

раторів з вертикальною віссю обертання. Очікувана потужність вітрових мініелектростанцій для підземних гірничих виробток 0,5-4 кВт, що дозволить забезпечити живлення освітлення всієї шахти.

Список літератури

1. Мокін Б.І. До питання вибору вітрових двигунів і електричних генераторів вітрових електричних станцій / Б.І. Мокін, О.Б. Мокін, О.А. Жуков // Вісник Вінницького політехнічного інституту, 2007. – №6. – С. 52–62.
2. Комплекс ресурсо- і енергозберігаючих геотехнологій видобутку та переробки мінеральної сировини, технічних засобів їх моніторингу із системою управління і оптимізації гірничорудних виробництв / А.А. Азарян, Ю.Г. Вілкул та ін. – Кривий Ріг: Мінерал, 2006. – 219 с.
3. Правила безпеки в угольних шахтах. – Київ. – 2005.
4. Сборник инструкций к Правилам безопасности в угольных шахтах. Том 1. - К, 2003.
5. Руководство по проектированию вентиляции угольных шахт. - Киев, 1994.

Рукопись поступила в редакцию 22.03.12

УДК 622.7

С.А. ЖУКОВ, В.С. ГИРИН, доктора техн. наук, проф., И.В. ГИРИН, ст. преподаватель ГВУЗ «Криворожский национальный университет»

ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ ОБЛАСТЕЙ РЕГУЛЯРНОСТИ СОСТАВА ДРОБЛЕННЫХ ПОРОД

Описан апробированный во Франции метод, которым определяются области регулярности гранулометрического состава взорванных горных пород при применении видеогранулометрии.

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. С повышением требований к качеству железорудного сырья особое значение приобретают степень достоверности и оперативность оценки гранулометрического состава горной массы на всех этапах ее продвижения от забоя до пунктов переработки. Существующие методы гранулометрического контроля являются достаточно совершенными, но, вместе с тем, весьма полезным представляется анализ зарубежного опыта, в частности - французского.

Анализ исследований и публикаций. Проблеме гранулометрии в горной науке уделяется немало внимания. Поиски ее совершенствования ведутся по разным направлениям, что отражается в многочисленных публикациях, анализ которых, по мнению авторов данной статьи, делает весьма полезным обобщение ряда из них, представленных во французских изданиях [1-6].

Постановка задачи. Целью данного исследования является оценка возможности и целесообразности трансферта в украинскую практику методов гранулометрии, применяемых на многих карьерах Западной Европы для целей совершенствования существующих речеславских технологий.

Изложение материала и результаты исследований. При видеогранулометрическом анализе состава взорванной горной массы, практикуемом во Франции [1-3], кривые, ограничивающие зоны VDG-регулярности, имеют положение, рассчитываемое по средним значениям десяти VDG-анализов отобранных образцов, после исключения из составляющей влияния износа гранулята. Следовательно, получаемые VDG-области регулярности являются средними областями. Чтобы судить с необходимой степенью доверия о том, находится или нет результат VDG-анализа внутри области VDG-регулярности, обобщают кривые, включающие средние погрешности оценок, учитывая возможные погрешности результатов анализа нового состава образцов V_{si} и V_{ss} и их видеогранулометрического анализа. Эти две величины - независимы, поэтому результаты суммируются.

Чтобы получить более точную оценку возможных погрешностей результатов анализов, предельно допустимые уровни которых определены в нормах ситового анализа и экстраполированы в видеогранулометрический анализ [4-6], результаты повторных испытаний образцов V_{si} и V_{ss} , полученные с помощью видеогранулометрии и просеивания, исследовались статистическими методами. Оценка погрешности результатов видеогранулометрического анализа тождественной партии гранулята, осуществленного одним и тем же оператором при помощи

одного и того же оборудования по единой методике испытания, подтвердила, что этот метод - более дешев и более точен в сравнении с ситовым.

Для каждой партии гранулята из трех идентичных серий образцов выполнялись по два ви-деогранулометрических анализа и один - последующим контрольным просеиванием. Для каждой партии, указанной в первой колонке и в каждом размере сит, указанном во второй, табл. 1 содержит в своей последней колонке оценки возможных отклонений результатов просеивания каждой партии гранулята.

Как показывают промежуточные колонки табл. 1, небольшое количество просеиваний привело к оценке типовых отклонений, начиная с максимальных, так, что доверительные интервалы, которые вытекают из анализа, достаточно широки. Несколько дополнительных повторений позволяют повысить точность результата. Составляющая доверительного интервала, связанная с VDG-анализом, проверялась тестом Shapiro-Wilk нормальности каждого из распределений 9 или 10 повторений, затем - умножались типовые отклонения, оцененные по этим совокупностям (семействам) параметром Стьюдента для 8 или 9 степеней свободы, разделенные соответственно порогу риска 5 %.

Таблица 1

Партия	Размер (мм)	Отклонение max. W (%)	Оценка $S = W/m_q$	Доверительный интервал		Оцениваемая погрешность $1,96s$
				$S_{min} = W/q_{1-\alpha/2}$	$S_{min} = W/q_{\alpha/2}$	
3,15/12,5	3,15	0,2	0,1	0,1	0,7	0,2
	8,0	0,9	0,5	0,2	3,0	1,0
	12,5	0,4	0,2	0,1	1,3	0,5
8/20	8	0,2	0,1	0,1	0,7	0,2
	14	1,1	0,6	0,3	3,7	1,3
	20	0,5	0,3	0,1	1,7	0,6

Таблица 2

Фракция	8-20	3-12				
Размер (мм)	d	$(d+D)/2$	D	d	$(d+D)/2$	D
$I_{cum.}$ (%)	0,2	1,3	0,6	0,2	1,0	0,5
I_{VDG} VSS (%)	1,2	2,7	1,1	0,3	1,2	1,6
I_{VDG} Vsi (%)	0,5	1,8	3,6	0,3	1,8	4,2

Таблица 3

Фракция	8-20			3-12		
	Размер (мм)	8	16	25	3,15	10
$V_{SS} -1$ (%)	7,6	64,1	97,2	11,7	76,4	94,1
V_{SS} (%)	9,0	68,1	98,9	12,2	78,7	96,1
$V_{SS} +1$ (%)	10,5	72,1	100,0	12,7	80,9	98,1
$V_{Si} -1$ (%)	1,0	31,8	85,6	1,1	46,6	79,4
V_{Si} (%)	1,7	34,9	89,8	1,6	49,5	84,1
$V_{Si} +1$ (%)	2,4	37,9	93,9	2,1	52,3	88,7

Выполненный расчет (табл. 2) объединяет оценки различных составляющих погрешностей. Табл. 3 указывает составляющие погрешностей VDG-анализа, относительно завышенные для V_{Si} в D (3,6 и 4,2). Те же испытания, осуществленные LCPC, привели к соответствующим оценкам в 2,9 и 2,6.

Таблица 3 содержит верхние и нижние пределы d , $(d+D)/2$ и D областей VDG-регулярности каждой из партий 3,15/12,5 и 8/20, также как и привязанные к ним составляющие погрешности. Погрешность 1, указанная в первой колонке, является суммой составляющих ситового анализа и VDG, соответствующих пределу, для которого рассчитывается погрешность (табл. 2).

Рисунки 1а и 1б представляют соответственно кривые отсева и VDG, характеризующие 30 образцов анализированных партий 8/20. Соответствующие области регулярности представлены сплошной линией, области регулярности VDG, будучи наложены густой пунктирной линией, представляют границы доверительного интервала, ограниченные каждой кривой.

Более детально, соответствие определения классификации по результатам отсева и VDG в соответствующих поясах было рассмотрено для каждого образца. Результаты этого изучения представлены синтетическим способом в табл. 4 и детализированы в табл. 5. Для каждой пар-

тии гранулята и в каждом из размеров d , $(d+D)/2$ и D , вторая линия этой таблицы указывает количество усредненных оценок отсева, выходящих из области регулярности ситового анализа, третья линия дает процент образцов, кривые отсева и VDG которых расположены с одной и той же стороны соответствующей области в оцениваемых пределах. Наконец, четвертая линия эквивалентна третьей, учитывая возможную погрешность, выделяющуюся кривыми, ограничивающими область VDG-регулярности.

Таблица 4

Тип области	Balloy			Nançau		
	d	$(D+d)/2$	d	$(D+d)/2$	d	$(D+d)/2$
Количество оценок вне области отсева	1	10	4	0	1	0
Соответствие рассев/VDG без погрешности	80%	87%	87%	90%	97%	97%
Соответствие рассев/VDG с погрешностью	90%	100%	100%	100%	100%	100%

Рассмотрение табл. 4 показывает удовлетворительное соответствие между областями регулярности отсева и VDG вне погрешностей, поскольку она превышает 80 % и доходит до 97 % для сырья Nançau.

Соответствие, естественно, оказывается тем более точным, чем материалы лучше обработаны. Учет и анализ возможных погрешностей показывает, что соответствие классификации образцов областям регулярности отсева и VDG является превосходным, составляя повсюду 100 %, за исключением отклонения по 8/20 Balloy, где оно равно 90 %. Тем не менее, рассмотрение оценок относительного несоответствия по Balloy в d показывает ошибку классификации ниже 0,5%.

Методика производственного гранулометрического контроля взорванной горной массы в карьере с помощью видеогранулометра - аппарата, позволяющего определять с высокой скоростью и уточнением с помощью анализа кумулятивных VDG-гранулометрических графиков, характеризующих образец гранулята, подтверждается контрольным анализом остатков на ситах вплоть до 1 мм.

Таблица 5

Размер	Проходящий сита (%)	Положение по отношению к области отсева (%)	Данные VDG (%)	Положение относительно области VDG (%)		
				V_{si-1} / V_{ss+1}	V_{si} / V_{ss}	V_{si+1} / V_{ss-1}
$(d+D)/2$	85,2	Вне 5,2	72,9	Вне 0,8	Вне 4,8	Вне 8,8
	99,1	Вне 0,1	98,7	Внутри 1,3	Внутри 0,1	Вне 1,5
$(d+D)/2$	93,8	Вне 13,8	84,9	Вне 12,7	Вне 16,7	Вне 21
	99,2	Вне 0,2	100,0	Внутри 0	Вне 1,1	Вне 2,8
$(d+D)/2$	80,8	Вне 0,8	69,9	Внутри 2,2	Вне 1,8	Вне 5,8
	97,9	Внутри 1,1	99,3	Внутри 0,7	Вне 0,4	Вне 2,1
	1,1	Внутри 0,1	0,6	Вне 0,4	Вне 1,1	Вне 1,8
$(d+D)/2$	80,5	Вне 0,5	68,8	Внутри 3,3	Вне 0,7	Вне 4,7
$(d+D)/2$	79,3	Внутри 0,7	68,2	Внутри 3,9	Вне 0,1	Вне 4,1
$(d+D)/2$	85,5	Вне 5,5	73,4	Вне 1,3	Вне 5,3	Вне 9,3
	99,1	Вне 0,1	98,9	Внутри 1,1	Вне 0	Вне 1,6
$(d+D)/2$	86,6	Вне 6,6	78,1	Вне 5,9	Вне 9,9	Вне 14
	98,3	Внутри 0,7	99,7	Внутри 0,3	Вне 0,8	Вне 2,4
	19,8	Вне 3,8	7,3	Внутри 3,1	Внутри 1,7	Внутри 0,3
$(d+D)/2$	86,3	Вне 6,3	77,0	Вне 4,9	Вне 8,9	Вне 13
$(d+D)/2$	82,7	Вне 2,7	67,7	Внутри 4,5	Внутри 0,5	Вне 3,5
$(d+D)/2$	81,6	Вне 1,6	65,1	Внутри 7	Внутри 3	Вне 1
	3	Внутри 2	1,3	Внутри 0,3	Вне 0,4	Вне 1,1
	99,1	Вне 0,1	97,7	Внутри 2,3	Внутри 1,1	Вне 0,5
	3,9	Внутри 2,9	1,4	Внутри 0,5	Вне 0,2	Вне 0,9
	2,9	Внутри 1,9	1,0	Внутри 0	Вне 0,7	Вне 1,4
$(d+D)/2$	77,7	Внутри 2,3	68,3	Внутри 3,8	Вне 0,2	Вне 4,2
	1,7	Внутри 0,7	0,8	Вне 0,1	Вне 0,8	Вне 1,5
$(d+D)/2$	80,3	Вне 5,8	81,6	Вне 0,7	Вне 2,9	Вне 5,2
D	99	Внутри 0	97,0	Внутри 1,1	Вне 0,9	Вне 3
d	1,9	Внутри 0,9	1,5	Внутри 0,4	Вне 0,1	Вне 0,5
$(d+D)/2$	40,3	Внутри 0,8	47,7	Внутри 1,1	Вне 1,8	Вне 4,6
D	1,4	Внутри 0,4	1,2	Внутри 0,1	Вне 0,4	Вне 0,9
d	3,6	Внутри 2,6	1,2	Внутри 0,1	Вне 0,4	Вне 0,8

Этот метод требует не более затрат времени чем нормативный метод построения областей регулярности ситовым анализом, он добавляет лишь несколько анализов в видеогранулометрии. Метод тестировался на двух партиях, происходящих из двух различных карьеров, принадлежащих Группе Lafarge: аллювиальные галечники 8/20 из карьера Valloy, а также аллювиальные обкатано-дробленые щебни 3,15/12,5 из карьера Nançay. Область регулярности VDG была построена для каждой партии, учитывая возможную погрешность ограничивающих кривых. Изучение результатов классификации 30 образцов каждой партии относительно областей ситовой регулярности и VDG, показало превосходное соответствие, достигающее 100 % за исключением одного случая (90 %). Все это подтверждает высокую эффективность применения метода, тем более, что выбор аллювиальных гранулятов, не проработанных, представленных большим разнообразием форм кусков, вынуждает создавать особенно строгие условия при испытаниях.

В настоящее время производственный контроль указанных двух видов сырья осуществляется исключительно при помощи видеогранулометра. Всего 15 гранулометрических анализов были выполнены рассеиванием за шесть месяцев, чтобы придерживаться регламентации, действующей во Франции. Кроме того, следует уточнить, что фаза рассмотрения результатов этапа 5, также как этап 6 - находится в ходе автоматизации в новой версии программного обеспечения видеогранулометрии, разрабатываемой Центром исследований и строительства прототипов Руана.

Видеогранулометр представляется в качестве надежного средства производственного контроля продукции карьеров, отличающегося своей простотой использования. Подготовка проб гранулята для испытаний требует просто убедиться, что они сухи на площадке, если нет – следует приступить к быстрой сушке, промывке, необходимой для дезинтеграции зерен. Во многих случаях можно воздерживаться от промывки образцов для испытаний и сушки. Кроме того, программное обеспечение управления аппаратом позволяет регулировать и редактировать процесс испытания без вмешательства техника.

В период, когда маркировка CE (высшее качество) повсеместно входит в силу и обязывает производителей гранулятов вводить систему производственного контроля, регламентированную нормативными требованиями, гранулометрический анализ должен выполняться еженедельно и пофракционно, что полностью оправдывает использование такого аппарата, тем более, что он помогает ответственному за качество заявлять о производственном соответствии или несоответствии гранулята. Интегрирование видеогранулометра может быть реализовано двумя способами: либо включением в технологический процесс на месте, либо в замену колонны сит в лаборатории. Во втором случае, он остается вульгаризированным, так как измерения, выданные видеогранулометром, рассматриваются на том же основании, что и измерения, полученные просеиванием.

Центральная лаборатория мостов и дорог изучает в настоящее время другие области возможного применения этого аппарата, относительно определения им таких характеристик гранулятов, как угловатость, лещадность, шершавость и др.

Выводы. Учитывая складывающуюся в Украине ситуацию в повышении конкурентных требований к железорудной продукции, а также тенденции к стабильному наращиванию объемов капитального строительства, особенно дорожного, следует констатировать целесообразность заимствования и адаптации к местным условиям представленных методов, особенно при углублении комплексного освоения недр.

Список литературы

1. AFNOR (1994). XP P 18-566 – Granulats: analyse granulometrique aplatissement et allongement – essai au videogranulometre (en cours de revision).
2. AFNOR (1987). NF ISO 5725-Application de la statistique – Fidelite des methods d'essai: determination de la repetabilite et de la reproductibilite d'une methode d'essai normalisee par essais interlaboratoires.
3. Y. Descantes, J-B. Ducassou, G. Blot. Le videogranulometre: synthese des recherches passees et perspectives. Etudes et Recherches des LPC (a paraitre).
4. Y. Descantes, G. Delalande, A. Mishellany (2000). Use of the VDG-40 videograder as a grading control device for french highway construction. 8th annual ICAR Symposiun, Denver (USA, CO), 12-14 april.
5. M. Lizee, G. Delalande (1994). Compte-rendu – A 83 – Section Les Essarts – Sainte Hermine – Granulats pour chaussees (rapport interne).
6. G. Terme, A. Mishellany (1991). Controle des livraisons de granulats sur chantier autoroutier A75 a l'aide du videogranulometre (rapport intern).

Рукопись поступила в редакцию 22.03.12