

ДРОБИЛЬНО-ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ВИБРАЦИОННОГО ДЕЙСТВИЯ ДЛЯ ПЕРЕРАБОТКИ СЫРЬЯ И ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ

Л.А. Вайсберг, А.Н. Сафронов

Научно-производственная корпорация "Механобр-техника", г. Санкт-Петербург

На основе вибрационного способа дезинтеграции созданы новые дробильно-измельчительные машины, в которых реализовано внутрислойное динамическое разрушение материала комбинированным виброимпульсным сжатием со сдвигом. Рассмотрены конструктивные и технологические особенности вибрационных дробилок, а также опыт их промышленного применения при переработке различных видов сырья, включая промышленные отходы. Показано, что вибрационная дезинтеграция обеспечивает эффективную переработку отходов производства и более высокие технико-экономические показатели по сравнению с традиционными технологиями. Имеющийся достаточно длительный опыт эксплуатации созданных вибрационных машин доказывает реальное снижение энергозатрат до 30 % особенно на высокотвердых материалах.

Ключевые слова: вибрационная дезинтеграция, вибрационные дробилки, переработка промышленных отходов, малоотходные технологии, рудоподготовка, производство кубовидного щебня, энергопотребление

Innovative Crushing and Grinding equipment of Vibration Action

L.A. Vaisberg, A.N. Safronov

REC "Mekhanobr-tekhnika", 199106 St. Petersburg, Russia

Based on the vibration method of disintegration, new crushing and grinding machines have been created, in which the intra-layer dynamic destruction of the material is realized by a combined vibration-pulse compression with a shift. The design and technological features of vibration crushers are considered, as well as the experience of their industrial use in the processing of various types of raw materials, including industrial waste. It is shown that vibration disintegration provides efficient processing of production wastes and higher technical and economic indicators in comparison with traditional technologies. The sufficiently long operating experience of the created vibration machines proves a real reduction in energy consumption by up to 30%, especially for highly hard materials.

Keywords: vibratory disintegration, vibratory crushers, industrial waste recycling, low-waste technologies, ore preparation, the production of cubical crushed aggregates, energy consumption

DOI: 10.18412/1816-0395-2019-07-4-9

Дробление и измельчение различных видов сырья (дезинтеграция) — самые распространенные и энергозатратные процессы. В России на дезинтеграцию различных твердых материалов расходуется более 10 % всей производимой в стране электроэнергии. Доля капитальных, эксплуатационных и энергетических затрат на дробление и измельчение большинства использующих эти процессы предприятий составляет более 50 % их экономического баланса.

Вовлечение в переработку все более широкого круга промышленных отходов также диктует необходимость разработки новых

способов эффективного воздействия на подлежащий утилизации скрап. Основные производители многотоннажных отходов производства — горно-обогатительная и металлургическая отрасли, промышленность строительных материалов. Только в России ежегодно образуется около 5,0 млрд т промышленных отходов, при этом утилизируется не более 20 %. Кроме того, огромное количество отходов уже накоплено в хранилищах и зачастую просто не поддается учету. Переработка целого ряда отходов производства усложняется невозможностью обеспечения их селективного разрушения, а многие сверхпрочные и твердые мате-

риалы и вовсе не могут быть переработаны в существующих дробильно-измельчительных аппаратах.

Проблему решает разработанная в "Механобре" вибрационный способ дезинтеграции [1], на основе которого создано принципиально новое дробильно-измельчительное оборудование с динамическим приводом, где используются дебалансные вибровозбудители.

Сущность вибрационного способа дезинтеграции заключается в принудительном самоизмельчении материала внутри собственного слоя под воздействием виброимпульсного сжатия с одновременным сдвигом. При этом уровень

силового воздействия на слой материала регулируется в диапазоне предела прочности дефектных поверхностей его структуры. Разрушение материала осуществляется телами с гладкими рабочими поверхностями: плитами (вибрационные щековые дробилки, выпускаемые под торговой маркой "Механобр-техника" "ВЩД") и конусами (конусные инерционные дробилки, выпускаемые под торговой маркой "Механобр-техника" "КИД", и вибрационные конусные дробилки, выпускаемые под торговой маркой "Механобр-техника" "ВКД").

Вибрационные щековые дробилки

Вибрационные щековые дробилки (ВЩД) (рис. 1) имеют две подвижные щеки, снабженные индивидуальными приводными дебалансными вибраторами, не имеющими между собой кинематической связи. Вибраторы вращаются синхронно и протифазно каждый от своего электродвигателя. Применение ударно-вибрационного воздействия щек с высокой частотой ударов при разрушении позволяет перерабатывать с высокой степенью дробления (до 20) материалы практически любой прочности — от ферросплавов и металлургических шлаков до отходов железобетона и твердых сплавов. В настоящее время функционирует размерный ряд ВЩД производительностью от 1 до 55 т/ч и с размером исходного куска (крупностью исходного питания) от 65 до 500 мм (табл. 1). Дробилки ВЩД с размером приемного отверстия 80×300 мм и 130×300 мм используются, главным образом, для переработки наиболее прочных природных и искусственных материалов — от руд до ферросплавов. Дробилки ВЩД 440×800, 440×1200 и 600×800 разработаны для дробления шлаков, бракованного и устаревшего железобетона, строительных отходов, различных руд и нерудных материалов, а также ферросплавов. Для переработки длинномерных строительных отходов, включая отходы железобетона, предназначены ВЩД с наклонной камерой дробления на приём исходного куска 800 и 1000 мм. Одна из особенностей таких дробилок — способность пропускать под действием вибраций через камеру дробления пред-

меты значительной длины и отделять стальную арматуру от бетона, что делает разработку крайне привлекательной для получения вторичного щебня из отходов железобетона [2–4].

Конусные инерционные дробилки

Наиболее широкое применение в промышленности нашли конусные инерционные дробилки (КИД) (рис. 2). Основное отличие этих дробилок от известных эксцентриковых дробилок заключается в применении дебалансного вибровозбудителя в качестве привода дробящего конуса, что и определяет следующие особенности КИД:

- степень дробления достигается в пределах от 4 до 30 (против 4–5 в эксцентриковых дробилках);

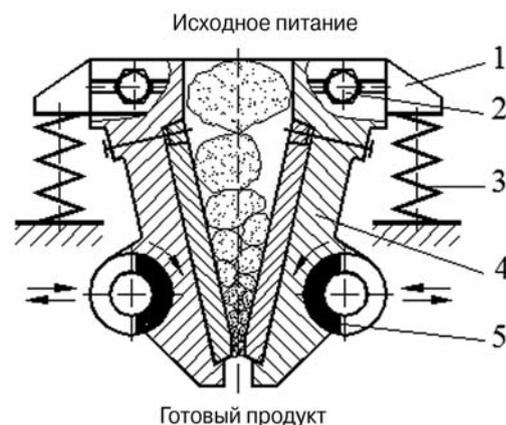


Рис. 1. Конструктивная схема ВЩД:

1 – корпус; 2 – торсион; 3 – амортизатор; 4 – подвижная щека; 5 – приводной дебалансный вибратор (стрелками показаны направления вращения вибровозбудителей и качаний щек)

Fig. 1. Constructive scheme of VJC:

1 – case; 2 – torsion; 3 – shock absorber; 4 – movable jaw; 5 – drive unbalance vibrator (arrows indicate the directions of rotation of vibration exciters and oscillations of the jaws)

Таблица 1. Технические характеристики ВЩД

Table 1. Technical characteristics of VJC

Показатель	Размеры приемного отверстия, мм					
	80×300	130×300	440×800	440×1200	600×800	1000×1200
Производительность, т/ч	1,0	1,5	35	50	55	200
Крупность, мм:						
	исходного питания	65	110	350	350	500
готового продукта	15	20	45	50	70	80
Частота колебания, об/мин	1500	1500	1500	1300	1000	1000
Мощность привода, кВт	2×7,5	2×11	2×30	2×45	2×37	90
Масса, т	1,4	1,5	17	20	25	60

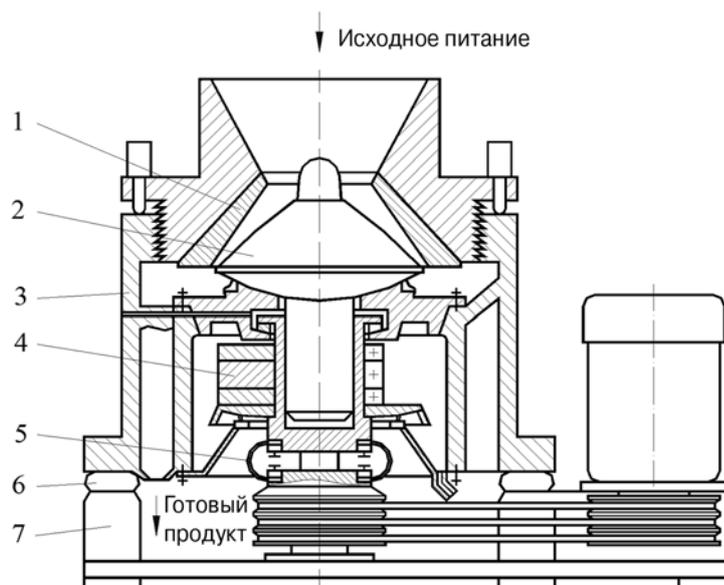


Рис. 2. Конструктивная схема КИД:

1 – наружный конус; 2 – внутренний конус; 3 – корпус; 4 – приводной дебалансный вибровозбудитель; 5 – эластичная муфта; 6 – резиновые амортизаторы; 7 – металлическая опора

Fig. 2. The design scheme of the CIC:

1 – outer cone; 2 – inner cone; 3 – housing; 4 – drive unbalance vibration exciter; 5 – elastic coupling; 6 – rubber shock absorbers; 7 – metal support

Таблица 2. Технические характеристики КИД
Table 2. Technical specifications of the CIC

Показатель	Диаметр основания конуса, мм						
	300	450	600	900	1200	1500	1750
Производительность, т/ч	1,0	5,0	15,0	50,0	150,0	250,0	350,0
Крупность, мм*:							
исходного питания	25/35	35/55	50/80	60/120	80/140	100/140	100/200
готового продукта	2/4	4/10	5/20	7/30	8/35	10/40	12/60
Мощность привода, кВт	11	37	55	132	160	315	500
Масса, т	1,35	3,7	8,3	20,5	29,4	62,2	100,0

*В числителе указаны значения параметров для стандартной камеры дробления, а в знаменателе – для длинноконусной камеры дробления.

- увеличение разгрузочной щели при износе практически не влияет на крупность дробленого продукта, так как последняя определяется не величиной разгрузоч-

ной щели, как в эксцентриковых дробилках, а величиной дробящего усилия, которое регулируется;

- не требуются дозирующие питатели, так как дробилка включается и останавливается "под завалом" (с заполненной камерой дробления);

- благодаря "мягкой" виброизоляции не требуется сооружение массивных фундаментов;

- попадание в камеру дробления случайного недробимого тела не приводит к перегрузке механизма привода.

Создан размерный ряд КИД с размером дробящего конуса от 300 до 1750 мм и производительностью от 1 до 350 т/ч (табл. 2). Возможность изменения степени дробления в широких пределах позволяет с успехом использовать их для получения продуктов с высоким содержанием мелких фракций или с минимальным переизмельчением [5–7].

КИД малых размеров (КИД-300,450,600) используются в основном для переработки абразивных, огнеупорных, керамических материалов и различных видов твердых промышленных отходов. Также эти дробилки с модифицированной камерой дробления применяются для переработки материалов растительного происхождения (бумажная промышленность, сельское хозяйство). КИД средних размеров (КИД-900,1200) используются, главным образом, в строительной индустрии для производства высококачественного кубовидного щебня для дорожного строительства и производства бетона. КИД крупных размеров (КИД-1500,1750) предназначены для использования в горно-обогатительной промышленности и для производства высококачественного кубовидного щебня для дорожного и железнодорожного строительства.

Вибрационные конусные дробилки

Дальнейшим развитием вибрационных дробилок явилось создание нового типа таких машин — вибрационных конусных дробилок (ВКД) (рис. 3), принципиальная новизна которых заключается в использовании двухмассной системы без жестких кинематических связей между дробящими телами, совершающими синхронно-противофазные колебания. Возмущающее усилие, развиваемое двумя установленными на корпусе машины самосинхронизирующимися вибровозбудителями, вызывает встречное перемещение рабочих органов (конуса и корпуса) с частотой, равной частоте вращения электродвигателей [8]. При сближении корпуса и конуса происходит дробление материала, а при отходе — разгрузка.

Реализация данной схемы определяет следующие преимущества этих дробилок:

- исключается переизмельчение дробленого продукта;
- малый намол железа;
- малый износ броней;
- игольчатая форма зерен конечного продукта, что повышает качество производимого абразивного инструмента;
- система динамически уравновешена, не передаются вибрации на фундамент.

ВКД с диаметром конуса 300 и 450 мм (табл. 3) предназначены для дробления особо прочных материалов в абразивной промышленности, таких как кварц, электрокорунд, карбиды кремния и бора, синтетические алмазы, нитрид бора. Опыт дробления электрокорунда в дробилках ВКД-300 на предприятии ОАО "РУСАЛ Бокситогорск" (рис. 4) для получения шлифовальных порошков показал, что благодаря запатентованному способу дробления [9] эти дробилки обеспечивают в 1,5 раза больше выход товарной фракции по сравнению с традиционными дробилками, при этом полученный после дробления в ВКД-300 продукт полностью соответствует требованиям к форме зерна с острой кромкой.

На основе созданных дробильно-измельчительных машин динамического типа разработан целый ряд новых технологических схем

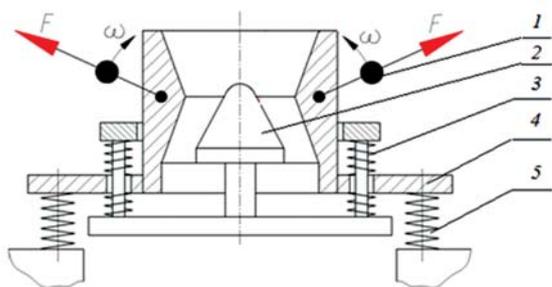


Рис. 3. Динамическая схема ВКД:

1 – вибрационный дебалансный привод; 2 – дробящий конус; 3 – упругая система дробящего конуса; 4 – корпус; 5 – опорные пружины

Fig. 3. Dynamic VCC scheme:

1 – vibration unbalance drive; 2 – crushing cone; 3 – elastic crushing cone system; 4 – housing; 5 – supporting springs



Рис. 4. Дробилка ВКД-300 в цехе дробления электрокорунда ОАО "РУСАЛ Бокситогорск"

Fig. 4. Crusher VCC-300 in the crushing shop of electrocorundum JSC RUSALBoksitogorsk

дезинтеграции различных видов сырья.

Так, одной из важных проблем в металлургической промышленности является подготовка легирующих добавок для производства качественных сталей. Переход на прогрессивную технологию выплавки стали с подачей легирующих добавок непосредственно в ковш с жидкой сталью изменил требования к форме легирующих добавок. Поэтому для легирования требуются ферросплавы крупностью 5–50 мм, а не 300–400 мм, как это было ранее. Дробление ферросплавов в силу их высокой механической прочности — сложная техническая задача, поэтому в традиционных дробильных машинах это делать весьма затруднительно и энергоемко, кроме того, процесс сопровождается образованием большого количества (до 30 %) отходов, подвергаемых повторной переплавке, что еще более увеличивает энергоемкость процесса. Для решения поставленной задачи разработана вибрационная технология дробления ферросплавов, основанная не на ударном разрушении материала (как в традиционных машинах), а на усталостном, обеспечиваемом многократным виброимпульсным воздействием на перерабатываемый материал. Первичное дробление ферросплавов крупностью 400–500 мм до крупности продукта 50 мм осуществляется на ВЩД 600×800 с размером приемного отверстия 600×800 мм (рис. 5), при этом выход непродуктивного класса мельче 5 мм в продукте составляет 5–10 % вместо 25–30 % в традиционных машинах. Характеристики крупности продуктов дробления ферросплавов в дробилке ВЩД 600×800 показаны на рис. 6. Фракции мельче 5 мм подвергали вторичному дроблению на дробилке ВКД-300 до крупности продукта мельче 1 мм, пригодного для последующего брикетирования для использования в качестве лигатуры или получения шихты для производства электродов. Таким образом, осуществляется практически безотходное производство легирующих добавок. Данная технология дробления ферросплавов с использованием вибрационных дробилок прошла промышленную апробацию на многих предприятиях металлургической промышленности.

На решение важной экологической проблемы направлена разработка НПК "Механобр-техника" по созданию комплексов для переработки строительных отходов, содержащих железобетонные конструкции, с получением вторичного строительного щебня производительностью 10, 15 и 20 м³/ч. Данная разработка крайне актуальна, так как в настоящее время строительные отходы, и в частности отходы, содержащие железобетонные конструкции, прошедшие предварительное разрушение, перерабатываются на установках, в состав которых в качестве основного оборудования входят зарубежные щековые и конусные дробилки с сортировкой на стандартном грохоте с двумя ситами. Использование на первой стадии дробления традиционных щековых дробилок приводит к частым их поломкам из-за попадания в камеру дробления недробимых металлических тел. Применение на второй стадии дробления обычных конусных дробилок не позволяет получать вторичный строительный щебень с низким содержанием зерен лещадной и игольчатой формы. В разработке НПК "Механобр-техника" реализована схема двухстадийного вибрационного дробления в дробилках ВЩД и КИД и вибрационной классификации (рис. 7). Подготовленный до крупности от 350 до 500 мм строительный мусор подается в виброщековую дробилку, откуда разрушенный до крупности 0–70 мм материал, предварительно очищенный от железа, подается на трехситный вибрационный грохот для отсева на фракции 20–40, 5–20 и 0–5 мм. Надрешетный продукт грохота (фракция -70+40 мм) поступает на вторую стадию дробления в КИД, где материал дробится до крупности 0–40 мм и возвращается на грохот, замыкая цикл дробления. Арматурное железо удаляется из исходного материала и после первой стадии дробления. Таким образом, конечными продуктами переработки строительных отходов являются вторичный строительный щебень крупной и мелкой фракций, а также арматурная сталь. Крупная фракция дробленого бетона (-40+5 мм) состоит из зерен природного щебня или гравия и покрыта остатками растворной части. Мелкая фракция дробленого



Рис. 5. Дробилка ВЩД 600×800

Fig. 5. Crusher VJC 600x800

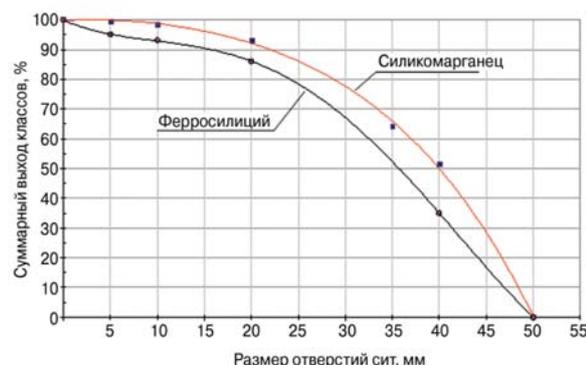


Рис. 6. Характеристики крупности продуктов дробления ферросплавов в ВЩД 600×800

Fig. 6. Characteristics of the size of the crushing products of ferroalloys in VJC 600x800

бетона с частицами размером мельче 5 мм состоит из измельченных частиц цементного камня и зерен природного песка. Арматурная сталь представлена стержневой арматурой, сетками, пространственными каркасами, закладными элементами, деформированными в той или иной степени. Данная технология успешно апробирована на одном из предприятий Санкт-Петербурга (рис. 8).

Одной из важнейших проблем предприятий горно-обогатительного комплекса является совершенствование процессов рудоподготовки с целью повышения их технологической эффективности,

Таблица 3. Технические характеристики ВКД
Table 3. Technical characteristics of VCC

Показатель	Диаметр основания конуса, мм	
	300	450
Производительность, т/ч	1,0	5,0
Крупность, мм:		
	исходного питания	35
готового продукта	4	8
Мощность привода, кВт	2x5,5	2x7,5
Масса, т	1,1	3,5

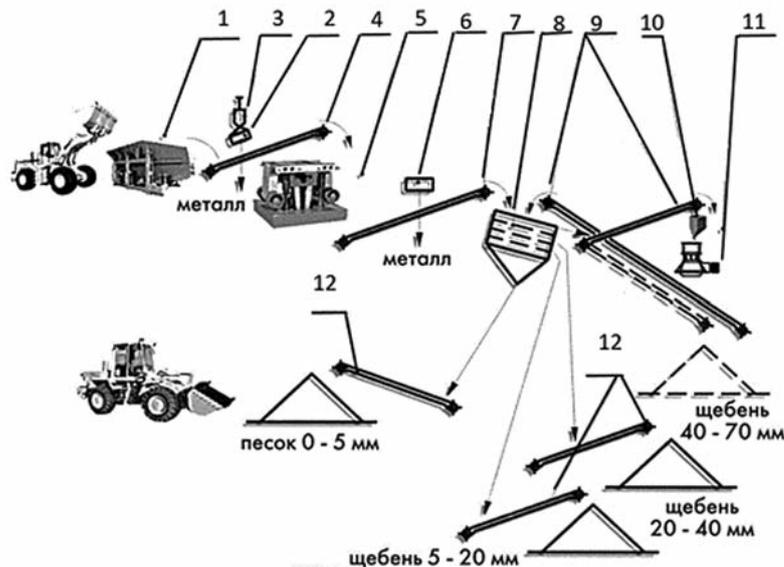


Рис. 7. Схема цепи аппаратов комплекса для переработки строительных отходов:

1 – питатель вибрационный ДРО-585; 2 – железоотделитель ЭЖ-80; 3 – таль электрическая; 4 – конвейер; 5 – ВЦД; 6 – железоотделитель ЭЖС-100; 7 – конвейер; 8 – грохот ГИС-53Т; 9 – конвейер; 10 – бункер с шибером; 11 – КИД; 12 – конвейер

Fig. 7. Scheme of the complex apparatus for processing building waste:

1 – vibrating feeder DRO-585; 2 – EZh-80 iron separator; 3 – electric hoist; 4 – conveyor; 5 – VJC; 6 – iron separator EZhS-100; 7 – conveyor; 8 – screen of GIC-53T; 9 – conveyor; 10 – bunker with gate; 11 – CIC; 12 – conveyor

снижения энергоемкости и металлоемкости применяемого дробильно-измельчительного оборудования [10, 11]. Реализованные в КИД принципы рационального разрушения материала позволили разработать принципиально новую технологию вибрационной дезинтеграции рудного сырья, опыт применения которой на практике показал следующие результаты:

- снижение в 2 раза крупности готового продукта по сравнению с традиционными конусными дробилками;
- повышение производительности последующего процесса из-

мельчения на 20–40 % за счет питания мельниц более мелким продуктом;

- переход на шары меньшего диаметра, что сокращает вдвое расход мелющих тел, в 1,7–2 раза увеличивает срок службы футеровки мельницы и обеспечивает снижение расхода электроэнергии;
- снижение на 30 % потребления электроэнергии;
- упрощение автоматического управления процессом дробления благодаря возможности пуска и остановки КИД под технологической нагрузкой.

Вместе с тем, следует отметить, что КИД (особенно крупных размеров) являются энергонапряженными машинами. Они производят в 2–2,5 раза большую работу по сравнению с типовыми дробилками КМД, что приводит к более интенсивному износу футеровок конусов, снижая на 30–35 % срок их службы. Данное обстоятельство потребовало внесения ряда усовершенствований в современную конструкцию КИД крупных размеров, касающихся, главным образом, оптимизации динамических параметров и профиля камеры дробления, автоматизации системы управления. Дробилки КИД крупных размеров прошли длительную промышленную апроба-

цию при переработке медных сульфидных руд и железистых кварцитов. Полученные промышленные данные позволили разработать новые технологические схемы дезинтеграции руд с использованием КИД, направленные на повышение эффективности рудо-подготовительных отделений обогащательных фабрик [12].

В настоящее время в России наблюдается нехватка качественного кубовидного щебня для строительства, реконструкции и ремонта автомобильных дорог. Для производства щебня применяются многостадийные схемы дробления (три и более стадии) в щековых и конусных эксцентриковых дробилках. Кроме того, в ряде случаев применяется дополнительная операция кубизации в дробилках ударного действия, направленная на исправление формы зерен. Однако это приводит к значительному увеличению выхода отсевов (фракция 0–5 мм). В этой связи крайне важны все работы, направленные на создание высокоэффективной техники и технологий для производства качественного кубовидного щебня. В НПК "Механобр-техника" на базе КИД среднего и крупного размеров разработана прогрессивная технология вибрационной дезинтеграции нерудного сырья, применение которой на многих дробильно-сортировочных заводах позволило обеспечить следующие результаты:

- получение высококачественного кубовидного щебня с уровнем лещадности 8–15 % по сравнению с 25–40 % в продуктах традиционных дробилок;
- снижение выхода отсевов фракции 0–5 мм в продукте дробления с 45–60 до 20–25 %, что соответственно повышает объем выхода наиболее востребованной товарной продукции;
- замена 2–3 стадий дробления на одну стадию с соответствующим сокращением числа используемых питателей, грохотов, конвейеров, металлоконструкций;
- снижение на 30 % расхода электроэнергии.

При производстве путевого щебня фракции 25–60 мм для железных дорог также одним из важнейших показателей качества является форма его частиц, которая должна приближаться к кубовидной. Такой щебень существенно



Рис. 8. Комплекс для переработки строительных отходов

Fig. 8. Complex for recycling of construction waste

повышает стойкость балластной призмы, повышая ее плотность и снижая влагопоглощение. Верхнее строение железнодорожного пути, подвергнутого воздействию целого ряда неблагоприятных факторов (проходившие поезда, атмосферные осадки, колебания температуры), должно быть достаточно прочным, устойчивым, долговечным и экономичным. В условиях необходимости увеличения пропускной способности железных дорог, повышения скорости подвижных составов и обеспечения безопасности перевозок требования к качеству щебня от года

к году повышаются, что, соответственно, требует совершенствования техники и технологии производства путевого щебня. Созданные конусные инерционные дробилки КИД-1500 и КИД-1750 позволяют получать путевой щебень фракции 25–60 мм 1-ой группы (лещадность до 10 %). Оснащение дробильно-сортировочных предприятий такой техникой повышает их технико-экономические показатели, но главное — позволяет стабильно производить качественный кубовидный щебень целевой фракции 25–60 мм, необходимый для обес-

печения высокоскоростного движения, а также повышения межремонтного периода эксплуатации железнодорожного полотна.

Все указанные машины созданы на базе глубоких теоретических исследований механики разрушения горных пород как твердых тел с многофазной структурой. Установлено, что именно вибрационный метод дробления, как никакой другой, позволяет использовать микродефекты структуры. На этом, главным образом, и строится расчет данного вида машин — снижение энергозатрат при дроблении.

Исследование выполнено в НПК "Механобр-техника" за счет гранта Российского научного фонда (проект № 17-79-30056).

Литература

1. Вайсберг Л.А., Зарогатский Л.П., Сафронов А.Н. Вибрационная дезинтеграция как основа энергосберегающих технологий при переработке полезных ископаемых. Обогащение руд. 2001. № 1. С. 5–9.
2. Арсентьев В.А., Мармандян В.З., Добромислов Д.Д. Современные технологические линии для строительного рецилинга. Строительные материалы. 2006. № 8. С. 64–66.
3. Zhang D.Q., Tan S.K., Gersberg R.M. Municipal solid waste management in China: Status, problems and challenges. Journal of Environment Management. 2010. Vol. 11. P. 1623–1633.
4. Othman S.N., Noor Z.Z., Abba A.H., Yusuf R.O., Hasen M.A.A. Review on life cycle assessment of integrated solid waste management in some Asian countries. Journal of Cleaner Production. 2013. Vol. 41. P. 251–262.
5. Зарогатский Л.П., Сафронов А.Н., Черкасский В.А. Опыт применения инерционных конусных дробилок на горно-обогатительных комбинатах. Обогащение руд. 2000. № 1. С. 32–36.
6. Вайсберг Л.А., Шулюяков А.Д. Технологические возможности конусных инерционных дробилок при производстве кубовидного щебня. Строительные материалы. 2000. № 1. С. 8–9.
7. Вайсберг Л.А., Сафронов А.Н. О применении вибрационной дезинтеграции для переработки различных материалов. Обогащение руд. 2018. № 1. С. 3–11.
8. Шишкин Е.В., Казаков С.В. Динамика колебательной системы вибрационного устройства с пространственными движениями рабочих органов для дезинтеграции особопрочных материалов. Обогащение руд. 2017. № 5. С. 48–53.
9. Пат. 2629227 РФ, МПК В02С 19/16. Способ дробления твердых материалов с помощью вибрационной конусной дробилки. Л.А. Вайсберг, С.В. Казаков, А.Н. Сафронов; заявитель НПК "Механобр-техника" (АО); № 2015144243, заявл. 14.10.2015, опублик. 28.08.2017. Бюл. № 25. 6 с.
10. Баранов В.Ф. Обзор мировых достижений и проектов рудоподготовки новейших зарубежных фабрик. Обогащение руд. 2008. № 1. С. 3–12.
11. Gao M., Holmes R., Pease J. The latest developments in fine and ultrafine grinding technologies (Plenary). XXIII International mineral processing congress. Istanbul, Turkey 3–8 september 2006. Vol. 1. P. 30–37.
12. Бортник А.В., Самуков А.Д. Вибрационная дезинтеграция в рудоподготовительных переделах обогатительных фабрик. Обогащение руд. 2018. № 5. С. 3–10.

References

1. Vaisberg L.A., Zarogatskii L.P., Safronov A.N. Vibratsionnaya dezintegratsiya kak osnova energosberegayushchikh tekhnologii pri pererabotke poleznykh iskopayemykh. Obogashchenie rud. 2001. № 1. S. 5–9.
2. Arsent'ev V.A., Marmandyan V.Z., Dobromyslov D.D. Sovremennye tekhnologicheskie linii dlya stroitel'nogo retsilinga. Stroitel'nye materialy. 2006. № 8. S. 64–66.
3. Zhang D.Q., Tan S.K., Gersberg R.M. Municipal solid waste management in China: Status, problems and challenges. Journal of Environment Management. 2010. Vol. 11. P. 1623–1633.
4. Othman S.N., Noor Z.Z., Abba A.H., Yusuf R.O., Hasen M.A.A. Review on life cycle assessment of integrated solid waste management in some Asian countries. Journal of Cleaner Production. 2013. Vol. 41. P. 251–262.
5. Zarogatskii L.P., Safronov A.N., Cherkasskii V.A. Opyt primeneniya inertsionnykh konusnykh drobilok na gorno-obogatitel'nykh kombinatakh. Obogashchenie rud. 2000. № 1. S. 32–36.
6. Vaisberg L.A., Shuloyakov A.D. Tekhnologicheskie vozmozhnosti konusnykh inertsionnykh drobilok pri proizvodstve kubovidnogo shchebnya. Stroitel'nye materialy. 2000. № 1. S. 8–9.
7. Vaisberg L.A., Safronov A.N. O primenenii vibratsionnoi dezintegratsii dlya pererabotki razlichnykh materialov. Obogashchenie rud. 2018. № 1. S. 3–11.
8. Shishkin E.V., Kazakov S.V. Dinamika kolebatel'noi sistemy vibratsionnogo ustroystva s prostranstvennymi dvizheniyami rabochikh organov dlya dezintegratsii osoboprochnykh materialov. Obogashchenie rud. 2017. № 5. S. 48–53.
9. Pat. 2629227 RF, MPK V02S 19/16. Sposob drobleniya tverdykh materialov s pomoshch'yu vibratsionnoi konusnoi drobilki. L.A. Vaisberg, S.V. Kazakov, A.N. Safronov; zayavitel' NPK "Mekhanobr-tekhnika" (AO); № 2015144243, zayavl. 14.10.2015, opubl. 28.08.2017. Byul. № 25. 6 s.
10. Baranov V.F. Obzor mirovykh dostizhenii i proektov rudopodgotovki noveishikh zarubezhnykh fabrik. Obogashchenie rud. 2008. № 1. S. 3–12.
11. Gao M., Holmes R., Pease J. The latest developments in fine and ultrafine grinding technologies (Plenary). XXIII International mineral processing congress. Istanbul, Turkey 3–8 september 2006. Vol. 1. P. 30–37.
12. Bortnikov A.V., Samukov A.D. Vibratsionnaya dezintegratsiya v rudopodgotovitel'nykh peredelakh obogatitel'nykh fabrik. Obogashchenie rud. 2018. № 5. S. 3–10.

Л.А. Вайсберг – академик РАН, д-р техн. наук, профессор, науч. руководитель, Научно-производственная корпорация "Механобр-техника", 199106, Россия, г. Санкт-Петербург, 22 линия 3, e-mail: gorniy@mtspb.com • А.Н. Сафронов – канд. техн. наук, директор проектов, e-mail: safronov_an@nprk-mt.spb.ru

L.A. Vaisberg – Academician of the Russian Academy of Sciences, Dr. Sci. (Eng.), Professor, Scientific Adviser, REC "Mekhanobr-tekhnika", 199106 Russia, St. Petersburg, 22 liniya V.O. 3, e-mail: gorniy@mtspb.com • A.N. Safronov – Cand. Sci. (Eng.), Project Director, e-mail: safronov_an@nprk-mt.spb.ru