

## АНАЛИЗ ОПЫТА ВИДЕОГРАНУЛОМЕТРИИ РЕГУЛЯРНОСТИ ДРОБЛЕНИЯ ПОРОД

При видеогранулометрическом анализе состава взорванной горной массы, практикуемом во Франции (AFNOR, 1994, XP P 18-566 – Granulats: analyse granulometrique aplatissement et allongement; 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; Y. Descantes, J-B. Ducassou, G. Blot. Le videogranulometre: synthese des recherches passees et perspectives. Etudes et Recherches des LPC), кривые, ограничивающие зоны VDG-регулярности рассчитываются по средним значениям десяти VDG-анализов отобранных образцов после исключения из составляющей влияния износа гранулята и получаемые VDG-области регулярности являются средними. 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 погрешности результатов анализа нового состава образцов  $V_{si}$  и  $V_{ss}$  и их видеогранулометрии. Эти две величины – независимы, поэтому результаты суммируются.

Для более точной оценки погрешностей результатов анализов, предельно допустимые уровни которых определены в нормах ситового анализа и экстраполированы в видеогранулометрию (Y. Descantes, G. Delalande, A. Mishellany, 2000, Use of the VDG-40 videograder as a grading control device for french highway construction, 8<sup>th</sup> annual ICAR Symposiun, Denver (USA, CO); M. Lizee, G. Delalande, 1994, Compte-rendu – A 83 – Section Les Essarts – Sainte Hermine – Granulats pour chaussées; G. Terme, A. Mishellany, 1991, Controle des livraisons de granulats sur chantier autoroutier A75 a l'aide du videogranulometre), результаты повторных испытаний образцов  $V_{si}$  и  $V_{ss}$  с помощью видеогранулометрии и просеивания исследовались статистическими методами. Оценка погрешности результатов анализа, осуществленного одним оператором, одним оборудованием по единой методике, подтвердила, что первый метод – более дешев и более точен в сравнении с ситовым.

Для каждой партии гранулята из трех идентичных серий образцов выполнялись по два видеогранулометрических анализа и один – контрольным просеиванием. Для каждой партии, указанной в первой колонке и в каждом размере сит – во второй (табл. 1), в последней колонке – оценки возможных отклонений результатов просеивания. Промежуточные колонки табл. 1 показывают типовые отклонения  $W$ , начиная с максимальных, так, что доверительные интервалы – достаточно широки. Составляющая интервала, связанная с VDG-анализом, проверялась тестом Shapiro-Wilk нормальности распределений 9-10 повторений, затем – умножались типовые отклонения, оцененные по совокупностям параметром Стьюдента для 8-9 степеней свободы, разделенные соответственно порогу риска 5%.

Таблица 1

Партия	Размер (мм)	Откл. $W_{max}$ (%)	Оцен. $S=W/m$ $q$	Доверит. интервал		Погрешн. 1,96s
				$S_{min}=W/q_1$ $a/2$	$S_{min}=W/q_d$ $r/2$	
3,15/12,5	3,15	0,2	0,1	0,1	0,7	0,2
	8	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

Выполненный расчет (табл. 2) объединяет оценки различных составляющих погрешностей. Таблица 3 – составляющие погрешностей VDG-анализа, относительно завышенные для  $V_{si}$  в  $D$  (3,6 и 4,2). Те же испытания LCPC дали соответствующие оценки в 2,9 и 2,6. Табл. 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. Погрешность 1 в первой колонке – сумма составляющих ситового анализа и VDG, соответствующих пределу расчета погрешности (табл. 2). По данным таблиц строятся графики, которые представляют соответственно кривые рассева и VDG, характеризующие 30 образцов партий 8/20, где первые области регулярности представляют сплошной линией, области регулярности VDG –пунктирной, представляя границы доверительных интервалов.

Таблица 2

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

Таблица 3

Фракция	8-20			3-12		
	8	16	25	3,15	10	14
$V_{\text{ss}} -1(\%)$	7,6	64,1	97,2	11,7	76,4	94,1
$V_{\text{ss}}$ (%)	9,0	68,1	98,9	12,2	78,7	96,1
$V_{\text{ss}} +1(\%)$	10,5	72,1	100,0	12,7	80,9	98,1
$V_{\text{si}} -1(\%)$	1,0	31,8	85,6	1,1	46,6	79,4
$V_{\text{si}}$ (%)	1,7	34,9	89,8	1,6	49,5	84,1
$V_{\text{si}} +1(\%)$	2,4	37,9	93,9	2,1	52,3	88,7

Все кривые VDG должны иметь соответствующие кривые рассева вне области регулярности с риском ошибки в 5%, как и кривые VDG внутри. Все результаты между пунктирными кривыми, расположенными с той и с другой стороны кривой, ограничивающей VDG-интервал, не могут быть фиксированы по отношению к области регулярности рассева с доверительным уровнем 95%, так, что может оказаться необходимым ситовый контроль. Рассмотрение графиков показывает, что кривые фиксируются в одинаковом порядке: от результатов рассева до VDG. Распределение кривых VDG – подобно распределению кривых рассева в соответствующей области регулярности.

Соответствие определения классификации по результатам рассева и VDG в соответствующих поясах было рассмотрено для каждого образца. Результаты представлены синтетическим способом в табл. 4 и детализированы в табл. 5. Для каждой партии гранулята и в каждом из размеров  $d$ ,  $(d+D)/2$  и  $D$  вторая строка указывает количество усредненных оценок рассева, выходящих из области регулярности ситового анализа, третья – процент образцов, кривые рассева и VDG которых расположены с одной и той же стороны соответствующей области в оцениваемых пределах. Четвертая строка – 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 рассева	1	10	4	0	1	0
Рассев/VDG без погреш.	80%	87%	87%	90%	97%	97%
Рассев /VDG с погреш.	90%	100%	100%	100%	100%	100%

Табл. 4 показывает высокое соответствие между областями регулярности по рассеву и VDG вне погрешностей, оно 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 рассева 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 гранулометрического контроля 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 1мм. Этот метод требует не больше 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 Balloy, 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%).

Таблица 5

Размер	Проходящий сита (%)	Относит. области рассева (%)	Данные VDG (%)	Относит. области VDG (%)		
				$\frac{V_{si-1}}{V_{ss+1}}$	$V_{si}/V_{ss}$	$\frac{V_{si+1}}{V_{ss-1}}$
$(d+D)/2$	85,2	вне 5,2	72,9	вне 0,8	вне 4,8	вне 8,8
	99,1	вне 0,1	98,7	в 1,3	в 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	в 0	вне 1,1	вне 2,8
$(d+D)/2$	80,8	вне 0,8	69,9	в 2,2	вне 1,8	вне 5,8
	97,9	в 1,1	99,3	в 0,7	вне 0,4	вне 2,1
	1,1	в 0,1	0,6	вне 0,4	вне 1,1	вне 1,8
$(d+D)/2$	80,5	вне 0,5	68,8	в 3,3	вне 0,7	вне 4,7
$(d+D)/2$	79,3	в 0,7	68,2	в 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	в 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	в 0,7	99,7	в 0,3	вне 0,8	вне 2,4
	19,8	вне 3,8	7,3	в 3,1	в 1,7	в 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	в 4,5	в 0,5	вне 3,5
$(d+D)/2$	81,6	вне 1,6	65,1	в 7	в 3	вне 1
	3	в 2	1,3	в 0,3	вне 0,4	вне 1,1
	99,1	вне 0,1	97,7	в 2,3	в 1,1	вне 0,5
	3,9	в 2,9	1,4	в 0,5	вне 0,2	вне 0,9
	2,9	в 1,9	1,0	в 0	вне 0,7	вне 1,4
$(d+D)/2$	77,7	в 2,3	68,3	в 3,8	вне 0,2	вне 4,2
	1,7	в 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	в 0	97,0	в 1,1	вне 0,9	вне 3
$d$	1,9	в 0,9	1,5	в 0,4	вне 0,1	вне 0,5
$(d+D)/2$	40,3	в 0,8	47,7	в 1,1	вне 1,8	вне 4,6
$D$	1,4	в 0,4	1,2	в 0,1	вне 0,4	вне 0,9
$d$	3,6	в 2,6	1,2	в 0,1	вне 0,4	вне 0,8

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 просеиванием 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 ПО видеогранулометрии, разрабатываемой Центром исследований и строительства прототипов Руана.

Видеогранулометр – простое, но надежное средство производственного контроля. Пробы должны быть сухими, если нет – следует приступить к сушке, промывке для дезинтеграции зерен. ПО управления аппаратом позволяет регулировать и редактировать процесс испытания без вмешательства техника.

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 формализованным, так как измерения, выданные видеогранулометром, рассматриваются на том же основании, что и полученные просеиванием.

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