

# ХИМИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ

Ломаченко Д. В., канд. техн. наук, ст. преп.,  
Шаповалов Н. А., д-р техн. наук, проф.  
Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова

## ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОИЗВОДСТВА ЦЕМЕНТА С ПОМОЩЬЮ МОДИФИКАТОРОВ ПОМОЛА

[dsubway1@yandex.ru](mailto:dsubway1@yandex.ru)

*В данной статье рассматривается возможность повышение энергоэффективности производства цемента за счет снижения времени помола цемента, путем введение модификаторов помола в цементную мельницу. Изучение кинетических параметров процесса измельчения показало, что использование модификаторов помола позволяет улучшить гранулометрические свойства цемента и добиться снижения времени помола.*

**Ключевые слова:** цемент, энергоэффективность, помол цемента, удельная поверхность

Производство строительных материалов и цемента в частности является трудо- и энергозатратным производством, что безусловно находит отражение в себестоимости конечного продукта [1]. Процесс помола цементного клинкера является довольно затратным, доказательством чего может служить тот факт, что затраты на электроэнергию в среднем составляют около 10-11%, а на ряде предприятий достигают 15% от общих затрат при производстве цемента [2-4].

В работе оценивалась влияние добавок на процессы измельчения клинкера Старооскольского цементного завода. В качестве интенсификатора помола использовалась добавка на основе отхода резорцина, изготовленная в БГТУ им. Шухова (в дальнейшем ДР-3) [5-6] и добавка на основе триэтанолamina (в дальнейшем ТЭА).

Помол материалов проводился в шаровых трубных мельницах в условиях БГТУ им. В.Г. Шухова, с контролем удельной поверхности через определенные промежутки времени, которая служила оценкой степени измельчения материала. Измерение удельной поверхности осуществлялось с помощью метода воздухопроницаемости. Количество добавки, вводимой при помоле, составляло для ДР-3 0,02 и 0,04%; для ТЭА 0,1 и 0,15 %. Кинетические кривые измельчения клинкера ЗАО «Осколцемент» представлены на рис. 1.

Из данных рис. 1 видно, что в первые двадцать минут измельчения следует основное увеличение удельной поверхности, а в дальнейшем темп увеличения удельной поверхности снижается для всех измельчаемых образцов. При этом отмечается значительная интенсификация процесса измельчения при введении добавок. При этом введение добавки ДР-3 позволяет в боль-

шей степени интенсифицировать процесс помола.

Использование добавки ДР-3 в количестве 0,02 и 0,04% позволяет добиться увеличения удельной поверхности цемента на 12 и 19% после 20 минут помола, и на 16 и 23% соответственно после 40 минут измельчения. Для добавки на основе триэтанолamina данные значения составляют 5 и 7% после 20 минут измельчения и 6 и 10% после 40 минут. После 20 минут измельчения цемента с добавкой на основе отхода производства резорцина 0,02% достигается значение удельной поверхности  $\approx 280 \text{ м}^2/\text{кг}$ , в то время как для бездобавочного цемента данная величина удельной поверхности достигается в промежуток измельчения с 30 по 40 минуты, а для добавки на основе триэтанолamina с 20 по 30 минуты, что может говорить о большей эффективности использования добавки на основе отхода производства резорцина.

Важным критерием оценки эффективности используемой добавки, может быть ее влияние на степень интенсификации процесса измельчения цемента во времени, а также влияние на коэффициент торможения процесса измельчения. Данная характеристика может быть косвенно оценена при расчете изменения удельной поверхности после 20 минут измельчения.

Увеличение удельной поверхности при измельчении цемента с 20-й по 40-ю минуту помола представлено в табл. 1.

Увеличение количества интенсификатора и для цемента с ДР-3, и для цемента с ТЭА, приводит к увеличению удельной поверхности и степени измельчения. При этом увеличение удельной поверхности для цементов измельченных с ДР-3 с 20 по 40 минуту помола составляет

50,3 и 57,8 м<sup>2</sup>/кг для 0,02 и 0,04% добавки соответственно. Максимальное значение данного показателя для цемента с ТЭА составляет 48,8 %

несмотря на то, что количество используемой добавки превышает количество ДР-3 более чем втрое (0,15%).

Таблица 1

### Изменение удельной поверхности цемента с 20-й по 40-ю минуту измельчения

Цемент	$\Delta S_{уд.} \text{ м}^2/\text{кг}$	$\Delta S_{уд.} \text{ \%}$
Бездобавочный цемент	37,8	15,28
Цемент с 0,02% ДР-3	50,3	17,88
Цемент с 0,04% ДР-3	57,8	19,64
Цемент с 0,1% ТЭА	41,3	15,87
Цемент с 0,15% ТЭА	48,8	18,49

Анализ результатов измельчения с 20-й по 40-ю минуту помола показал, что увеличение удельной поверхности цемента, измельченного с добавкой ДР-3 в количестве 0,02% составляет 50,3 м<sup>2</sup>/кг., а для цемента с 0,04% ДР-3 57,8 м<sup>2</sup>/кг. Эти значения выше аналогичных для цементов, измельченных с добавкой на основе триэтанолamina в количестве 0,1% и 0,15%. Максимальное значение данного показателя для цемента с ТЭА составляет 48,8 м<sup>2</sup>/кг, несмотря на тот факт, что количество используемой добавки ТЭА превышает количество ДР-3 более чем втрое (0,15%).

Для описания кинетики процессов измельчения авторы [7] предлагают использовать уравнение переноса используя соотношение времени измельчения  $t$  и значений удельной по-

верхности  $S_{уд.}$ , поскольку скорость процесса измельчения контролируется переносом энергии мелющих тел на частицы размалываемого материала, а также коэффициентом  $k$ . С течением времени скорость измельчения падает, что объясняется уменьшением числа дефектных частиц, вторичным агрегированием и другими процессами:

$$t/S = (t/S)_0 + kT,$$

Величина  $(t/S)_0$  – является обратной по отношению к начальной скорости процесса измельчения. Это отрезок, отсекаемый на оси ординат при  $t=0$ , в координатах  $t/m=f(t)$ . Далее, найдя величину, обратную  $(t/S)_0$ , получаем начальную скорость измельчения  $U_0$  (табл. 2) [7].

Таблица 2

### Начальная скорость измельчения цементов с добавками

Цемент	$(t/S)_0$	Скорость измельчения, $U_0$
Бездобавочный цемент	13,5	0,074
Цемент с 0,02% ДР-3	10,6	0,094
Цемент с 0,04% ДР-3	8,73	0,115
Цемент с 0,1% ТЭА	12,25	0,082
Цемент с 0,15% ТЭА	11,4	0,088

Таким образом, рассчитанная скорость измельчения цемента с добавкой ДР-3, составляет большую величину по сравнению с це-

ментом, измельченным с добавкой на основе триэтанолamina.

Таблица 3

### Сокращение времени помола при измельчении цемента до удельной поверхности 300-320 м<sup>2</sup>/кг

Цемент	Время помола до удельной поверхности, мин	Сокращение времени помола, %
Бездобавочный цемент	43	-
Цемент с 0,02% ДР-3	33	23,2
Цемент с 0,04% ДР-3	31	27,9
Цемент с 0,1% ТЭА	40	6,9
Цемент с 0,15% ТЭА	37	13,95

Снижение времени измельчения до удельной поверхности 300-330 м<sup>2</sup>/кг может свидетельствовать о повышении энергоэффективности процесса измельчения цемента. В табл. 3 представлены данные по оценке снижения времени помола до удельной поверхности 300-320 м<sup>2</sup>/кг.

Указанные значения позволяют сделать вывод о том, что введение интенсификаторов помола ТЭА и ДР-3 позволяют сократить время помола измельчения. Сокращение времени измельчения приводит к снижению расхода электроэнергии при измельчении, что в свою очередь может приводить к повышению эффектив-

ности производства. При этом оптимальные значения для ДР-3 составляют 0,04 мас. %, а для ТЭА 0,15 мас. %

Таким образом, добавка ДР-3 на основе отхода производства позволяет значительно интенсифицировать процесс измельчения цемента. Предлагаемая добавка обладает большей эффективностью по сравнению с широко используемой добавкой на основе триэтанолamina. В частности использование добавки ДР-3 приводит к большему увеличению удельной поверхности при равном времени измельчения с добавкой на основе триэтанолamina. Помимо этого, рассчитанная по кинетическим кривым скорость измельчения цемента с добавкой ДР-3 значительно выше по сравнению с аналогичными скоростями измельчения для цементов без добавки и цементов с ТЭА. Указанные факторы позволяют сократить время измельчения с добавкой ДР-3, что в свою очередь приводит к снижению расхода электроэнергии в процессе получения цемента и снижению издержек при его производстве.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Борисов И.Н., Мануйлов В.Е. Энерго- и ресурсосбережение в производстве цемента при комплексном использовании техногенных материалов // ALITinform: Цемент. Бетон. Сухие смеси. 2009. №6. С. 50-58
2. . Энерго- и ресурсосбережение при использовании техногенных материалов в технологии цемента / В.К. Классен, И.А. Шилова, Е.В. Текучева, В.В. Степанов// Строительные материалы. 2007. №8. С. 18-19.
3. Рахимбаев Ш.М., Аниканова Т.В. Некоторые вопросы снижения энерго- и материалоемкости, повышения качества строительных материалов // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2007 №1. С. 23-25.
4. Шаповалов Н.А., Ломаченко Д.В. Получение композиционных цементов с использованием интенсифицирующей добавки // Фундаментальные исследования. 2013. №4-1. С. 71-74.
5. Ломаченко Д.В, Кудеярова Н.П., Ломаченко В.А. Диспергация цементного клинкера при помоле с новой органической добавкой // Строительные материалы. 2009. №7. С. 62-63.
6. Ломаченко Д.В., Кудеярова Н.П. Влияние поверхностно-активных свойств добавок на размолоспособность портландцементного клинкера // Строительные материалы. 2010. №8. С. 58-59.
7. Рахимбаев Ш.М., Яшуркаева Л.И., Мосьпан В.И. Отходы обогащения железных руд КМА – сырье для производства цемента: монография. Белгород: изд-во БГТУ. 2012. 164 с.