

## РАСЧЕТ КОЛИЧЕСТВА АКТИВНЫХ ЗЕРЕН И МИНЕРАЛОВ ЦЕМЕНТА

КУЧЕРЕНКО А.А. (Одесская государственная академия  
строительства и архитектуры)

Много лет сознательного использования активного материала (цемента) не раскрыло суть выражения «активность цемента» и важность практического его использования.

Активность цемента (АЦ) – абсолютная прочность образцов, технология которых строго регламентирована (балочки, Ц:П=1:3 и др.), т.е. это прочность эталонного (стандартного) образца. По показателям этой прочности назначается марка цемента. После чего о существовании АЦ больше не вспоминаем, что является тормозом в раскрытии и развитии этого понятия. И в тоже время известно, что в любых других условиях, отличных от стандартных, АЦ совершенно другая. Модификация цемента различного рода добавками в сильной мере изменяет его активность и не всегда в той же мере - марку. Марка и активность цемента, загнанного в рамки эталона (стандартных условий) прочности – понятия близкие. Но АЦ значительно более широкое понятие.

Цемент по-разному проявляет свою реакционную активность в знаковые сроки: до 28 суток, когда интенсивно в реакцию вступает основная, марку определяющая, масса его; в период эксплуатации, когда замедленно продолжается или вовсе отсутствует процесс гидратации; в период постепенной потери основных функциональных свойств (коррозии), когда, разрушаясь, в ядрах зерна цемента могут прогидратировать оставшиеся минералы или когда проявляется антиактивность цемента, способствующая процессу коррозии. Это, образно, взгляд по горизонтали: вдоль «жизненного пути» бетона. А если взглянуть по вертикали, то поймем, что в каждый из значимых периодов «жизни» бетона глубина гидратации зерен цемента меняется. Таким образом, цемент проявляет свою активность с позитивным или негативным эффектом. Разное преобразование зерен и минералов цемента в разные сроки говорит о том, что АЦ – скорее процесс (динамика, чувствительность к условиям твердения и эксплуатации), чем величина (абсолютная величина прочности при сжатии).

Оценка АЦ только по прочности для назначения марки цемента стабилизировала процесс развития этого понятия на срок более полу-



века. Этого крайне мало. АЦ должна оцениваться по широкому диапазону свойств самого цемента и особенно бетона на нем. Цементная составляющая бетона всегда более чувствительна к условиям окружающей среды и потому всегда определяющая свойства бетона. Поэтому оценка должна быть выражена не только величиной показателя того или иного свойства, но и по коэффициенту активности, т.е. по отношению показателей свойств реальных к стандартным (или предыдущим) условиям.

В связи с изложенным считаем необходимым классифицировать цемент по зерновому и по минералогическому признакам активности и ввести три группы АЦ. По гранулометрическому признаку зерна цемента можно разделить на три группы активности:

- активные, за 28 суток твердения бетона полностью вступающие в реакцию с водой затворения;
- перспективные, обеспечивающие часть прочности бетона в возрасте 28 суток и заканчивающие 100%-ную гидратацию в период монтажа конструкций; зданий или сооружений, т.е. до момента ввода их в эксплуатацию (срок 0,5-1 год);
- комплексные, т.е. частично гидратированные, у которых негидратированная часть зерна выполняет роль наполнителя.

По этим же показателям можно классифицировать и минералы цементного клинкера:

- активные минералы, вступающие в реакцию за 28 суток и обеспечивающие марку бетона. Они имеются во всех исключительно зернах цемента, т.к. гидратация их начинается с поверхности. Другое дело, какая доля минералов вступит в реакцию в зависимости от размера зерна.
- перспективные минералы, обеспечивающие последующий рост прочности бетона от 28 суток до времени его эксплуатации. Они могут быть только у тех зерен цемента, которые не прогидратировали за 28 суток на всю глубину. Это обеспечивает запас прочности бетона, но до сих пор мы это учитываем эпизодически.
- минералы-наполнители, не вступившие в реакцию с водой затворения за период эксплуатации бетона. Как правило, это ядро комплексного зерна цемента.

Глубина гидратации зерен цемента, при всех остальных постоянных параметрах, не зависит от размера зерна. Реакции идут от поверхности вглубь и мелкое зерно прогидратирует полностью, а крупное – частично. Поэтому она опосредственно связана как с физическими, так и с химическими свойствами цемента.



Оценить степень активности зерен цемента довольно трудно из-за отсутствия целенаправленных исследований в этой области. В технической литературе [1,2] имеются данные о глубине гидратации мономинералов:  $C_2S$  от 0,83 до 1 мк,  $C_3S$  (4,44-7,9 мк),  $C_4AF$  (8,4 мк) и  $C_3A$  (5,66-11,2 мк). Меньшие цифры принадлежат Андерегге и Хебеллу [2]. Исходя из данных отечественных исследователей [3] и учитывая эффективность современных добавок (особенно их адсорбционную способность), принята 100%-ная степень гидратации зерен цемента диаметром до 20 мк. И в то же время совершенно очевидно, что моно- и полиминеральные зерна цемента - это не одно и то же. Быстрогидратирующие минералы в прожилках полиминеральных зерен (например алюминатные) обнажают поверхность медленно реагирующих (например силикатных) минералов, т.е. имеет место избирательный характер проникновения и распространения зоны гидратации. И потому идентифицировать их по глубине гидратации практически невозможно. Тем более, что расхождения между данными разных исследователей достигают 2-х раз. В реальном зерне цемента мы имеем дело со спекшейся (через стеклофазу) смесью этих минералов, хаотично или упорядоченно расположенных друг относительно друга. Но так как по массе алюмоферритная фаза составляет 43,6% [4], т.е. почти столько же, что и силикатная фаза, то есть вероятность их относительно равномерного размещения в объеме зерна.

Надо учесть, что размер зерен цемента в сильной мере определяет количественное соотношение между активными, перспективными и комплексными зернами и минералами цемента. Он тесно связан с удельной поверхностью его. Последняя всегда известна, легко определяется и ею легко оперировать. Но если для фракции 0-80 мк принять усредненное зерно, тогда для цементов с удельной поверхностью 300-600 м<sup>2</sup>/кг все зерна 100%-но вступают в реакцию и степень гидратации оказывается завышенной. Поэтому рациональнее все зерна цемента, прошедшие сквозь сито 008 делить на 4 фракции: 0-20, 20-40, 40-60 и 60-80 мк и принимать для расчетов усредненные размеры (10, 30, 50 и 70 мк). Подобный подход дал возможность получить следующие результаты, рис. 1. Здесь при  $S_{уд} = 3000 \text{ см}^2/\text{г}$  показан пример расчета количества зерен и минералов цементного клинкера трех классификационных групп.

В расчетах общее количество зерен или минералов портландцемента, отображенное площадью фигуры OABCFD, принято за 100%. К активным относят зерна диаметром до 20 мк. Это отображено треугольником OAG, площадь которого относительно общей площади фигуры составляет 7%. Эта цифра и принята за количество активных



зерен в составе рассматриваемого цемента. Аналогично, перспективные зерна, пласт которых отображен площадью

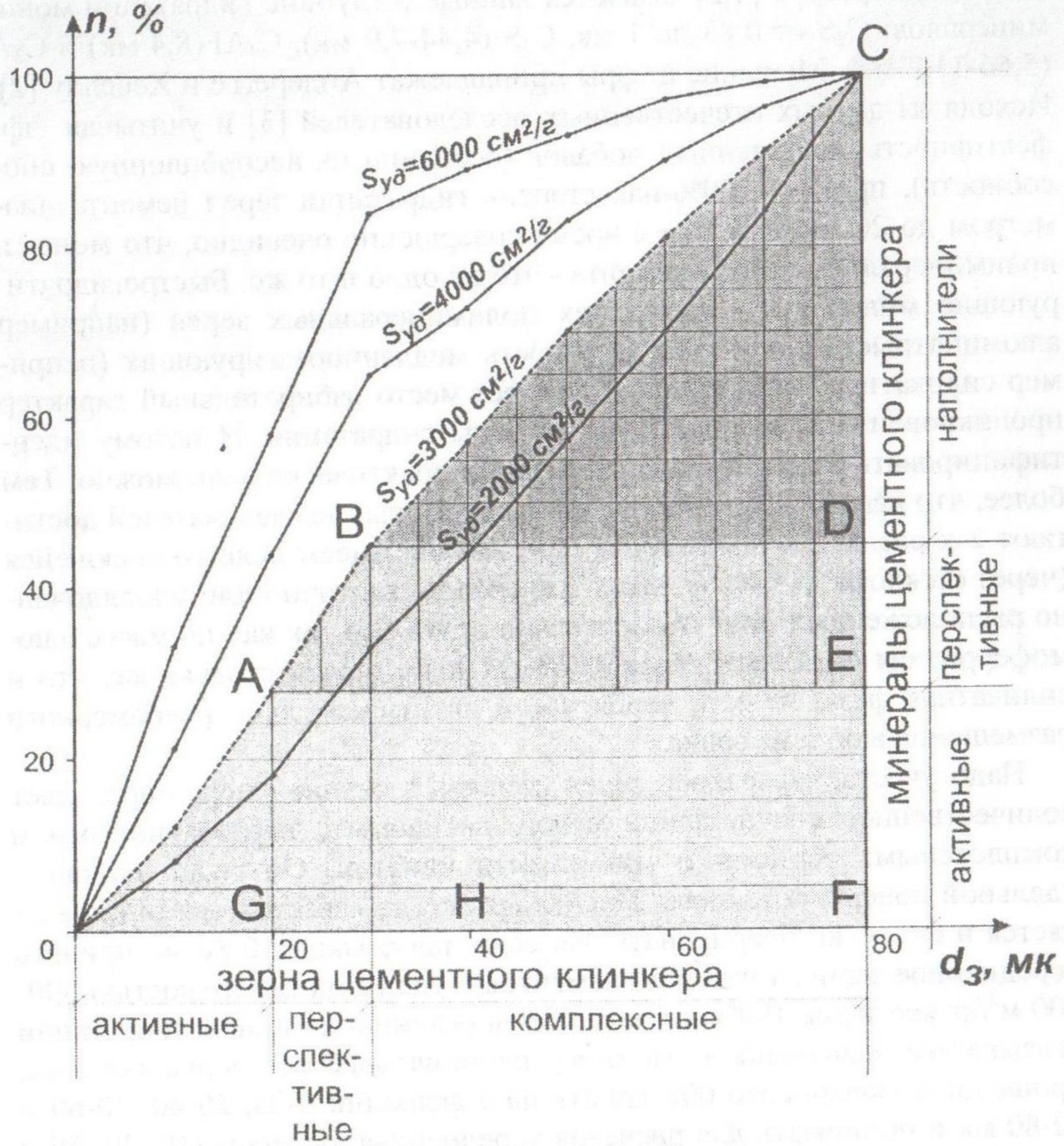


Рис. 1. Взаимосвязь удельной поверхности и зернового состава портландцементного клинкера.

GABH, составят 9,1%. На долю комплексных зерен приходится 83,9%.

Количество активных минералов, занимающих площадь трапеции OAEF, представляет 49% общей площади всех минералов (фигура OABCSDF). Аналогично, количество перспективных минералов (пло-



щадь трапеции ABDE) представлено 23,4%, а комплексных (площадь BCD) – 27,6%.

Расчет зерен и минералов портландцементов с другими величинами  $S_{уд}$  проведен аналогично, а результаты их представлены в табл. 1.

Таблица 1 Качественный и количественный состав портландцементного клинкера

Наименование зерен и минералов клинкера	Количество, %, зерен и минералов в 1 кг клинкера при $S_{уд}$ , $см^2/г$			
	2000	3000	4000	6000
Зерна цементного клинкера				
Активные	4,9	7	8,6	10
Перспективные	7	9,1	10,7	12,1
Комплексные	88,1	83,9	80,7	77,9
Минералы цементного клинкера				
Активные	34,5	49	60,4	69,3
Перспективные	22,6	23,4	22,6	24,4
Наполнители	42,9	27,6	11	6,3

Их данные поражают крайне низким количеством активных зерен цемента (5-10%) и практически таким же количеством перспективных – 7-12%. С учетом не использования (не учета в обеспечении прочности бетона) перспективных зерен мы работаем на минимуме. В этой части проблема зернового состава цемента практически не решена. Превалируют комплексные (31 - 80 мк) зерна. В связи с этим первоочередных задач две: добиться, чтобы активных зерен цемента было более чем в 2 раза больше и учитывать возможность перевода перспективных зерен в разряд активных, т.е. как участвующих в обеспечении прочности бетона в возрасте до 1 года.

Первая задача не так проста с той точки зрения, что раздробить крупные зерна до 20 мк, и таким образом перевести их в активные, довольно трудно: чем мельче зерно, тем оно прочнее. Здесь перспективнее использовать химическое и адсорбционное диспергирование, т.е. применять интенсивную (зерна в среде жидких активных веществ) технологию. Совершенно очевидно, что основной подпиткой активных и перспективных зерен служат зерна комплексные. Они могут подвергаться механическому измельчению, но эффективность измельчения их в среде зерен до 30 мк низка – нужен аэрационный отбор последних в процессе продолжения помола крупных. А во избежание флокуляции тонкомолотых зерен цемента ограничить их срок складского хранения и быстрее применять в дело.



Задача учета перспективных зерен возможна даже в монолитном домостроении, так как от начала строительства до запуска в эксплуатацию многоэтажного дома проходит около года. С уверенностью можно сказать, что комплексные зерна (78-88%) в основном обеспечивают прочность бетона. Минералов активных в 7 раз больше, чем зерен активных, но это мало о чем говорит, кроме какой-то непонятной стабильности при всех  $S_{уд}$ . Так как гидратация идет от поверхности вглубь, то активные минералы имеют все зерна цемента. В диапазоне 2000-4000  $см^2/г$  с увеличением количества активных минералов на 13% удельная поверхность зерен цемента повышается на 1000  $см^2/г$ , т.е. практически увеличение количества активных минералов на 1% соответствует увеличению  $S_{уд}$  на 80  $см^2/г$ . В диапазоне 4000-6000  $см^2/г$  увеличение активных зерен на 1% соответствует увеличению  $S_{уд}$  уже на 220  $см^2/г$ . С изменением  $S_{уд}$  от 2000 до 6000  $см^2/г$  количество активных зерен повышается в 2 раза, минералов-наполнителей (часть ядра зерна, не вступившая в реакцию) – уменьшается в 7 раз при удивительном постоянстве 23% перспективных минералов, а это почти четверть минералов всего клинкера. В результате мы имеем следующий вещественный состав минералов в 1 кг портландцементного клинкера, табл. 2.

Таблица 2 Массовое содержание минералов портландцемента и коэффициент активности его

Наименование минералов	Количество, г/кг, портландцемента при $S_{уд}$ , $см^2/г$ , и коэффициент активности			
	2000	3000	4000	6000
Массовое содержание минералов портландцемента				
Активные	345	490	604	693
Перспективные	226	234	226	244
Наполнители	429	276	110	63
Коэффициент активности цемента				
Активные	0,7	1	1,23	1,41
Перспективные	0,97	1	0,97	1,04
Наполнители	1,55	1	0,4	0,23

Здесь наиболее ходовой цемент с  $S_{уд}=3000$   $см^2/г$  принят с коэффициентом активности  $K_{ак}=1$ . По содержанию активных минералов цемент может быть менее или более активным, с диапазоном практически в 2 раза. АЦ по перспективным минералам не меняется, так как количество их почти одинаково. А вот по наполнителям мы скорее



имеем дело с коэффициентом пассивности, он понижается, а, следовательно, количество прогидратированных зерен цемента увеличивается. Понижение пассивности адекватно увеличению активности цемента.

### **Выводы**

Приведенная классификация зерен и минералов цемента по гидратационным признакам дает четкую картину недостатков и неизбежность решения их в будущем. Необходимость увеличения активных зерен цемента не менее чем в 2 раза и учета перспективных минералов в обеспечении прочности бетона очевидна и актуальна.

### **Литература**

1. Бутт Ю.М. и др. Технология вяжущих веществ. Высшая школа. М.: 1965. 620с.
2. Ли Ф.М. Химия цемента и бетона. Гси, М.: 1961. 646с.
- 3-4. Кучеренко А. А, Кучеренко Р. А. Зерно цемента – зеркало бетона. Вісник ОДАБА, №27, 2007. Есть ли перспектива у марки цемента. Там же, №28, 2008.