

9. Пахомов А.Е. Биогеоценотическая роль млекопитающих в почвообразовательных процессах степных лесов Украины: В 2 кн. – Кн. 2: Трофический тип воздействия. Биогеоценотический процесс становления биологической устойчивости эдафотопы. – Д.: ДГУ, 1998. – 216 с.

10. Хабиров И.К. Физические свойства и ферментативная активность почв. Экологические условия и ферментативная активность почв. – УФА. АН СССР. Башкирский филиал Института биологии. Уфа: 1979.

Рукопис подано до редакції 17.03.14

УДК 622.237

Н.В. КИЯНОВСЬКИЙ, д-р техн. наук, проф., Криворожский национальный университет,
СОКУР И.Н., СОКУР Л.М., научные сотрудники,
ГВУЗ «Кременчужский национальный университет им. Мих. Остроградского»

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ЦЕНТРОБЕЖНО-УДАРНЫХ ДРОБИЛОК В ОТЕЧЕСТВЕННОЙ И ЗАРУБЕЖНОЙ ГОРНОРУДНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Рассмотрены пути повышения эффективности обогащения за счет выбора технологического оборудования на принципах ударного измельчения. Центробежно-ударные дробилки позволяют на 1,0-1,5 % снизить энергоемкость процессов измельчения, а содержание железа при этом в концентрате может быть повышено на 1,5-2,0 %. При этом существует несколько конструкций центробежно-ударных дробилок, которые могут быть применены в схемах реконструкции или проектирования обогатительных секций, но отсутствуют рекомендации по их выбору.

В отечественной горнорудной промышленности основным оборудованием для дробления и измельчения руд являются конусные дробилки крупного, среднего, мелкого дробления и барабанные мельницы.

Дробилки мелкого дробления типа КМДТ, которые эксплуатируются на горно-обогатительных комбинатах Кривого Рога, как правило, позволяют получить дробленый продукт крупностью 25-30 мм (в зависимости от размера и изношенности щели между подвижным и неподвижным конусом).

Проблема и связь ее с научными и практическими задачами. В зарубежной практике все более широкое применение в стадиях мелкого дробления находят центробежно-ударные дробилки, которые производят дробленый продукт крупностью 5,0-10,0 мм, а по технологическим и энергетическим параметрам стают более эффективными по сравнению с конусными дробилками.

Анализ исследований и публикаций. Исследованиями ряда авторов [1] показано, что в центробежных дробилках, по сравнению с конусными, каждый миллиметр снижения крупности дробленого продукта позволяет на 1,0-1,5% снизить энергоемкость процессов измельчения, а содержание железа при этом в концентрате может быть повышен на 1,5-2,0% .

Постановка задачи. Один из путей повышения эффективности обогащения состоит в выборе технологического оборудования на принципах ударного измельчения. При этом существует несколько конструкций центробежно-ударных дробилок, которые могут быть применены в схемах реконструкции или проектирования обогатительных секций, но отсутствуют рекомендации по их выбору.

Изложение материала и результаты. Основное отличие центробежно-ударных дробилок от других аппаратов ударного действия состоит в том, что акт дробления практически полностью перемещен с вращающегося рабочего органа на периферическую отражательную поверхность. Ротор при этом выполняет только разгонную функцию для материала, подаваемого в его полость. В зависимости от того, что представляет собой отражательная поверхность, жесткую преграду (бронь) или слой дробимого материала, дробилки различают типа «камень о металл» или «камень о камень», т.е. с самоизмельчением.

Реально слой дробленого материала может быть неподвижным, размещенным в «ячейках» отражательной обечайки или подвижным, подаваемым в зазор между ротором и отражательной поверхностью; в этом случае в камере дробления происходит процесс «камень – камень – камень» или «камень – камень – металл». Технические характеристики центробежно-ударных дробилок, производимых в настоящее время зарубежными фирмами, приведены в табл. 1.

Все выпускаемые промышленностью центробежные дробилки однородны. В дробилках «Торнадо» применен ротор открытого типа, выполненный в виде диска с установленными на его периферии радиальными разгонными ребрами (рис. 1). В центральной части диска располагается распределительный конус. Конструкция ротора – сварная. Цилиндрический корпус дробилки закрыт крышкой на замки, обеспечивающие удобный доступ в дробильную камеру. К аксиально разгонному ротору в крышке располагается загрузочный бункер, переходящий в питающую трубу. Отбойные плиты крепятся непосредственно к внутренней стенке корпуса.

Таблица 1

Технические характеристики центробежно-ударных дробилок

Фирма, страна, модель	Типоразмер	Производительность, т/ч	Установленная мощность, кВт	Масса дробилки, т	Крупность питания, мм не более	Диаметр ротора, мм	Частота вращения ротора, с ⁻¹	Окружная скорость на кромке ротора, м/с, не более
Ротопактор/Канска/США	нет св.	150...400	нет св.	до 11,5	25...100		60...100	нет св.
Сидэрилдз/Айова/США	2100	250...350	370	12	75	930	80...130	40...60 ^x
Крупн/ФРГ/Тайфуи	нет св.	30...90	37...110	1,6-6,8	40-110	700	55-86 ^x	60
Мартин	50	50	55-75	6,2	55	762	13-220	50-84 ^x
Стекерт/ФРГ/Давид	75	75	75-90	7,5	55	762	132-191	50-74 ^x
	100	100	110-160	7,5	55	990	103-167	60-84 ^x
	150	150	110-160	8,0	60	990	103-149	50-74 ^x
	200	200	160-220	9,6	60	1194	64-99	38-60 ^x
	300	300	190-250	12,0	70	1194	64-99	38-60 ^x
SBM/ Австрия	V 8	40-70	110	4,1	50	800	75-93 ^x	60-74
	V 10	70-110	160	нет св.	50	1000	60-74 ^x	60-74
	V 12	110-180	нет св.	нет св.	50	1200	50-62 ^x	60-74
Тидло Ливининг/Новая Зеландия/Дуоактор	VUF 6900	150	110	нет св.	40	690	100 ^x	70
	VUF 9600	450	360	нет св.	60(120)	960	75 ^x	70
Бармак/Новая Зеландия	нет св.	До 120	75...200	нет св.	60	840,990	65...78 ^x	55...77
Ротопактор/Спокейн Крашер/США	120-DZ	230...	260...	12...15	150(180)	894	105	47 ^x
	129-DZ	400	450					
	66-DZ	70...	112...	6...12	50(75)	894	168...	48-87 ^x
	74-DZ	270	300				198	
Верко Стил/США/Торнадо	3-5-20	23...55	30...65	1,0	40	510	175	45 ^x
	3-5-27	27...36	30...55	1,3	40	865	175	60 ^x
	4,5-7-20	65...90	30...55	1,6	50	510	175	45 ^x
	5-12,5-27	90...140	55...110	2,2	100	685	125	43 ^x
	4,5-7-27	65...90	30...55	1,7	50	685	175	60 ^x
	6-18-30	140...270	110...185	5,1	150	915	125	57 ^x
Бармак Америка/США	нет св.	50...500	нет св.	нет св.	60	840	110...	45...85
Ротопактор/Жрофт	нет св.	50...200	75...375	нет св.	60	840,990	110...170	45...85 ^x
Имприсе/Великобритания	нет св.	50...200	75...375	нет св.	60	840,990	110...170	45...85 ^x

x- расчетные значения

Фирма «SprochaCrusherMfg. Co» («СпокейнКрашер», США) также выпускает дробилки «камень о металл» с открытым ротором. Однако здесь применены съемные разгонные ребра из специальных сталей. Представляют интерес специальные исследования рабочего процесса в дробилке «Спокейн» с применением скоростной киносъемки [2].

Цель исследований состояла в снижении износа деталей и повышении динамической уравновешенности машин. Специалисты «Спокейн» считают, что для этого следует минимизировать степень ударного взаимодействия материала с ротором. Речь идет в основном об исключительном попадании рикошетирующих осколков назад на ротор. Осколки могут иметь значительную энергию, так как дробилки, предназначенные для среднего дробления (модели 129 и 120) принимают питание в крупности до 180 мм.

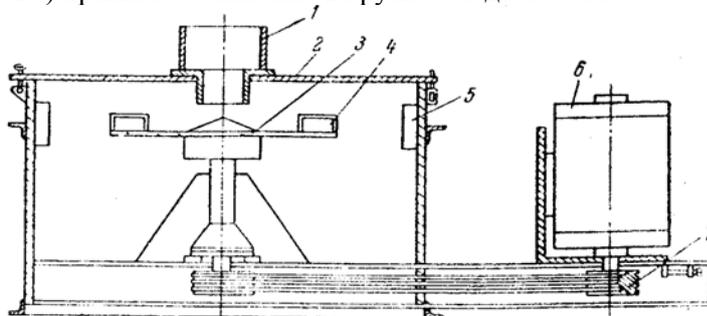


Рис. 1 Дробилка «Торнадо». 1 – питающая труба; 2 – крышка корпуса; 3 – ротор; 4 – разгонные ребра; 5 – отбойные плиты; 6 – электродвигатель; 7 – клиноременная передача.

Сравнение полученных кинограмм с аналогичными снимками процессов разрушения в обоих случаях. Является общепринятым в дробилках «камень о металл» устанавливать броневые плиты отража-

тельной поверхности под углом к радиусу с тем, чтобы обеспечить близкий к прямому угол при ударе. При этом кинетическая энергия кусков материала используется на разрушение с минимальными потерями.

Дробилки «Спокейн» широко применяются на предприятиях по производству строительных материалов в США, где ими успешно заменяют эксплуатировавшиеся конусные дробилки мелкого дробления. В середине 80-х годов в США работало около 140 таких дробилок. Распространены передвижные дробилки установки «Пионер Спокейн», используемые в карьерах [2].

Существенный прогресс в производстве центробежно-ударных дробилок и резкое расширение сферы их применения в последнее десятилетие связаны, главным образом, с внедрением дробилок «камень о камень», и, в частности, с деятельностью фирмы «BarmacAssociatesLtd.» («БармакЭссошиейтс» Новая Зеландия).

Как указывает Х. Хийл [2], первый образец дробилки «Бармак», названной по именам ее изобретателей В. А. Бартме и Д. Макдональда, был создан в 1975 г. В 1981 г. фирма продала около 40 образцов [2], а к 1988 г. в мире работало уже более 800 таких аппаратов [2].

Дробилку отличает широкое использование самофутеровки основных элементов – ротора и отражательной поверхности. Применен ротор закрытого типа, содержащий верхний и нижний диски, цилиндрическую обечайку с окнами для выброса материала.

Хордовые разгонные ребра заканчиваются угловыми тупиками. В образованном ребром и тупиком кармане образуется слой самофутеровки, поверхность которого имеет форму фрагмента логарифмической спирали.

Таким образом, разгон дробимого материала происходит не по металлической поверхности, а по слою самофутеровки, что существенно снижает износ.

Ротор «Бармак», горизонтальное сечение которого показано на рис. 2, содержит три разгонных поверхности.

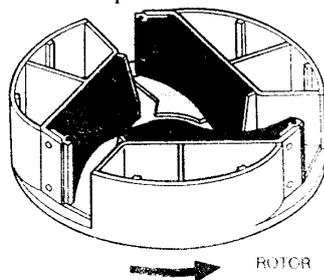


Рис. 2. Ротор дробилки «Бармак»

В дробилках «Ротопактор» ранних выпусков применялись также роторы с двумя разгонными поверхностями. В центральной части ротора находится распределительный конус с одно-болтовым креплением, закрывающий выход главного вала дробилки. Хордовые разгонные ребра располагаются под углом к радиусу, достаточно близко к теоретической линии самофутеровки. Таким образом, масса материала, образующего самофутеровку, сравнительно невелика, что ограничивает нагрузки на металлоконструкцию. На концах разгонных ребер расположены монтажные планки, к которым на болтах крепятся изнашиваемые пластины. Тогда по мере износа пластин в работу вступают нижние твердосплавные вставки. Кромки монтажных планок также защищены твердосплавными вставками.

Верхний и нижний диски ротора с внутренней стороны защищены от износа профилированными литыми футеровочными пластинами.

Наружная поверхность обечайки ротора закалена с целью снижения износа от рикошетирующего материала. Отражательная поверхность в дробилках «камень о камень» также защищена от износа слоем самофутеровки. На периферии камеры дробления имеется горизонтальная кольцевая площадка, на которой образуется естественный откос материала (рис. 3).

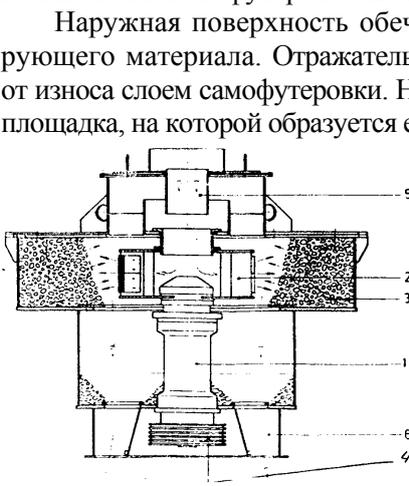


Рис. 3. Дробилка серии V – SBM: 1 – вал; 2 – ротор; 3 – автогенная самофутеровка; 4 – клиноременная передача; 5 – питающая труба; 6 – разгрузочный бункер

Дробилки «БармакРотопактор», выпускаемые в Новой Зеландии в начале 80-ых годов, обеспечивали производительность до 120 т/ч при крупности исходного материала до 60 мм.

Испытания этих аппаратов, проведенные при переработке каолина, сталеплавильных и оловянных шлаков, хромовой и железной руды, гранитов, кварцитов, фосфатов, известняка, подтвердили их высокую эффективность и универсальность тока.

Спрос на дробилки этого типа возрос, и в середине 80-х годов к производству дробилок «БармакРотопактор» приступили еще две фирмы: «BarmacAmericaInc.» («Бармак Америка», США) и «CroftImprecaltd.» («КрофтИмприк», Великобритания). Производится пятнадцать типоразмеров дробилок производительностью от 50 до 500 т/ч. Наряду с традиционными конст-

рукциями типа «Торнадо» или «Спокейн», содержащими открытый ротор с разгонными ребрами получила распространение новая конфигурация камеры дробления, сочетающая угловую футеровку и закрытый самофутерующийся ротор типа «Бармак». Производители центробежно-ударных дробилок выпускают сейчас аппараты всех рассмотренных типов.

Фирма «AcrowoodCorp.» («Акровуд», США) выпускает центробежные дробилки «Центри» и «Центри-II». Конструкция этих дробилок имеет ряд особенностей. Применяется реверсивный ротор закрытого типа, что позволяет удвоить срок службы разгонных ребер. V-образная форма ребер обеспечивает их самофутеровку при реверсировании вращения [1,2]. Дробилки «Центри» типа «камень о металл» и выпускаются трех типоразмеров: 310, 320 и 330. Они имеют угловую футеровку, причем положение отбойных плит по высоте может регулироваться винтами. Такое техническое решение обеспечивает высокое (до 80%) использование металла отбойных плит. В отличие от «Центри», дробилки «Центри-II» имеют автогенную самофутеровку отражательной поверхности. При необходимости может производиться переоборудование дробилки типа «Центри 330» в дробилку «Центри-II» и наоборот. Трудоемкость этой операции составляет 24 чел/д.

Фирма «CanicaIntern/ Corp.» («Каника», США) выпускает передвижные и стационарные дробилки для производства стройматериалов.

Применен закрытый самофутерующийся ротор. изнашивающиеся детали крепятся к ротору резьбовым соединением. Производительность машины регулируется посредством вертикального перемещения питающей трубы в центральном отверстии ротора. Для регулирования зернового состава продукта дробления скорость вращения ротора можно изменять в пределах 600+1400 об/мин. Вес дробильного модуля максимальной производительности 11,85 т [1,2].

Фирма «Nordberg» («Нордберг», США) выпускает стационарные центробежно-ударные дробилки с ротором закрытого типа, как с угловой, так и с автогенной футеровкой рабочей камеры. В дробилке «камень о металл» применяют новые типы отбойных элементов. Оригинальной разработкой фирмы являются отбойные элементы восьмигранной формы с гладкой опорной поверхностью, установленные на периферии камеры дробления. В процессе работы отбойные элементы могут поворачиваться, что обеспечивает высокое использование их металла [1,2]. Возможна замена отбойных элементов без разборки дробилки [1,2].

В комплект поставки дробилок «Nordberg» входит тельфер, устанавливаемый непосредственно на раме дробилки и служащий для технического обслуживания и ремонта [1,2].

Фирма «CedarapidsIowaMgf» («Сидерепидз Айова», США) выпускает передвижные дробильные установки EL-УАЧ с дробилкой 2100. Ротор открытого типа содержит 4 разгонных ребра из высокохромистого сплава. Диаметр дробильного модуля – 2м.

Отражательная поверхность представляет собой угловую футеровку из 24 отбойных плит, установленных на кольцевой обечайке, имеющей возможность вращения вокруг своей оси. Эта особенность конструкции позволяет уменьшить износ отбойных плит. Установка EL-УАЧ выпускается также с дизельным приводом. Для передачи вращения главному валу используется ортогональная зубчатая передача, что позволяет расположить приводной двигатель горизонтально [1,2].

На выпуске передвижных дробильных установок с дизельным приводом специализируется фирма «Cargi – CelRockBreakInc.» («Кэри – Сэл», США). Выпускается четыре типоразмера дробилок типа «камень о камень» производительностью 225, 300, 375, 450 т/ч. Конструкция повторяет «БармакРотоактор». Установки «Кэрри-Сэл» используются при переработке гранита, базальта, речного гравия [11,14]. Фирма AGP (США) выпускает дробилку «Турбо-96» производительностью 128 – 150 т/ч. Отличительной особенностью конструкции является литой ротор из хромистого сплава, имеющий фирменное название «суперчиппер» [1,2].

Центробежно-ударные дробилки производятся также рядом крупных европейских фирм.

Фирма «KruppIndustrieundStahlbauGmb» («Крупп», ФРГ) продолжает выпуск небольших (производительность 30+90 т/ч) дробилок «Тайфун». Ротор диаметром 700+1100 мм развивает линейную скорость до 60 м/с, что позволяет получать при производстве щебня продукт крупностью - 16,0 мм при питании 110-40 мм [1,2].

Другим производителем центробежно-ударных дробилок в ФРГ является фирма «MartinSteckertGmb.» («Мартин Стекерт») выпускающая дробилки «Давид».

Дробилки «Давид» содержат самофутерующийся ротор с максимальными разгонными элементами. Футеровка отражательной поверхности – автогенная. Упрощена замена не только разгонных элементов ротора, но и ротора в целом, а также загрузочной воронки. Обеспечен удоб-

ный визуальный контроль состояния ротора и камеры дробления, для чего верхняя кромка корпуса снабжена смотровыми люками.

Одна из ведущих в мире фирм, занимающихся производством роторных дробилок “NazemagGmb.” («Хацемаг», ФРГ) также приступила к выпуску дробилок центробежно-ударного типа. Отличием дробилок «Хацемаг» является использование в качестве отбойных плит отражательной поверхности изношенных бил роторных дробилок.

При эксплуатации на предприятии как роторных, так и центробежно-ударных дробилок, такое решение достаточно практично, хотя профиль отражательной поверхности при этом не оптимален, что снижает эффективность дробления.

Фирма “SMB WagenderGmb” (Австрия) выпускает дробилки трех типоразмеров 7,10,12 с диаметрами разгонного ротора 800,1000 и 1200 мм соответственно.

Окружная скорость вращения ротора 60+74 м/с. Футеровка отражательной поверхности – автогенная (рис.1.5). Детали ротора имеют сварную конструкцию, упрочнены наплавкой и защищены футеровочными плитами из хромистого или белого чугуна. Разгонные ребра, состоящие из двух составных частей, изготавливают из износостойких керамических материалов. Для снижения уровня вибрации, подшипники ротора установлены на резиновых опорах [1,2].

К выпуску центробежно-ударных дробилок в последнее время приступила еще одна австрийская фирма “Voest – Alpine AG” («Вест Альпине»). Она поставляет на рынок два типоразмера стационарной дробилки «Центрокамер» 1280x1250 мм и 1600x1600 мм с электроприводом мощностью 55 и 75 Вт соответственно.

Эти дробилки предназначены для производства строительного песка и мелкого гравия и обеспечивают получение продукта крупностью – 5,0 мм (80%) в закрытом цикле. При конструкции сит сходны с дробилками серии V фирмы SBM.

Их отличает применение реверсивного привода и, следовательно, зубчатой футеровки отражательной поверхности [1,2].

Английская фирма “ImpactTechnologyLtd” («ИмпактТехнолоджи») поставляет на рынок дробилку VSt 150 производительностью до 150 т/ч.

Питающая труба, по которой материал подается в ротор, в этой машине вращается вместе с ротором, окружная скорость ротора 55 м/с.

Другим отличием конструкций является установка отбойных плит угловой футеровки под углом к вертикали с тем, чтобы избежать повторного попадания осколка дробленого продукта на ротор [1,2].

Фирма “Bergeaud” («Берже», Франция) сообщила о выпуске центробежно-ударных дробилок 1.1665 и 1.2080 с усовершенствованной системой виброзащиты. Применены мощные эластомерные амортизаторы.

При повышении уровня вибрации выше допустимого, автоматическая система подает сигнал тревоги и отключает привод [1,2].

Предусмотрена также возможность централизованной автоматической смазки. Несмотря на широкое освоение производства центробежно-ударных дробилок американскими и западноевропейскими фирмами, передовой уровень этой техники по-прежнему представляет Новая Зеландия, где «БармакЭссомелэйтс» в сотрудничестве с TidcoEngineeringGroup” («Тидко Инжиниринг Групп») начала выпуск центробежно-ударных дробилок нового типа, получивших название «Дуопактор».

Принципиальное отличие рабочего процесса дробилок «Дуопактор» состоит в том, что часть материала не пропускается с основным потоком через разгонный ротор, а непосредственно подается на периферию камеры дробления.

Этот второй поток материала имеет сравнительно низкую скорость, что связано с чисто гравитационной природой его движения. При взаимодействии с высокоскоростным потоком материала, поступающим из ротора, происходит разрушение.

В.А. Бартли указывает, что образующуюся на периферии рабочей камеры завесу из падающих кусков второго потока можно рассматривать как подвижную отражательную поверхность [1,2].

При работе в режиме измельчения направляющий аппарат отсутствует, верхняя часть камеры дробления сообщена с пневмоприводом, и готовый продукт выносится через нее с воздухом в систему очистки, включающую сепаратор, циклон или рукавный фильтр (рис.4б).

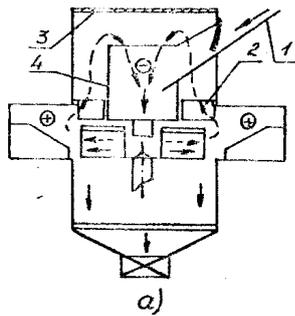
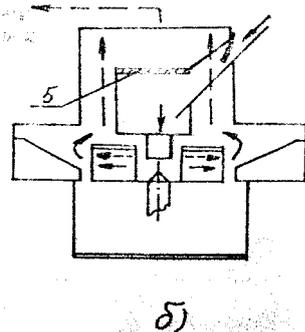


Рис. 4 Аэродинамика центробежно-ударной дробилки (а – режим дробления), где: 1 – питающий желоб; 2 – лопатки направляющего аппарата; 3 – крышка корпуса; 4 – промежуточный бункер; 5 – крышка промежуточного бункера

Переоборудование для работы в режиме измельчения характерно для дробилок «БармакРотоактор» и «Дуоактор», «Давид», дробилок серии V фирмы SBM.

Украинскими учеными разработаны оригинальные конструкции центробежно-ударных дробилок ЦД-1, ЦД-10, ЦД-50 с демпфирующими подвесками рабочих органов (роторов), что позволило эффективно компенсировать конструктивные и технические дисбалансы роторов и за счет этого существенно повысить надежность и работоспособность этих дробилок [1,2]. Эти дробилки успешно прошли испытания и применяются для дробления руд и строительных материалов.

Рис. 5 Аэродинамика центробежно-ударной дробилки (б – режим измельчения)



Выводы: таким образом, зарубежными фирмами и отечественными организациями в настоящее время производится широкий спектр центробежно-ударных дробилок номинальной производительностью от 30 до 450 т/ч. Удельная эффективность этих аппаратов по питанию находится в пределах: для дробилок «камень о металл» 1,00...1,2 кВтч/т, для дробилок «камень о камень» 1,1...1,9 кВтч/т, для «Дуоакторов» 0,7 – 0,8 кВтч/т. Удельная металлоемкость составляет 0,020 – 0,075 т ч/т, что, по крайней мере, на порядок ниже, чем в конусных дробилках мелкого дробления.

Список литературы

1. Н.И. Сокур, И.Н. Сокур, Л.М. Сокур. Центробежные дробилки: Монография. – Кременчуг, ЧП Щербатых А.В., 2009 – 240 с.
2. Harrods. Crusher Action Analyzed with High Spood Photography Pit and Quarry. – 1979. - №11. – p.p. 49-52, 65/
3. Н.И. Сокур, А.Д. Учитель, С.А. Учитель. Центробежная мельница// А.С. 1.325.129 СССР, МКИВО2С13/14, опубликовано 24.01.1988. Бюл. изобретений №3.

Рукопис подано до редакції 02.10.13

УДК 622.271.333:621.86.06

Ю.М. НИКОЛАШИН, д-р техн. наук, проф., Криворожский национальный университет,
К.В. КОВАЛЕВ, Н.В. КОРЧАГИН, ГП «ГПИ «Кривбасспроект»

УСТОЙЧИВОСТЬ ОТКОСОВ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА ИЗ ОТХОДОВ СУХОЙ МАГНИТНОЙ СЕПАРАЦИИ ЖЕЛЕЗИСТЫХ КВАРЦИТОВ

Выполнена оценка условий устойчивости насыпи высотой более 30 м из отходов переработки сырой руды для внутренних железнодорожных путей внешних отвалов ПАО «ИнГЮК» в сложных инженерно-геологических условиях.

Ключевые слова: устойчивость откосов, железнодорожная насыпь, переработка кварцитов, отходы сепарации, противооползневые мероприятия.

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. Среди отходов сухой магнитной сепарации железистых кварцитов значительную долю занимают объемы мелких фракций щебня с размером зерен до 10 мм, которые могут быть использованы для дорожно-строительных работ, в том числе насыпей.

Проблема использования мелкого щебня для строительства насыпей рассматривается редко.

В то же время строительными нормами и правилами (1992 г.) предусматривается возможность использования отходов горнорудного производства в конструкциях и элементах сооружений промышленного транспорта.

При этом возникает научно-практическая задача по строительству насыпей внутренних железнодорожных путей со сроком службы до трех лет в карьерах и на отвалах.