog, 1996.

The way for increasing of the ore particles grinding rate efficiency owing to the optimum combination of the sliding and impact loads produced due to the application of high coefficients of the mill volume filling with balls and ore mass is to be defended.

The determined relationships give a possibility to estimate the optimum grinding parameters and to project more effective ball mills.

The proposed way for grinding optimisation conditions.

Key words: GRINDING, BALLS, OPTIMISATION, FILLING WITH BALLS AND ORE MASS, CRUSHING, ORE PARTICLES, FILLING COEFFICIENT.

АНОТАЦІЯ

Шестаков А.А. Збільшення ефективності роботи кульових млинів за рахунок підвищення ступеня рудно-кульового завантажування.

Дисертація на здобуття вченого ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.15.08 - "Збагачення корисних копалин", Криворізький технічний університет, Кривий Ріг, 1997.

Захищається метод збільшення ефективності здрібнювання частин руди шляхом оптимального поєднання ковзаних і ударних навантажень здобутих за рахунок застосування високих коефіцієнтів заповнення об'єма млина рудно-кульовим завантажуванням.

Установлені залежності дозволяють розрахувати оптимальні параметри здрібнення і спроектувати більш ефективні кульові млини.

Пропонуваний метод оптимізації здрібнення перевірений у промислових умовах.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ЗДРІБНЮВАННЯ, КУЛІ, ОПТИМІЗАЦІЯ, РУДНО-КУЛЬОВЕ ЗАВАНТАЖУВАННЯ, ЗРУЙНУВАННЯ, ЧАСТИНИ РУДИ, КОЕФІЦІЄНТ ЗАПОВНЕННЯ.

AB 37.043