

## ИССЛЕДОВАНИЕ ГРАНУЛОМЕТРИИ ПОРТЛАНДЦЕМЕНТА, ИЗМЕЛЬЧЕННОГО В МЕЛЬНИЦЕ ВИХРЕВОГО ТИПА

Кондращенко В.И., *д.т.н., проф.*, Тарарушкин Е.В., *аспирант*

*ФГБ ОУ ВПО «Московский государственный университет  
путей сообщения», Россия*

Повышение активности цемента продолжает оставаться актуальной проблемой на сегодняшний день и направлена, как правило, на уменьшение его дисперсности и увеличение (до определенных пределов) удельной поверхности за счет измельчения. Существуют различные способы активации цемента как сухим, так и мокрым способами, такие как помол в шаровых, вибро-, струйных и ударно-центробежных мельницах, обработка цементной суспензии электрическим током высокого напряжения, ультразвуковое, электростатическое и кавитационное измельчение цемента и др.

По сравнению с перечисленными способами определенные преимущества имеет активация цемента в мельнице вихревого типа, в которой модификация цементных зерен происходит в воздушном вихревом потоке, создаваемом в помольной камере мельницы посредством пропеллера (Рис. 1). Одновременно с процессом модификации цементных частиц (их измельчением и, как предполагается, изменением формы) происходит селективный отбор частиц определенной granulometрии через диафрагмы, установленные в мельнице [1].

Через загрузочный канал 6 цемент подается в помольную камеру 2, где под воздействием воздушного потока, произведенного от вихреобразователя 3, материал попадает в зоны турбулентности воздушного потока. Отбор цементных частиц требуемого размера производится через разгрузочный канал 7 после прохождения диафрагмы 4 с определенными размерами отверстий и сепараторного колеса 5.

Для исследования granulometрического состава цемента использовали метод лазерной дифракции, реализованный в микроанализаторе «Malvern» марки Mastersizer 2000. Принцип действия прибора основан на расшифровке дифракционной картины, образующейся в результате рассеяния лазерного излучения на исследуемых дисперсных частицах. Монохромное лазерное излучение (He-Ne красный;  $\lambda = 633$  нм), проходя через измерительную кювету со взвесью исследуемых частиц в жидкости, рассеивается на частицах, причем на более мелких частицах

угол рассеяния больше, чем на крупных. Измеряемая характеристика – диаметр сферы, эквивалентной по объему реальной измеряемой частице (мкм). Прямым является результат распределения цементных частиц по размерам, которое, при условии постоянства плотности материала в процессе анализа, пересчитывается в распределение частиц по массе.

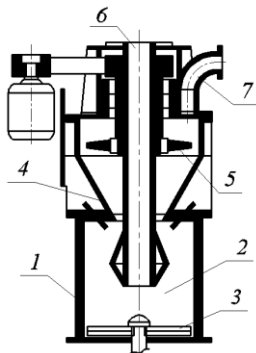


Рис. 1 – Схема вихревой мельницы

- 1 - корпус мельницы; 2 - помольная камера;  
3 - вихреобразователь; 4 - коническая воронка с диафрагмой;  
5 - колесо сепараторное; 6 - загрузочный канал; 7 - разгрузочный канал

При проведении исследований использовались следующие режимы измельчения цемента в вихревой мельнице: К – контрольный (исходный цемент), Д90-1 – измельченный за один проход в мельнице вихревого типа с диафрагмой диаметром 90 мм, Д90-2 – то же, за два прохода, Д90-3 – то же, за три прохода, Д102-1 – измельченный за один проход в мельнице вихревого типа с диафрагмой диаметром 102 мм; Д102-2 – то же, за два прохода, Д102-3 – то же, за три прохода. Результаты исследования гранулометрического состава цемента методом лазерной дифракции приведены в таблице 1 и на рисунках 2 и 3.

Из результатов экспериментальных данных, полученных при проведении исследования гранулометрического состава для различной степени измельчения цемента, следует, что диаметр диафрагмы и количество помолов цемента оказывают существенное влияние на гранулометрию цемента. При этом независимо от диаметра диафрагмы по сравнению с исходным (контрольным) цементом наблюдается увеличение удельной поверхности измельченных частиц для диафрагм диаметром 90 мм на 40-64 % и диаметром 102 мм на 17-52 %, при соответствующем уменьшении их диаметра, например, для среднего размера

частиц в 2,3-2,7 раза для диаметра диафрагмы 90 мм и в 1,7-2,6 раза для диафрагмы диаметром 102 мм.

Таблица 1 – Результаты исследования granulометрии цемента

№ п.п.	Маркировка цемента	Удельная поверхность, м <sup>2</sup> /г	Диаметр частиц, мкм				Ширина распределения <sup>5</sup>	Отклонение <sup>6</sup>
			средний <sup>1</sup>	90 <sup>2</sup>	50 <sup>3</sup>	10 <sup>4</sup>		
1	К	0,8597	39,39	92,83	26,88	2,96	3,344	1,0550
2	Д90-1	1,4104	16,18	37,74	10,37	1,78	3,468	1,1040
3	Д90-2	1,3989	14,69	34,04	9,98	1,92	3,220	0,9946
4	Д90-3	1,2032	17,32	39,15	12,58	2,39	2,923	0,9096
5	Д102-1	1,2273	22,95	47,05	12,92	2,16	3,474	1,3220
6	Д102-2	1,0060	23,31	52,57	17,02	2,91	2,918	0,9098
7	Д102-3	1,3043	14,90	32,63	10,59	2,14	2,878	0,9203

Примечания. 1 – средний диаметр сферы, эквивалентный по объему измеряемой частице; 2 – 90 % частиц имеют размеры меньше этой величины; 3 – 50 % частиц имеют размеры меньше этой величины; 4 – 10 % частиц имеют размеры меньше этой величины; 5 – ширина распределения показывает разброс granulометрического состава порошка; 6 – величина, показывающая отклонение распределения granulометрического состава от идеальной кривой Гаусса.

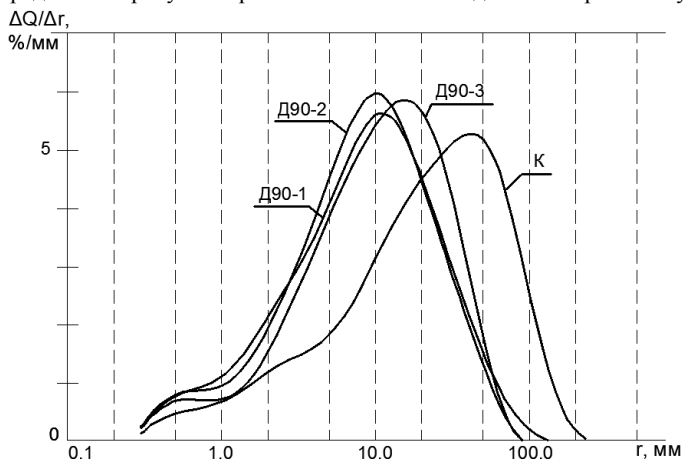


Рис. 2. – Дифференциальные кривые granulометрического состава для образцов К, Д90-1, Д90-2 и Д90-3

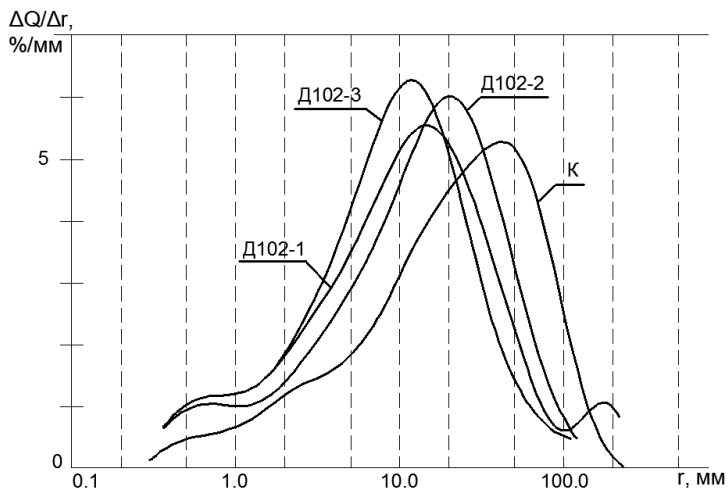


Рис. 3 – Дифференциальные кривые гранулометрического состава для образцов К, Д102-4, Д102-5 и Д102-6

При этом увеличение количества помолов при диафрагме диаметром 90 мм приводит к снижению удельной поверхности цемента: по отношению к однократному помолу при двукратном помолу уменьшение удельной поверхности составило 0,8 %, а при трехкратном – 14,7 %. Для других показателей цементных частиц наблюдается некоторое их снижения с одного помола по второй, а для третьего помола данные показатели увеличиваются по сравнению с двумя другими. Таким образом, трехкратное измельчение приводит к снижению удельной поверхности и увеличению диаметра частиц. Для показателя ширины распределения частиц характерно его снижение с увеличением количества помолов цемента, что характеризует более однородное распределение их по размерам.

Для диафрагмы диаметром 102 мм увеличение количества помолов с одного до двух приводит к снижению удельной поверхности цемента на 18,0 %, в то время как при трехкратном измельчении наблюдается рост удельной поверхности на 6,3 %. Как следует из таблицы 1, данные по изменению удельной поверхности цементных частиц коррелируют с показателями изменения их размеров, характеризуемых условным диаметром. При этом, как и в случае применения диафрагмы диаметром 90 мм, с увеличением количества помолов цемента происходит снижения показателя ширины распределения частиц, что характерно для повышения однородности распределения частиц по размерам.

Увеличение диаметра диафрагмы с 90 мм до 102 мм, приводящее к уменьшению продолжительности вихревой обработки цемента, снижа-

ет удельную поверхность цемента при двукратной обработке по сравнению с однократной на 18,0 %. При трехкратном измельчении наблюдается обратный эффект, то есть увеличение удельной поверхности материала на 6,3 % по сравнению с однократным помолом. Такая особенность при использовании диафрагм двух различных диаметров наблюдается и для других показателей гранулометрии цемента, приведенных в таблице 1.

Полученные результаты по измерению методом лазерной дифракции удельной поверхности цемента, измельченного в мельнице вихревого типа, были продублированы измерением удельной поверхности цемента по ГОСТ 310.2-76 методом воздухопроницаемости с использованием прибора марки ПСХ-8А. Из приведенных в таблице 2 результатов измерений следует, что выполненные стандартные испытания в полной мере подтверждают наблюдающиеся закономерности в изменении удельной поверхности цемента, установленные методом лазерной дифракции, хотя при этом наблюдается существенное отличие в абсолютных значениях удельной поверхности материала, что объясняется различными принципами измерений и принятыми при этом допущениями.

Таблица 2. – Результаты сравнительных определений удельной поверхности цемента

№ п.п.	Маркировка цемента	Удельная поверхность, м <sup>2</sup> /кг, измеренного на приборах	
		Mastersizer 2000	ПСХ-8А
1	К	860	339
2	Д90-1	1410	518
3	Д90-2	1399	455
4	Д90-3	1203	364
5	Д102-1	1227	436
6	Д102-2	1006	320
7	Д102-3	1304	434

Для исследования влияния гранулометрического состава цемента на его активность были проведены испытания материала по ГОСТ 310.4-81. Показатели прочности (сжатие и растяжение при изгибе) определялись после пропаривания (ТВО) и в возрасте 28 суток (нормальное твердение). Испытания проводили на равноподвижных растворных смесях. Результаты прочностных испытаний измельченного по различным режимам цемента приведены в таблице 3.

Таблица 3. – Результаты испытаний цемента

Режим измель- чения	В/Ц, отн. ед.	Прочность на сжатие, МПа				Прочность при изгибе, МПа			
		после ТВО	изменение показателя, %	в возрасте 28 суток	изменение показателя, %	после ТВО	изменение показателя, %	в возрасте 28 суток	изменение показателя, %
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
К	0,39	25,5	--	35,6	--	4,6	--	6,5	--
Д90-1	0,38	41,0	61	52,9	49	5,7	24	8,2	26
Д90-2	0,37	43,8	72	54,3	53	6,2	35	8,2	26
Д90-3	0,36	48,0	88	59,7	68	6,0	30	8,1	25
Д102-1	0,38	40,4	58	49,3	38	5,9	28	7,3	12
Д102-2	0,36	39,8	56	51,4	44	5,7	24	7,3	12
Д102-3	0,35	51,4	102	61,5	73	6,4	39	7,9	22

Примечание: изменение показателя определялось относительно образца "К"

Из таблицы 3 следует, что активация цемента в мельнице вихревого типа приводит к увеличению прочности на сжатие при ТВО на 56-102 % и при нормальных условиях твердения на 38-73 %, а прочности при изгибе – соответственно на 24-39 % и 12-26 %. Как видим, наибольший прирост прочности наблюдается после тепловлажностной обработки и для испытаний образцов на сжатие. Обращают внимание такие особенности обработки цемента в вихревой мельнице, как снижение, как правило (за исключением режима Д102-3), удельной поверхности цементных частиц с увеличением циклов обработки (см. таблицу 2), уменьшение водоцементного отношения при обеспечении равноподвижности формируемых растворных смесей (см. таблицу 3) при значительном росте удельной поверхности (от 17 до 64 % по сравнению с контрольным образцом “К”) измельченного в вихревой мельнице цемента, а также сужение ширина распределения частиц с увеличением количества помолов на 13 % для диафрагмы 90 мм и 14 % для диафрагмы 102 мм (см. таблицу 1).

### *Заключение*

Такие особенности в проявлении свойств цемента, обработанного в вихревой мельнице, могут быть объяснены тем, что при вихревом способе активации цемента преимущественно происходит не его измельчение с дроблением и уменьшением размеров частиц материала, а модификация цементных частиц при их столкновениях в турбулентном воздушном потоке и приближении к окатанной форме по аналогии с изменением формы барханных песков в процессе длительного перекачивания под воздействием воздушных потоков. Однако последнее утверждение следует рассматривать как научную гипотезу, требующую дополнительного подтверждения путем проведения численных и экспериментальных исследований.

### **Summary**

**This article researching the particle-size distribution of cement activated in the vortex mill. This way of activation of cement belongs to the mechanical method. The relation between particle-size distribution and strength properties of cement is investigated.**

### *Литература*

1. Корчаков В.Г. Аэродинамика потоков в вихревых мельницах при измельчении силикатных материалов. – Диссертация к.т.н. – Харьков: 1986. – 168 с.