

Рис.4. Графік розподілу енергетичних показників електропривода при використанні компенсатора реактивної потужності: (1-коефіцієнт потужності, 2-коефіцієнт зсуву, 3-коефіцієнт спотворення)

Як видно із рис. 4. значення енергетичних показників значно збільшилися. Це доводить, що використання конденсаторних установок має великий потенціал.

Висновки та напрямок подальших досліджень.

Виконано аналіз динамічних і енергетичних характеристик електроприводів перемотувального пристрою вакуумної установки. Впроваджено технічне рішення, яке

дозволило компенсувати реактивну потужність та збільшити енергетичні показники установки вакуумної металізації.

Список літератури

Ройх И.Л., Колтунова Л.Н., Федосов С.Н. Нанесение защитных покрытий в вакууме / - М.: Машиностроение, 1976. – 369 с.

Егоров В.Н., Шестаков В.М. Динамика систем электропривода. - Л.: Энергоатомиздат, 1983. – 216 с.

3. Яворский В.Н., Макшанов В.И., Ермолин В.П. Проектирование нелинейных систем с тиристорным управлением исполнительным двигателем. Л.: Энергия, 1978, - 208 с.

4. Алатырев М.С., Лазарев С.А., Серков О.А. Компенсация динамических натяжений бумаги в продольно-резательных станках.-В кн.: Электрооборудование промышленных предприятий. Вып.6.-Чебоксары: Чув.госуниверситет, 1978, с.100-106.

5. Песьяков Г.Н. Регулирование натяжения бумажного полотна.-М.:Лесная промышленность, 1976, 136 с.

6. Смирнов Ю.Н., Столяров А.В. Исследование намотки рулонов на накатах отделочных станков. В сб.: Бумагоделательное машиностроение. - Л.: ЦНИИбуммаш, 1978, вып.23, -55-59 с.

7. Ключев В.И., Терехов В.М. Электропривод и автоматизация общепромышленных механизмов / Учебник для вузов/ Ключев В.И., Терехов В.М. // - М.: Энергия, 1980. - 360 с.

8. Барышников В.Д., Куликов С.Н. Автоматизированные электроприводы машин бумагоделательного производства. Л.:Энергоиздат, 1982.

9. Зеленов А.Б., Теория электропривода Часть I: Учебн. пособ./ А.Б. Зеленов. – Алчевск: ДонГТУ, 2005 0 394 с.

10. Fryze S. Wrink-, Blind-, and Scheinleistung in Elektrischen Stromkreisen mit Nichtsinusoidalem Verlauf von Strom und Spannung / S. Fryze // Elekt. Zeitschrift – 1932. – Vol. 53. – № 25. – P. 596-599.

11. Czarnecki L.S. Currents' Physical Components (CPC) concept: a fundamental of Power Theory / L.S. Czarnecki // Przegląd elektrotechniczny, R84. – 2008. – No. 6. – P. 28-37.

12. Some hardware and software developments for testing electric motors // Nivinski S./ Warszawa, Institut electrotechniki. 1988. № 151. - С 46-51

Рукопис подано до редакції 26.03.15

УДК 658.011.56

В.А. КОНДРАТЕЦ, канд. техн. наук, проф., А.Н. МАЦУЙ, канд. техн. наук, доц.
Кировоградский национальный технический университет

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОСНОВА СОЗДАНИЯ СРЕДСТВ ИДЕНТИФИКАЦИИ ХАРАКТЕРИСТИК ИЗМЕЛЬЧАЕМОЙ РУДЫ

Приведены результаты исследования измельчаемости руд на примере отдельного карьера и ее связи с содержанием общего железа и железистых соединений. Руды дробились лабораторной щековой дробилкой и измельчались в лабораторной шаровой мельнице. Измельчаемость отдельных руд определялась по отношению к показателю одной из этих руд, принятой за эталонную. Измельчаемость руд не одинакова и сильно зависит от времени измельчения. Сравнение показателей осуществлялось при одинаковом времени измельчения. Содержание магнитного железа определялось измерителем магнитной фракции и химическим анализом, другие составляющие находились химическим анализом. Плотность руд находили лабораторным путем. На стенде исследовали взаимодействие потока руды с упругим стержнем на различных типах руды и ее крупности. Установлено тесную линейную корреляционную связь между амплитудой и числом выбросов случайного процесса за определенный уровень и произведением средневзвешенного размера кусков руды и сопротивлением измельчению. Такая же связь установлена между максимальным

значением деформации упругого элемента, на котором разрушается образец материала определенного размера и типа руды. Перспективно использовать и средства визуального контроля руд

Проблема и ее связь с научными и практическими заданиями. В данное время все большую часть сырья черной металлургии получают путем обогащения бедных железных руд. Одним из наиболее энерго- и материалоемких процессов при этом есть измельчение руд в барабанных мельницах. Отсутствие эффективных средств идентификации характеристик перерабатываемых руд и систем управления измельчением приводит к тому, что барабанные мельницы сильно перерасходуют электрическую энергию, мелющие тела и футеровку с одновременным недополучением значительного количества готового продукта. Это сильно снижает эффективность обогатительных процессов, что не соответствует основным положениям Государственной научно-технической программы «Ресурсосохраняющие технологии нового поколения в горнометаллургическом комплексе». Поэтому тема статьи, посвященной решению части этой задачи, является актуальной. Материалы данной статьи получены в процессе выполнения научно-исследовательской темы «Компьютеризированная система идентификации загрузки шаровых мельниц при управлении измельчением руды» (государственный регистрационный номер 0109U007939).

Анализ исследований и публикаций. Решением задачи автоматического управления измельчением руды в барабанных мельницах длительное время занимаются и отечественные, и зарубежные ученые. В различные годы эту задачу решают А.А. Азарян, Е.А. Арефьев, Л.М. Барский, В.А. Бунько, В.А. Воронов, И.Г. Гринман, А.А. Иванов, Ю.Г. Качан, В.З. Козин, Е.В. Кочура, А.И. Купин, А.Н. Марюта, В.С. Моркун, В.М. Назаренко, В.С. Процудо, А.Е. Троп, В.П. Хорольский, Д. Ватсон, Л. Линч, Д. Паунолл и др. Анализ состояния решения данной проблемы сделан в работе [1], где показано, что необходимое качество управления не достигнуто, решать задачи следует на основе новых более прогрессивных информационных средств. В разработку средств контроля параметров исходной руды значительный вклад внесли А.А. Азарян, Т.И. Гуленко, А.А. Иванов, Б.И. Кауль, Б.А. Коряков-Савойский, А.И. Купин, В.И. Лопатин, А.Н. Марюта, В.С. Моркун и др. Однако современных технических средств, основанных на энергии разрушения упругих тел или их взаимодействии с упругими элементами никто не разрабатывал.

Постановка задания. Целью данной работы является поиск технологических предпосылок и экспериментальное подтверждение основ создания средств идентификации характеристик измельчаемой руды.

Изложение материала и результаты. На магнитообогажительных фабриках руды измельчаются в шаровых мельницах, которые отличаются высоким удельным расходом энергии [2], который необходимо снижать. Это не в последнюю очередь связано с прочностью горных пород, теории которых не используют физической сущности прочности твердых тел. В частности, оказывается, что экспериментально полученные механические напряжения в сотни, а иногда и тысячи раз меньше теоретических [3]. Резкое уменьшение прочности материалов связывают с наличием и созданием микротрещин в объеме тела [4]. Крепость кусков руды зависит от их крупности, исходя из того, что чем больший размер образца, тем вероятнее наличие микротрещин, по которым может происходить разрушение. Этим, в частности, объясняют изменение относительной скорости измельчения материала с уменьшением его крупности, которую наблюдают в экспериментах [5]. Однако эти закономерности относятся к более тонкому измельчению материалов. Как утверждается в [6], это касается достаточно мелких частиц. Крепость частиц, более крупных этих размеров, независима от их размеров [6]. Экспериментально также подтверждено, что прочность частиц неправильной формы слабо зависит от их размеров [6].

Важным при разрушении является изменение скорости нагружения и деформации, а также связь между ними [7]. Определяющими параметрами разрушения являются три константы материала: статическая прочность, статическая вязкость разрушения (трещиностойчивость) и структурное время разрушения [8]. В соответствии с современным представлением, крохкое разрушение твердого тела осуществляется в две фазы. В первой фазе возникает упругая деформация. При сжатии в толще тела с микродефектов вследствие возникновения поперечных растягивающих напряжений, которые создают граничные нагружения, возникают трещины. Во второй фазе осуществляется разрушение тела. Наиболее благоприятные условия для формирования опасных трещин создаются в поверхностных слоях на границе соударения частицы руды

с предметом, наносящим удар. Здесь возникают наибольшие напряжения. Кроме этого в частях руды вблизи поверхности сосредоточено основное количество дефектов [9].

Из рассмотренного видно, что условия разрушения частиц руды в промышленных мельницах будут существенно отличаться от разрушения в лабораторном оборудовании. Такие исследования достаточно затратные и длительны в лабораторных условиях, в промышленных условиях их осуществить практически невозможно по ряду причин. Из-за этого был принят вариант лабораторных исследований руд, результаты которого сравнительно легко могут быть адаптированы к промышленным условиям.

К характеристикам измельчаемой руды обычно относят ее измельчаемость или крепость, содержание магнитного железа, плотность, крупность. В соответствии с измельчаемостью выделяют пять групп руд [10]. Наиболее целесообразно эти свойства исходной руды, что поступает на магнитообогатительные фабрики, рассматривать в условиях одного конкретного горнообогатительного комбината. Рассмотрим эти связи на примерах Ново-Криворожского горнообогатительного комбината (НКГОКа), где руды отличаются значительной разновидностью. Согласно принятой на комбинате классификации руды подразделяют на следующие типы: магнетитовые роговики (тип 1); силикатно-карбонатно-магнетитовые роговики (тип 2); краснополосчатые магнетитовые и гематито-магнетитовые роговики (тип 3); полуокисленные и окисленные роговики (тип 4); силикатные сланцы, безрудные роговики и кварцы (тип 5); магнетито-силикатно-карбонатные (бедные) роговики (тип 6); гематито-магнетитовые роговики (тип 7) [11].

Руды для исследования отбирались петрографом из технологического потока обогатительной фабрики, а те, что редко встречаются, - непосредственно в карьере. По данным геологической службы НКГОКа, сырье обогатительной фабрики составляют руды 1^{-го} типа (около 40%), 2^{-го} типа (от 40 до 45%), 3^{-го} (около 15%) и 6^{-го} (до 10%). Руды 6^{-го} типа встречаются в месторождении в виде маломощных прослоек. Руды 4^{-го} и 5^{-го} типов могут поступать на обогатительную фабрику только при нарушении технологии добычи. Их количество очень мало. Руда 7^{-го} типа составляет всего 1-3%. Итак, исходное сырье обогатительной фабрики составляют руды 1, 2, 3 и 6^{-го} типов. Руды 4, 5 и 7^{-го} типов изучались для сравнения и определения их возможного влияния на исследуемые зависимости.

Отобранные руды обрабатывались лабораторным оборудованием. Дробление осуществлялось в лабораторной щековой дробилке. Дробленный материал на решетках вручную отсеивался на классы: +25 мм; -25÷+12 мм; -12÷+6 мм; -6÷+3 мм; -3÷+1,25 мм; -1,25÷+0 мм. Классы +25 мм, -25+12 мм и -12+6 мм использовались для исследования зависимости прочностных свойств руд от их параметров, а классы -6÷+3 мм, -3÷+1,25 мм, -1,25÷+0 мм непосредственно применялись для определения прочностных характеристик разновидностей изучаемого материала. Из данных классов испытываемых руд приготавливались навески по 1070 г (класс -6÷+3 мм), 250 г (класс -3÷+1,25 мм) и 330 г (класс -1,25÷+0 мм). Гранулометрическая характеристика материала определялась этими навесками, примерно была неизменной. Общий вес пробы для исследований всех типов руд составлял 1650 г.

Как видно из рассмотренного, прочностные свойства руд зависят от многих параметров и на сегодня нет однозначного подхода к их определению. В результате этого был принят относительный показатель K_u , характеризующий прочностные свойства руды в условиях работы измельчительного оборудования рудообогатительных фабрик. Показатель K_u представляет собой отношение удельной производительности по классу -0,063 мм испытываемого типа руды к такой же характеристике руды, взятой за эталонную [12]. Данный относительный показатель K_u характеризует измельчаемость (размалываемость) руды, т.е. ее способность при измельчении превращаться в продукт заданной крупности. Можно рассматривать и обратную характеристику руды $K_c=1/K_u$, т.е. способность ее сопротивляться разрушению. Чем больше K_u , тем руда легче размалывается. Чем выше K_c , тем руда тяжелее разрушается. Руда, имеющая большое K_u , более легко размалывается, сравнительно слабо сопротивляется разрушению, характеризуется сравнительно небольшим значением K_c .

Измельчение всех типов руд производилось в лабораторной шаровой мельнице 40МЛ объемом 7 л в режиме сухого помола. Шаровая нагрузка была принята 15,6 кг, из которых 50% составляли шары диаметром 50 мм и 50% - шары диаметром 40 мм. Длительность измельчения в экспериментах принимались равной 5; 10; 20; 30; 45 и 60 мин. В мельницу загружались навески

руды 1650 г и измельчались на протяжении одной из принятых длительностей. После измельчения руда из мельницы тщательно разгружалась, и рассеивалась на стандартном ряде сит. После этого ее в экспериментах не использовали. Измельчению руда каждого типа на одной из принятых длительностей подвергалась четыре раза. Каждое значение суммарного остатка на сите определялось как среднее арифметическое результатов отсева четырех проб. В процессе исследований установлено, что выход готового класса - 0,063 мм при одной и той же длительности измельчения для руд различных типов не одинаков. Содержание каждого класса крупности в отдельных экспериментах значительно отличается от их среднего арифметического значения. Средняя удельная производительность мельницы по классу - 0,063 мм для руды типа 1 при различных длительностях измельчения оказалась примерно неизменной и равной 0,157 т/м³·ч. Эта руда была принята в качестве эталонной. Для других руд данная величина была переменной и зависимой от длительности измельчения. Значения относительного показателя K_u для руд различных типов, определенного по результатам исследований, приведены в табл. 1.

Таблица 1

Значения относительного показателя K_u измельчаемости различных типов руд

Время измельчения, мин.	Типы руд						
	1	2	3	4	5	6	7
5	1,06	1,25	1,48	1,76	1,29	1,64	1,18
10	1,03	1,28	1,20	1,40	1,04	1,37	1,03
20	1,03	1,10	1,14	1,27	1,11	1,30	1,04
30	1,03	1,08	1,08	1,31	1,07	1,18	0,99
45	0,99	1,01	1,01	1,10	0,96	1,06	0,88
60	0,87	0,87	0,87	1,04	0,80	0,94	0,83

В табл. 1 приведены средние арифметические значения K_u , определенные по четырем пробам. Анализ полученных экспериментальных данных показал, что относительное отклонение K_u от среднего значения для произвольного времени измельчения в пределах 5...30 мин и типа руды имеют приблизительно одинаковую величину, что позволяет рассматривать эти данные как одинаковый массив, включающий 112 определений параметра. Среднее квадратическое отклонение K_u от среднего значения по этому массиву данных составило $\pm 3,51\%$. Сказанное подтверждает факт, что конкретный тип руды не является определенной физической константой, а понятием которое характеризует конкретную горную породу определенного минерального состава с небольшими пределами изменения ее свойств. Это в определенной степени усложняет исследование данного параметра руд.

Данные табл. 1 также показывают, что измельчаемость руд сама по себе не является константой, характеризующей конкретный тип руды, поскольку зависит от времени измельчения.

Это также усложняет такие исследования, поскольку не известно, например, какая же будет измельчаемость до начала ее обработки. Для более глубокого анализа динамики измельчаемости руд построим графики зависимости K_u от времени измельчения (рис.1). Как видно из рисунка, графики имеют достаточно сложный характер. В целом измельчаемость руд во времени изменяется по нелинейным закономерностям с определенными особенностями. Общим есть ухудшение измельчаемости руд с увеличением времени обработки. В начальный период обработки различия между измельчаемостью руд различных типов значительны, затем они уменьшаются, а при длительности измельчения, равном 60 мин, совсем незначительны. В частности K_u руд 1^{-го}, 2^{-го} и 3^{-го} типов одинаков, а для руды 6^{-го} типа составляет 0,94 против 0,87. Это можно объяснить изменением размера измельчаемой руды, поскольку чем больший размер куска, тем вероятнее наличие микротрещин, по которым может осуществляться разрушение. Из графиков рис.1 видно, что в диапазоне более крупных частиц это влияние сказывается более сильно, затем оно ослабевает и снова несколько возрастает на последних минутах измельчения. Руда жесткого типа сохраняет тенденцию равномерного уменьшения измельчаемости со средних размеров твердого до конца времени обработки. Руда первого типа характеризуется неизменностью показателя K_u в середине диапазона обработки, что также находит подтверждение. Экспериментально подтверждено, что крепость частиц неправильной формы слабо зависит от их размеров в определенном диапазоне и может почти не зависеть от размеров, если они крупнее некоторой граничной величины. На рис.1 также видны отклонения в графиках от существующей закономерности.

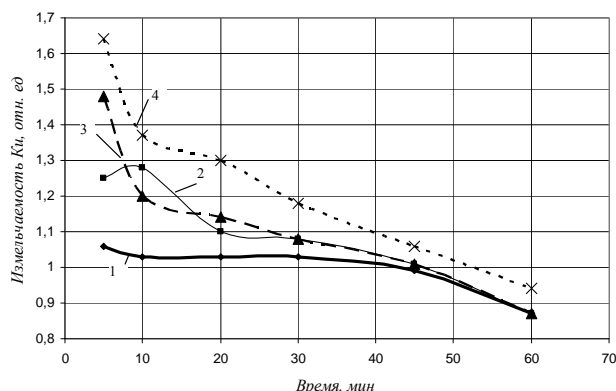


Рис. 1. Зависимость относительного показателя K_n измельчаемости основных типов руд от времени измельчения: 1,2,3,4 - соответственно 1^й, 2^й, 3^й и 6^й тип руды

Это видно на графике 4 при $t=20$ мин и особенно на графике 2 при $t=10$ мин. Эти отклонения, по-видимому, не относятся к закономерностям измельчения руд, а скорее объясняются другими причинами. Одной из них может быть случайное изменение характеристики крупности внутри определенных классов в конкретных навесках материала для измельчения,

подготовленных для экспериментов при длительности измельчения 10 мин и 20 мин. Из графиков рис.1 также следует, что ввиду большой их начальной крутизны определить начальную измельчаемость при $t=0$ не предоставляется возможным путем продления зависимостей до пересечения с осью ординат. Из-за этого при исследовании зависимостей между измельчаемостью руд различных типов и их параметрами значение K_n принималось при длительности измельчения, равной 20 мин, что соответствует середине диапазона неизменных значений свойств руды первого, наиболее твердого типа и примерному времени обработки руды в промышленных мельницах.

Каждый тип руды фракцией крупности +25 мм использовался для измерения ее плотности по весу и объему отобранной пробы. В каждой измельченной пробе измерителем магнитной фракции определялось содержание магнитного железа. По три пробы каждого типа руды отправлялись в химлабораторию на фазовый анализ. Результаты фазового анализа и определения плотности руд различных типов приведены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты фазового анализа и определения плотности руд различных типов

Тип руды	Процентное весовое содержание					Процентное отклонение от среднего значения		Плотность, г/см ³			Процент. отклон. от средн. знач.
	общ. железа	магнетита	мартита	гематита	сидерита	общ. железа	магнетита	эксп. знач.	расч. знач.	средн. знач.	
1	35,9	30,5	0	1,4	4,0	-0,55	-1,29	3,181	3,178	3,182	-0,13
	36,0	30,8	0	1,4	3,8	-0,28	-0,32	3,179	3,181	3,182	-0,03
	36,4	31,4	0	1,3	3,7	+0,83	+1,62	3,190	3,189	3,182	+0,22
2	31,4	21,9	0	0,6	8,9	+0,74	+0,92	3,060	3,057	3,051	+0,20
	30,8	21,3	0	0,2	9,3	-1,19	-1,84	3,050	3,044	3,051	-0,23
	31,3	21,9	0	0,3	9,1	+0,42	+0,92	3,055	3,054	3,051	+0,10
3	35,4	29,7	0	1,7	4,0	-0,20	-1,56	3,193	3,198	3,199	-0,03
	35,4	30,4	0	1,3	3,7	-0,20	+0,76	3,197	3,194	3,199	-0,16
	35,6	30,4	0	1,6	3,6	+0,37	+0,76	3,195	3,204	3,199	+0,16
4	34,8	24,6	3,2	3,9	3,1	+0,66	+0,82	3,165	3,166	3,161	+0,16
	34,4	24,6	3,4	3,2	3,2	-0,49	+0,82	3,161	3,158	3,161	-0,09
	34,5	24,0	3,3	4,0	3,2	-0,20	-1,64	3,160	3,159	3,161	-0,06
5	26,0	4,8	0	0,8	20,4	+1,56	+0,67	2,870	2,884	2,876	+0,28
	25,4	4,2	0	1,2	20,0	-0,78	-6,67	2,890	2,887	2,876	+0,38
	25,4	4,5	0	0	20,2	-0,78	0	2,872	2,866	2,876	-0,35
6	25,8	7,1	0	1,0	17,7	-0,12	+3,95	2,883	2,900	2,888	+0,42
	24,0	6,3	0	0,7	17,0	-7,08	-7,76	2,881	2,877	2,888	-0,38
	27,7	7,1	0	0,6	17,0	+7,24	+3,95	2,881	2,888	2,888	0
7	39,0	30,9	0	5,4	2,7	-0,59	-1,50	3,251	3,246	3,253	-0,22
	38,8	30,8	0	5,6	2,4	-1,10	-1,82	3,257	3,245	3,253	-0,25
	39,9	32,4	0	5,1	2,4	+1,71	+3,28	3,263	3,267	3,253	+0,43

Из данных табл. 2 следует, что все контролируемые параметры в определенном типе руды изменяются. Наблюдаются изменения и в средних показателях отдельных типов руд. Колебания магнетита в одном типе руды обычно больше, чем содержания общего железа. Изучение связи измельчаемости руд с содержанием различных железистых соединений показало, что с гематитом и сидеритом наблюдаются только тенденция зависимости. С магнетитом установлена более тесная корреляционная зависимость, особенно без руд четвертого и пятого типов. Еще более тесная связь получена по содержанию в руде общего железа, однако она не настолько тесная, чтобы можно было ее использовать для определения измельчаемости. Более широкий массив данных, полученный приборным измерением магнитной фракции тесноту связи не улучшает.

Из данных табл. 2 также следует, что плотности руд, определенные экспериментально и расчетным путем, практически совпадают. Это значит, что, зная тип руды, возможно аналитически определить ее плотность δ_p в соответствии с зависимостью

$$\delta_p = 1 / \sum_{i=1}^5 a_i / \delta_i, \quad (1)$$

где a_i - весовая доля компонента в руде; δ_i - плотность компонента.

Как видно из данных табл. 2, колебания плотностей руд значительно уже, чем железистых включений. Поэтому исследовалась связь измельчаемости руд с их плотностью. Установлено, что между измельчаемостью руд и их плотностью существует тесная нелинейная корреляционная связь, включая 1, 2, 6 и 7-й типы руд. Однако ее невозможно реализовать на практике, учитывая, что в зависимость не входит 3-й тип руды, который в сырье обогатительной фабрики составляет до 15%.

Более перспективным может оказаться взаимодействие упругого элемента с движущейся рудой, так как при этом одновременно воздействует несколько параметров, характеризующих твердые тела. В качестве чувствительного элемента был использован стальной упругий стержень, на который подавался поток дробленой руды неизменной высоты крупностью -25+12 мм и -12+6 мм. При исследовании использовались руды 1, 2, 3 и 6-го типов. Упругий элемент устанавливался в специальном стенде, возникающий в нем волновой процесс воспринимался пьезо-керамическим преобразователем, сигнал которого усиливался и фиксировался на киноплёнку шириной 38 мм шлейфового осциллографа Н-102. Предварительные исследования показали, что сигнал стального упругого стержня является случайным процессом, амплитуда и частота выбросов которого за условный уровень зависит от параметров потока дробленого материала. Установлено, что при определении среднего квадратического отклонения случайного процесса с погрешностью не более 2% требуемая продолжительность реализации должна быть равной 0,5 с. С увеличением продолжительности реализации случайного процесса значение относительных средних квадратических отклонений и их доверительных пределов уменьшается. При продолжительности реализации случайного процесса 0,625 с относительное значение среднего квадратического отклонения числа его положительных выбросов составляет 0,59...11,2%. В опытах среднее квадратическое отклонение случайного процесса и частоту его положительных выбросов с достаточной точностью можно определить по секундной реализации.

В процессе экспериментальных исследований установлены тесные корреляционные зависимости напряжения U преобразователя со средней крупностью руды K_{cp} и произведением K_{cp} на величину, обратную измельчаемости K_u , то есть $K_{cp} K_c$, а также среднего числа положительных выбросов n с теми же параметрами потока. Наилучшие результаты представлены уравнением

$$U = 0.915 K_{cp} \cdot K_c - 3.4, \quad (2)$$

для которого выборочный коэффициент корреляции R составил 0,97, доверительные интервалы для значения генерального коэффициента корреляции $R_{ген} - 0,92 \leq R_{ген} \leq 0,98$, а относительное среднее квадратическое отклонение в выбросе $\sigma_0 - 7,4\%$ с доверительными пределами для значения относительных средних квадратических отклонений $\sigma_{0ген} - 4,44 \leq \sigma_{0ген} \leq 10,36\%$.

Полученные значения выборочных коэффициентов корреляции и доверительных пределов для них подтверждают наличие тесной линейной корреляционной связи между параметрами выходного сигнала датчика, средней крупностью частиц руды и ее измельчаемостью. Следует учитывать, что полученные относительные средние квадратические отклонения и их доверительные пределы, которые характеризуют точность метода, значительно увеличены из-за возможных некоторых колебаний измельчаемости руды внутри определенного типа, возможных

несоответствий размера частиц внутри класса крупности, сегрегации частиц в стенде, погрешности метода обработки сигнала.

Важной также является зависимость деформирования упругого элемента x при разрушении на нем образца руды объемом V_p шаром массой m [13]

$$x = \frac{mg + \sqrt{mg(mg + 2ch) - 2ckk_1V_p}}{c}, \quad (3)$$

где c - коэффициент жесткости упругого элемента; h - высота, с которой падает шар; k - коэффициент, зависящий от прочности материала; k_1 - постоянная, которая характеризует связь между общим и деформированным объемом куска материала; g - сила земного тяготения.

Зависимость (3) возможно реализовать непосредственно в шаровой мельнице, поскольку k характеризует тип руды, а V_p - размер ее кусков.

При заполнении накопительных бункеров дробленой рудой перспективными являются средства визуального контроля, которые наряду с крупностью дают информацию и о вкрапленности минеральных зерен в продукте [14,15].

Выводы и направления дальнейших исследований. Таким образом, проведенные исследования показали, что идентифицировать необходимые параметры исходного питания перед измельчением возможно, используя сигнал упругого преобразователя при взаимодействии его с потоком руды или взаимодействие упругого элемента, кусков руды и шара, а также результаты визуального контроля дробленого материала на конвейерной ленте.

Полученные технологические предпосылки и экспериментальная основа открывают перспективу создания средств идентификации характеристик руды, направляемой на измельчение.

Список литературы

1. Измельчение. Энергетика и технология: уч. пособ. для вузов / [Пивняк Г.Г., Вайсберг Л.А., Кириченко В.И. и др.]- М.: Изд. дом «Руда и Металлы», 2007.- 296с.
2. Науменко Ю.В. Основы теорії режимів роботи барабанних млинів: [монографія] / Науменко Ю.В.- Рівне: Видавництво СПД Зелент, 2009.- 282с.
3. Ржевский В.В. Основы физики горных пород / В.В. Ржевский, Г.Я. Новак.- М.: Недра, 1984.- 360 с.
4. Нотт Дж. Ф. Основы механики разрушения / Нотт Дж. Ф.: пер. с англ. Д.В. Лаптева.- М.: Металлургия, 1978.- 256 с.
5. Справочник по обогащению и агломерации руд черных металлов / [Шинкаренко С.Ф., Маргулис В.С., Николаенко В.П. и др.]: под ред. С.Ф. Шинкаренко.- М.: Недра, 1964.- 527 с.
6. Ходаков Г.С. Физика измельчения / Ходаков Г.С.- М.: Наука, 1985.- 307 с.
7. Бондарь В.С. Неупругость. Варианты теории / Бондарь В.С.- М.: Физматлит, 2004.- 144с.
8. Морозов Н.Ф. Проблемы динамики разрушения твердых тел / Н. Морозов, Ю. Петров.- Санкт-Петербург: Изд. С.-Пб. ун-та, 1997.- 132с.
9. Шинкаренко С.Ф. Технология измельчения руд черных металлов / Шинкаренко С.Ф.- М.: Недра, 1982.- 213 с.
10. Шинкаренко С.Ф. Технологическая оценка прочностных свойств горных пород, подвергаемых измельчению // Горный журнал.- 2006.- №9.- С.26-31.
11. Исследование измельчаемости руд с целью разработки средств автоматизации / Т.И. Гуленко, Б.А. Коряков-Савойский, В.И. Лопатин, В.А. Кондратец, З.Н. Кашурникова // Автоматизация горнорудного и металлургического производства: сб. научно-техн. статей НИИАЧермет.- 1971.- Вып.7.- С.13-20.
12. Маляров П.В. Основы интенсификации процессов рудоподготовки / Маляров П.В.- Ростов-на-Дону: Ростиздат, 2004.- 320с.
13. Кондратец В.О. Теоретичне дослідження системи з падаючим тілом при ідентифікації зразків твердого / В.О. Кондратец, М.О. Карчевська // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин: загальнодержавний міжвідомчий наук.-техн. зб.- 2010.- Вип.40, Ч.1.- С.142-150.
14. Morkun V., Tron V. (2014). Automation of iron ore raw materials beneficiation with the operational recognition of its varieties in process streams, Metallurgical and Mining Industry, No4, p.p. 42-45.
15. Разработка и применение автоматизированных систем управления процессами обогащения полезных ископаемых / [Морозов В.В., Топчаев В.П., Улитенко К.Я. и др.]- М.: Изд. дом «Руда и металлы», 2013.- 512с.