

А.Д. Бардовский, П.Я. Бибиков, П.М. Вержанский, Б.В. Воронин
ЭФФЕКТИВНОСТЬ СУХОГО ВИБРОГРОХОЧЕНИЯ
ОТХОДОВ НЕРУДНЫХ КАРЬЕРОВ НА ПРОСЕИВАЮЩИХ
ПОВЕРХНОСТЯХ РАЗЛИЧНОЙ КОНСТРУКЦИИ

В результате выполненных на экспериментальном стенде работ определена эффективность рассева отходов нерудных карьеров на просеивающих поверхностях различной конструкции.

Ключевые слова: вибростенд, отходы карбонатных карьеров, просеивающие поверхности, виброгрохот, критерий эффективности.

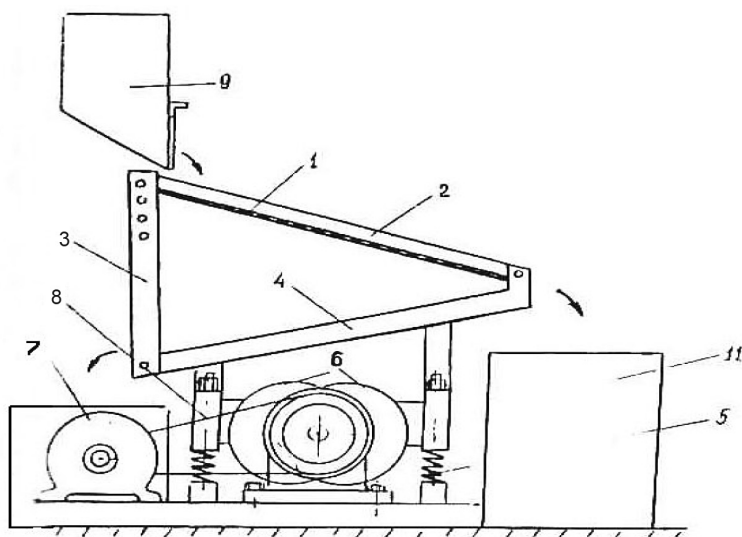
Отходы нерудных карьеров содержат в своем составе различные примеси, преимущественно комовую глину, содержание которой колеблется в широких пределах, достигая иногда 50–60%. Влажность как текущих, так и находящихся в отвалах отходов также изменяется в достаточно большом диапазоне и не может достигать до 15–20%. Для выделения товарных фракций щебня 10–20 мм и 3(5)–10 мм из сильнозагрязненных глиной отходов безальтернативной разделительной операцией является мокрое виброгрохочение, совмещаемое с промывкой, как это и осуществляется на большинстве предприятий по переработке отходов нерудных карьеров.

Однако, немалая часть отходов в отвалах содержит небольшое количество загрязняющих примесей. Так, например, отходы, находящиеся в отвалах Пятовского карьера, имеют незначительное содержание комовой глины, не превышающее 1% при влажности отходов 8–13%. В такой ситуации целесообразно осуществлять менее дорогостоящую операцию сухого разделения на фракции на виброгрохотах.

Просеивающие поверхности грохотов, используемых для сухого грохочения отходов нерудных карьеров естественной влажности, должны удовлетворять следующим требованиям:

отсутствие залипания просеивающих отверстий за счет непрерывной самоочистки рабочих органов просеивающих поверхностей, простота в обслуживании и технологичность в изготовлении. Создание эластичных просеивающих поверхностей, рабочие элементы которых имеют возможность перемещения друг относительно друга в процессе их колебаний, позволило успешно решить вопрос залипания отверстий сит. К таким просеивающим поверхностям можно отнести резиновые струнные сита (РСС), образующие щелевые отверстия [1], резонирующие ленточно-струнные сита (РЛСС), выполненные из отдельных элементов – резиновых лент-струн с периодическими выступами-зубцами с одной стороны [2], а также резинотросовые струнные сита (РТС), разработанные в МГГУ [3].

Для оценки эффективности применения различных типов просеивающих поверхностей виброгрохотов для фракционирования отходов нерудных карьеров проведены специальные исследования. С этой целью разработан и изготовлен вибростенд, конструированная схема которого представлена на рис. 1. Стенд представляет собой модель грохота с дебалансным вибровозбудителем. Грохот снабжен комплектом сменных сит 1. Испытуемое сито устанавливается в



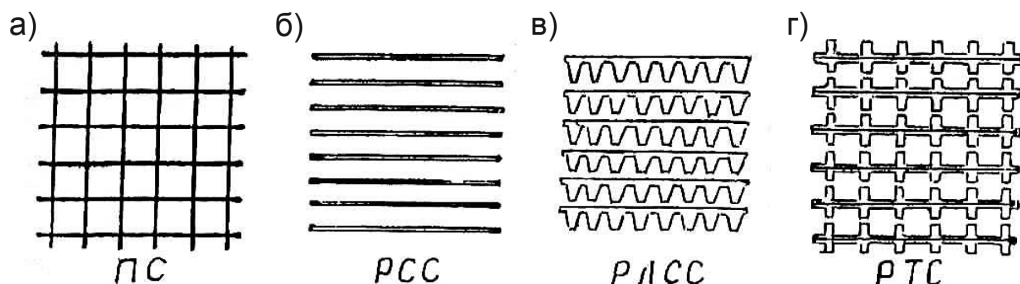
Конструктивная схема стенда виброгрохота

подвижной раме 2 с возможностью регулирования угла его наклона от 0° до 30° посредством направляющих стоек 3, размещенных на подвижной раме 4. Рама 4 закреплена на упругих опорах, в качестве которых использованы стальные циклические пружины 5. Сито совершает колебательное движение по круговой траектории под воздействием дебалансного вибровозбудителя 6. Вращение вала вибровозбудителя осуществляется от электродвигателя 7 через ременную передачу 8. Загрузка материала происходит через питающий бункер 9. Регулирование высоты материала на сите при

подаче его из бункера производится заслонкой. Подрешетный продукт поступает в приемник 10, а надрешетный в приемник 11.

Для исследования процесса грохочения отходов использованы следующие типы просеивающих поверхностей (рис. 2): металлическое сито с ячейками 10×10 мм, резиновое струнное сито (РСС) с шириной просеивающей щели 6 мм, резиновое ленточно-струнное сито (РЛСС) с ячейкой 10×10 мм и резиновотросовое струнное сито (РТС) с ячейкой 10×10 мм.

Испытания проводились при постоянных значениях амплитуды и



Испытуемые типы просеивающих поверхностей: а) плетеное металлическое сито; б) резиновое струнное сито; в) резонирующее ленточно-струнное сито; г) резиновотросовое сито

частоты колебаний сит, которые соответствовали паспортным данным промышленного грохота ГИЛ-52 и составляли соответственно:

$$A = 2,5 \text{ мм и } \omega = 120 \text{ с}^{-1}.$$

Изменению подвергались следующие параметры: влажность исходного материала W , производительность по исходному питанию (удельная нагрузка) $q_{\text{и}}$ и угол наклона α просеивающей поверхности. Влажность отходов изменялась в пределах от 2 до 15%, что соответствует диапазону влажности как текущих, так и находящихся в отвалах отходов натуральных карьеров. В процессе исследований замерялась средняя скорость движения материала по просеивающей поверхности $v_{\text{ср}}$ и время грохочения материала t .

Основным критерием оценки работы просеивающих поверхностей при различных режимах грохочения является эффективность разделения частиц на фракции E_p . Помимо указанного критерия работу различных типов просеивающих поверхностей можно оценивать с помощью критериев удельных действий, разработанных для сравнительной оценки механических систем определенного назначения [4].

Удельное действие или критериальное действие, отнесенное к единице эффекта, записывается в виде:

$$J = \frac{1}{a} \int_{t_1}^{t_2} F dt \quad (1)$$

где $\int_{t_1}^{t_2} F dt$ – критериальное действие, определяющее затраты механических средств за определенный промежуток времени ($t_1 - t_2$), которые расходуются не только на создание полезного эффекта, но и на потери в механической системе; F – мера движения или воздействия механической системы; a – полезный эффект механической системы за данный промежуток времени.

По результатам сопоставления сравнительных систем по удельным действиям выбирается тип механической системы, удельное действие которого наименьшее.

Применительно к механическим системам, предназначенным для переработки минерального сырья можно использовать различные удельные действия: по Кориолису-Понселе $J_{\text{к-п}}$, оценивающие затраты механической работы; по Лагранжу $J_{\text{л}}$, оценивающие затраты кинетической энергии – времени; по Декарту $J_{\text{д}}$, оценивающие затраты количества движения – времени и др.

Поскольку затраты мощности грохота при разделении отходов нВ просеивающих поверхностях различного типа примерно одинаковы, для оценки работы этих просеивающих поверхностей по критерию удельных действий сопоставлению подлежат: средняя масса материала, составляющая за крупнение подрешетного и замельчение надрешетного продуктов разделения, средняя скорость перемещения материала по грохоту и время получения единицы массы целевого продукта. Для элементов полезной активности – массы, скорости и времени, в качестве удельных действий могут быть приняты удельные действия по Лагранжу $J_{\text{л}}$, где подынтегральной функцией в выражении (1) служит кинетическая энергия T , и удельное действие по Декарту $J_{\text{д}}$, с количеством движения K в качестве подынтегральной функции.

Среднюю массу материала, учитываемую в рассматриваемой системе можно определить:

$$M_{\text{ср}} = vS + \varepsilon_{(+)}P \quad (2)$$

где v – за крупнение подрешетного продукта с массой S , %; $\varepsilon_{(+)}$ – замельчение надрешетного продукта с массой P , %.

Масса $M_{\text{ср}}$ является распределительной величиной, поэтому ее кинетическая энергия:

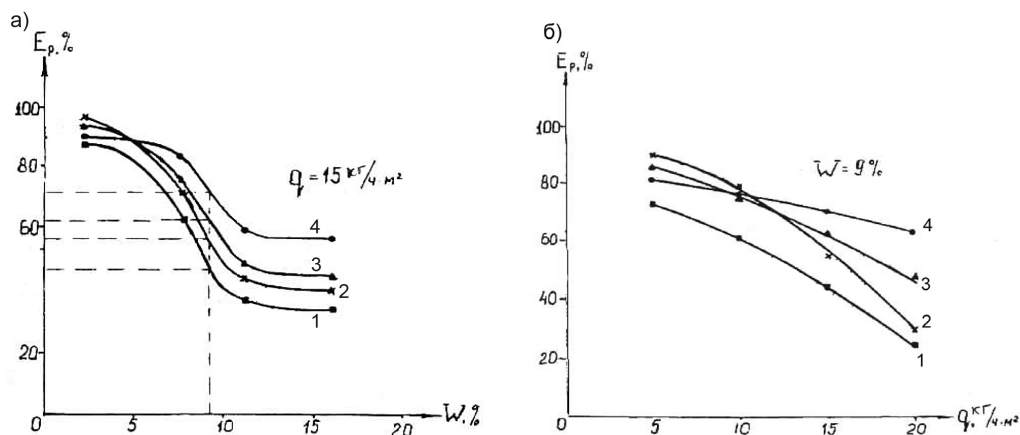


Рис. 3. Зависимости эффективности грохочения E_p от влажности W и удельной нагрузки на сито ($\alpha = 15$; $A = 2,5$ мм; $n = 1150$ мин⁻¹): 1 – проволочное ячеистое сито; 2, 3 и 4 – струнные сита типа РСС, РЛСС и РТС

$$T = 0,5 \int_{(M)} V^2 dM \approx 0,5 M_{cp} V_{cp}^2 \quad (3)$$

где v_{cp} – средняя скорость перемещения грохотимого материала по сито, м/с.

Так как ни кинетическая энергия, ни количество движения $K = M_{cp} \cdot v_{cp}$ не зависят от времени, поэтому удельные действия по Лагранжу и Декарту запишутся в виде:

$$J_n = \frac{1}{2a} M_{cp} \cdot V_{cp}^2 t \quad (4)$$

$$J_d = \frac{1}{a} M_{cp} \cdot V_{cp} t \quad (5)$$

где a – единичная масса продукта, кг (т).

На рис. 3, а представлены зависимости эффективности грохочения от влажности исходного материала при средней удельной нагрузке на сито $q = 15$ кг/чм², характерной для промышленного грохочения.

Из графиков видно, что эффективность грохочения на всех четырех ситах снижается с увеличением влажности материала, что объясняется растущей склонностью к комкованию увлажненной массы. При малых значениях влажности (до 5%) эффективность

грохочения отходов на всех струнных ситах примерно одинакова и составляет величину порядка 90%, в то время, как на проволочном – на 7–8% ниже.

С увеличением же влажности до 9%, эффективность грохочения на проволочном сите снизилась до 46%, на резиновых струнных ситах – до 56–62%, а на резинотросовом сите – до 73%. Изменение влажности отходов от 12% и выше практически не меняет эффективности грохочения на всех четырех ситах, которая находится в диапазоне от 35% (для проволочных сит), до 58% (для резиновых сит). Сопоставление качества работы сравниваемых сит при изменении влажности отходов по критерию удельных действий подтверждает оценку, сделанную по критерию эффективности грохочения.

Результаты исследований по определению эффективности грохочения от удельной нагрузки при среднем значении естественной влажности $W = 9\%$ показаны на рис. 3, б.

Можно отметить общую тенденцию снижения эффективности грохочения с ростом удельной нагрузки. При малых значениях удельной нагрузки (до 10 кг/чм²) наибольшая эффективность

грохочения достигается на струнных резиновых ситах. С увеличением нагрузки до 20 кг/чм² максимум эффективности приходится на сита типа РЛСС (45%) и РТС (63%).

В табл. 1 приведено сопоставление методов оценки просеивающих поверхностей по критерию эффективности грохочения E_p и критериям удельных действий J и J_d , вычисленных по формулам (4) и (5). Значения указанных критериев определялись для всех типов исследуемых сит при удельных нагрузках $q = 10$ кг/чм² и $q = 20$ кг/чм². Влажность отходов составляла 9%.

В табл. 2 приведены результаты анализа работы указанных сит.

Для этого определялись средние значения E_p^{cp} и J_p^{cp} , отклонения от средних значений ΔE_{pi} и ΔJ_i и относительные значения $\mathcal{E}_E$ и $\mathcal{E}_J$ эффективности грохочения и удельных действий по формулам:

$$E_p^{cp} = 0,25 \sum_{i=1}^4 E_{pi}$$

$$J_p^{cp} = 0,25 \sum_{i=1}^4 J_i \quad (6)$$

$$\Delta E_{pj} = E_{pj} - E_p^{cp}$$

$$\Delta J_j = J_{cp} - J_i \quad (7)$$

$$\mathcal{E}_{Ei} = (\Delta E_{pi} / E_p^{cp}) \cdot 100$$

$$\mathcal{E}_{ji} = (\Delta J_j / J_p^{cp}) \cdot 100 \quad (8)$$

Анализ результатов сравнения струнных и проволочных сит по критерию E_p показывает, что при удельных нагрузках 10 кг/чм² эффективность грохочения влажных отходов на струнных ситах выше, чем на проволочном на 13...16%. Сравнение же по этому критерию различных типов струнных сит не отдает предпочтения ни одному из них, т.е. эффективность грохочения у них практически одина-

Таблица 1

Тип сит	Удельная нагрузка на сито q , т/чм ²	Расчетная эффективность грохочения E_p , %	Удельные действия	
			J_a , кгм ² /с	J_a , кгм
ПС	10	62	11,91	39,72
	20	25	24,3	81,1
РСС	10	78	8,12	27,1
	20	30	18,9	63,0
РЛСС	10	76	7,45	24,8
	20	46	9,5	31,7
РТС	10	75	8,58	28,6
	20	51	5,1	17,0

Таблица 2

Критерий	Удельная нагрузка на сито q , кг/чм ²							
	$q_1 = 10$ кг/чм ²				$q_2 = 20$ кг/чм ²			
	Тип сита				Тип сита			
	ПС	РСС	РЛСС	РТС	ПС	РСС	РЛСС	РТС
$\mathcal{E}_{Вп}$, %	-14,8	+9,3	+6,5	+5,2	-38,3	-25,9	13,5	50,6
$\mathcal{E}_{Лп}$, %, $\mathcal{E}_{ЛВБ}$, %	-32,1	+9,9	+17,3	+4,8	-68,2	-30,7	34,2	64,4

кова (разница в значениях (2–3%) сопоставима с погрешностью эксперимента). Сравнивая же сита по удельным действиям J_n и J_d , можно четко выявить наиболее эффективное сито типа РЛСС, которое на 7,4% эффективнее сита типа РСС и на 12,5% – типа РТС.

С увеличением удельной нагрузки до 20 кг/чм² (тяжелые условия эксплуатации) более эффективно грохочение влажных отходов на сите типа РТС. Как следует из табл. 2, эффективность работы сит типа РТС по критерию E_p выше, чем сит типа РСС на 76,5%, и выше, чем сит типа РЛСС на 37,1%. Оценка эффективности работы исследуемых сит при такой удельной нагрузке с использованием критериев удельных действий по Лагранжу J_n и Декарту J_d подтверждает целесообразность использования просеивающих поверхностей типа РТС.

Таким образом, на основании проведенных исследований можно утверждать, что при грохочении отходов нерудных карьеров влажностью до 5% и удельных нагрузках до 10 кг/чм² целесообразно использование в качестве просеивающих поверхностей виброгрохотов резиновых сит типа РСС и РЛСС. С увеличением влажности отходов до 9–12% и удельных нагрузок на сито до 20 кг/чм² предпочтительнее использовать сита типа РЛСС и РТС, при этом эффективная работа последних проявляется в особо тяжелых условиях эксплуатации.

Рекомендации по применению струнных сит основаны на том что при наличии относительных колебаний их рабочих элементов интенсивность проникновения мелких частиц материала сквозь просеивающие от-

верстия гораздо выше, чем у ячеистых проволочных сит. При малых нагрузках на ситах (до 10 кг/чм²) и небольших значениях влажности материала (до 5%) работа струнных резиновых сит (типа РСС и РЛСС) более эффективна, так как они имеют максимальное живое сечение. При повышенных нагрузках на этих ситах наблюдается рост закрупления подрешетного продукта из-за расклинивающего действия крупных частиц, а при высоких значениях естественной влажности (8–10%) – рост замельчения надрешетного продукта из-за резкого снижения амплитуд относительных колебаний струн. Эти негативные явления в меньшей мере проявляются при грохочении на сите типа РТСЮ так как его рабочие элементы снабжены жесткой основой, предотвращающей эффект расклинивания, а величина амплитуд относительных колебаний при увеличении удельной нагрузки уменьшается незначительно.

Анализ критериев эффективности грохочения и удельных действий для оценки работы различных типов сит показал, что с помощью этих критериев решается одна и та же задача – определяется, какой тип просеивающей поверхности целесообразно применять в конкретных условиях эксплуатации грохота. В результате исследований установлено, что критерий эффективности грохочения E_p не дает однозначной оценки. Так, например, если эффективность грохочения при $W = 9\%$ и $q = 10$ кг/чм² на ситах типа РСС, РЛСС и РТС примерно одинакова (75–78%), то оценка работы сит по критерию удельных действий J_n J_d отдаст предпочтение ситам РЛСС (17,3%) против сита РСС (9,9%) и сита РТС (4,8%).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Певзнер Ю.Р., Каракозов Н.А., Фиш Б.Г. Резиновые сита для сортировки

нерудных строительных материалов. – М.: Информэнгерго, 1980. – С. 14–26.

2. Червоненко А.Г., Надутый В.П., Вайсберг Л.А. и др. Резонирующие ленточно-струнные сита для грохотов // Строительные материалы. – 1985. – № 2. – С. 29–30.

3. Бардовский А.Д. Армированные просеивающие поверхности для разделения трудногροхотимого сырья / Сборник науч-

ных трудов ин-та «Механобр»: Исследования процессов машин и аппаратов для разделения материалов по крупности. – Л., 1988. – С. 86–90.

4. Горский Б.Е. Динамическое совершенствование механических систем. – Киев: Техника, 1987. – 201 с. **ГИАБ**

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Бардовский Анатолий Данилович – доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой, e-mail: bardovskiy@yandex.ru,

Бибиков Павел Яковлевич – кандидат технических наук, доцент, e-mail: pbibikow@yandex.ru,

Вержанский Петр Михайлович – кандидат технических наук, профессор,

Воронин Борис Васильевич – кандидат технических наук, доцент, МГИ НИТУ «МИСиС».

UDC 621.928.235

DRY VIBROGROKHOCHENY'S EFFICIENCY OF WASTE OF NONMETALLIC PITS ON SIFTING SURFACES OF THE VARIOUS DESIGN

Bardovskiy A.D.¹, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of Chair,

e-mail: bardovskiy@yandex.ru,

Bibikov P.Ya.¹, Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor,

e-mail: pbibikow@yandex.ru,

Verzhanskiy P.M.¹, Candidate of Technical Sciences, Professor,

Voronin B.V.¹, Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor.

¹ Mining Institute, National University of Science and Technology «MISiS», 119049, Moscow, Russia.

As a result of the pilot work stand the efficacy screening of waste aggregates quarries on the screening surface of various designs.

Key words: shaker, waste carbonate quarry screening surface, vibrating screen, the efficiency criterion.

REFERENCES

1. Pevzner Yu.R., Karakozov N.A., Fish B.G. *Rezinovye sita dlya sortirovki nerudnykh stroitel'nykh materialov* (Rubber screen for nonmetal construction materials), Moscow, Informenergo, 1980, pp. 14–26.

2. Chervonenko A.G., Nadutyi V.P., Vaisberg L.A. *Stroitel'nye materialy*. 1985, no 2, pp. 29–30.

3. Bardovskii A.D. *Sbornik nauchnykh trudov in-ta «Mekhanobr»: Issledovaniya protsessov mashin i apparatov dlya razdeleniya materialov po krupnostiyu* (Mekhanobr Institute Collection of Scientific Papers: Analysis of Machine Processes of Material Separation Based on Grain Size), Leningrad, 1988, pp. 86–90.

4. Gorskiy B.E. *Dinamicheskoe sovershenstvovanie mekhanicheskikh sistem* (Improvement of dynamics of mechanical systems), Kiev, Tekhnika, 1987, 201 p.



ИНФОРМАЦИЯ

В Горном информационно-аналитическом бюллетене № 7 2013 г. были опубликованы две статьи аспиранта В.В. Агафонова без подтверждения авторского права на методологическое, методическое и программное обеспечение когнитивного моделирования, разработанное научным коллективом из Брянского государственного технического университета под руководством кандидата технических наук, доцента А.Г. Подвесовского.

В соответствии с решением редколлегии ГИАБ данные статьи удалены из электронных баз сайтов www.eLibrary.ru (РИНЦ) и www.GIAB-online.ru.