

*Лозовой Н. М., аспирант  
Белгородский государственный технический университет им. В.Г.Шухова*

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ В СМЕСИТЕЛЬНО-ПОМОЛЬНОМ УСТРОЙСТВЕ С ИЗМЕНЯЕМОЙ РАБОЧЕЙ КАМЕРОЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СОВРЕМЕННЫХ КОМПЬЮТЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

lozwa88@mail.ru

*При проведении экспериментальных исследований были определены основные факторы и диапазоны их варьирования со звездными точками, а именно частота вращения, время смешения, и процентное соотношение компонентов смеси. Функция отклика - коэффициент неоднородности смеси. Получено уравнение регрессии в кодированном и декодированном видах, а также были построены графики зависимости функции отклика (коэффициента неоднородности) от основных факторов.*

**Ключевые слова:** *смесительно-помольное устройство, изменяемая камера, силы, функция отклика.*

В настоящее время широкое распространение получили готовые строительные смеси, в состав которых входят функциональные и модифицирующие добавки, имеющие сложный состав, которые поставляются в продажу в готовом виде. Поэтому аппарат-смеситель способный качественно смешивать и гомогенизировать порошки из исходных компонентов, отличающихся друг от друга по размеру частиц (от долей микрона до 5 мм) и плотности (от 0,5 г/см<sup>3</sup> до 4,0 г/см<sup>3</sup>) является основным агрегатом технологического цикла производства сухих смесей и их составляющих. Практика показала, что для получения многокомпонентных смесей наиболее целесообразно использовать аппараты с вертикальными внутренними перемешивающими устройствами.

Разработано смесительно-помольное устройство с изменяемой рабочей камерой периодического действия [1]. Для определения

зависимости коэффициента неоднородности смеси от основных факторов была проведена серия экспериментов с использованием лабораторной установки (рис. 1), которая состоит из камеры 1 объемом 3 л, закрепленной на основании 2 кольцом 3. Камера 1 крепится хомутами к цапфе 4, посредством водила 5 и подшипникового узла 6 вращение цапфы передается от шпинделя сверлильного станка. Загрузка осуществляется через отверстие 7, выгрузка посредством шибера 8.

К цапфе 4 крепятся лопатки 9, в основании 2 сделаны отверстия 10 для выгрузки материала, ширина, которых составляет 6 мм, их размер обусловлен тем, что при необходимости камера заполняется мелющими телами размером более 6 мм и устройство может работать как мельница сверхтонкого помола.

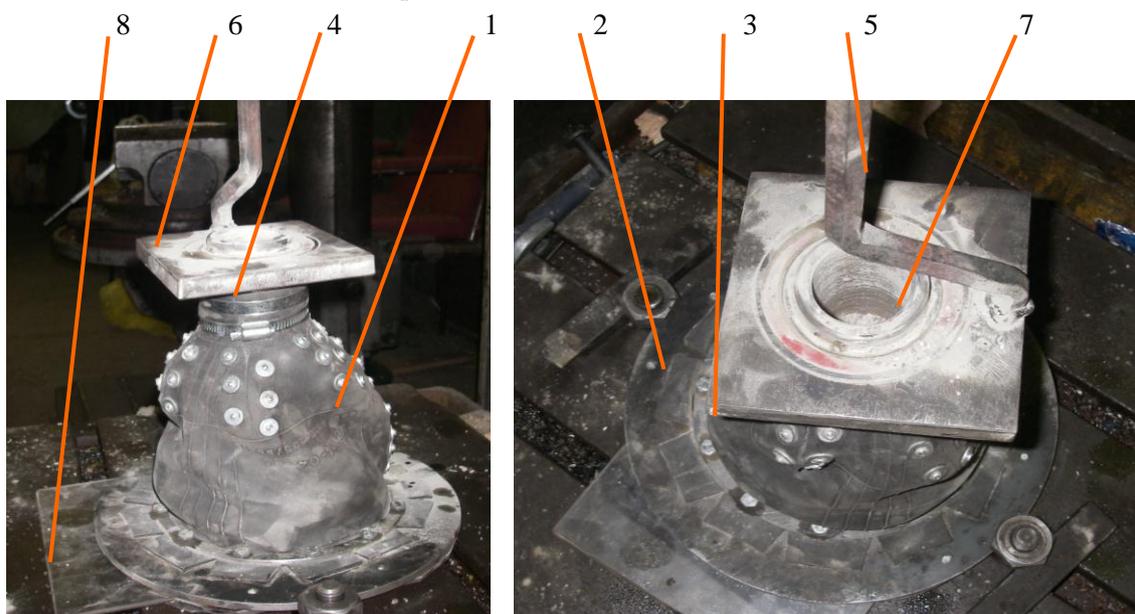


Рис. 1. Экспериментальная установка

Для исследования перемешиваемости материалов с разными физико-механическими свойствами использовался цемент марки 350 и калиброванный песок с размерами 1,25 – 2,5 мм. При проведении экспериментальных исследований были определены основные факторы и диапазоны их варьирования со звездными точками, а именно частота вращения, от 60 до 180 оборотов в минуту, время смешения, от 1 до 7 минут, и процентное

$$Y = 12,01 - 1,3x_1 - 12,52x_2 + 2,3x_3 + 1,13x_1x_2 + 5,2x_1x_3 - 1,1x_2x_3 - 2,43x_1^2 + 7,24x_2^2 + 6,1x_3^2, \quad (1)$$

где формулы преобразования будут иметь вид:

$$x_1 = \frac{t-240}{110}; \quad x_2 = \frac{K-25}{9}; \quad x_3 = \frac{n-130}{40}. \quad (2)$$

С использованием аналитического пакета Maple 13 производим декодирование уравнения регрессии:

```
> restart;
> x1:=(t-240)/110; x2:=(K-25)/9; x3:=(n-30)/30;
> d1:=12.01-1.3*x1-12.52*x2+2.3*x3+1.13*x1*x2+5.2*x1*x3-1.1*x2*x3-2.43*x1^2+7.24*x2^2+
+6.1*x3^2;
> expand(d1);
```

Получим:

$$K_n = 112,8 + 0,65t - 6K - 0,61n + 0,07tK + 0,1tn - 0,04Kn - 0,75t^2 + 0,1K^2 + 0,61n^2 \quad (3)$$

Для определения наиболее характерных графических структур визуализируем уравнение регрессии до декодирования в виде анимированных графиков (рис. 2). Для анализа выбираем графические структуры для коэффициен-

соотношение компонентов смеси от 90/10 до 60/40. Функция отклика - коэффициент неоднородности смеси. Получено уравнение регрессии в кодированном и декодированном видах, а также были построены графики зависимости функции отклика (коэффициента неоднородности) от основных факторов.

В кодированном виде уравнение регрессии для смешения песка и цемента имеет вид

та неоднородности  $K_n = 1$  (рис. 2, а, б), как наиболее желаемый результат, для удобства анализа ориентируем по осям, а так же для сравнения  $K_n=6,8\%$  (рис. 2, в);  $K_n=30\%$  (рис. 2, г);  $K_n=60,9\%$  (рис. 2, д).

```
> with(plots):
> animate(implicitplot3d, [((12.01-Kn)-1.3*x1-12.52*x2+2.3*x3+1.13*x1*x2+5.2*x1*x3-1.1*x2*x3-
2.43*x1^2+7.24*x2^2+6.1*x3^2, x1=-1.5..1.5, x2=-1.5..1.5, x3=-1.5..1.5], Kn=1..65, scaling=CONSTRAINED, axes=FRAMED, orientation=[-56,49], frames=50);
```

Анализ трехмерных фигур (рис. 2, а, б) показывает, что для получения коэффициента неоднородности  $K_n=1\%$  смеси необходимо обеспечить следующие режимы смешения: время от 350 до 420 с при числе оборотов цапфы от 60 до 160 об/мин соответственно (фиг. 1, рис. 2, а) или время от 60 до 130 с при числе оборотов цапфы от 130 до 180 об/мин (фиг. 2, рис. 2, а) для смеси компонентов изменяющихся в диапазоне от 80/20 до 60/40 (фиг. 1, 2, рис. 2, б). Таким образом, любая точка, попадающая на фигуры 1 и 2 рисунка 2, а, б будет показывать при каком соотношении времени, коэффициенте соотношения смеси и числе оборотов цапфы можно получить коэффициент неоднородности смеси  $K_n=1\%$ .

Фигура на рисунке 2, д показывает, что коэффициент неоднородности смеси равен  $K_n=61\%$ :

- во первых, при времени смешения до 240 с, числе оборотов цапфы до 80, коэффициенте соотношения смеси примерно 80/10, это можно объяснить тем, что у песка и цемента большая разница в размере частиц и их весе в этом случае слишком малы частота вращения цапфы и коэффициент соотношения компонентов, цемент просыпается в пустоты между частицами песка;

- во вторых, при времени смешения до 350 с, числе оборотов цапфы более чем 160, коэффициенте соотношения смеси примерно до 84/16, здесь при большем числе оборотов и времени смешения частицы песка распределяются ближе к стенкам камеры, что тоже снижает однородность смеси.

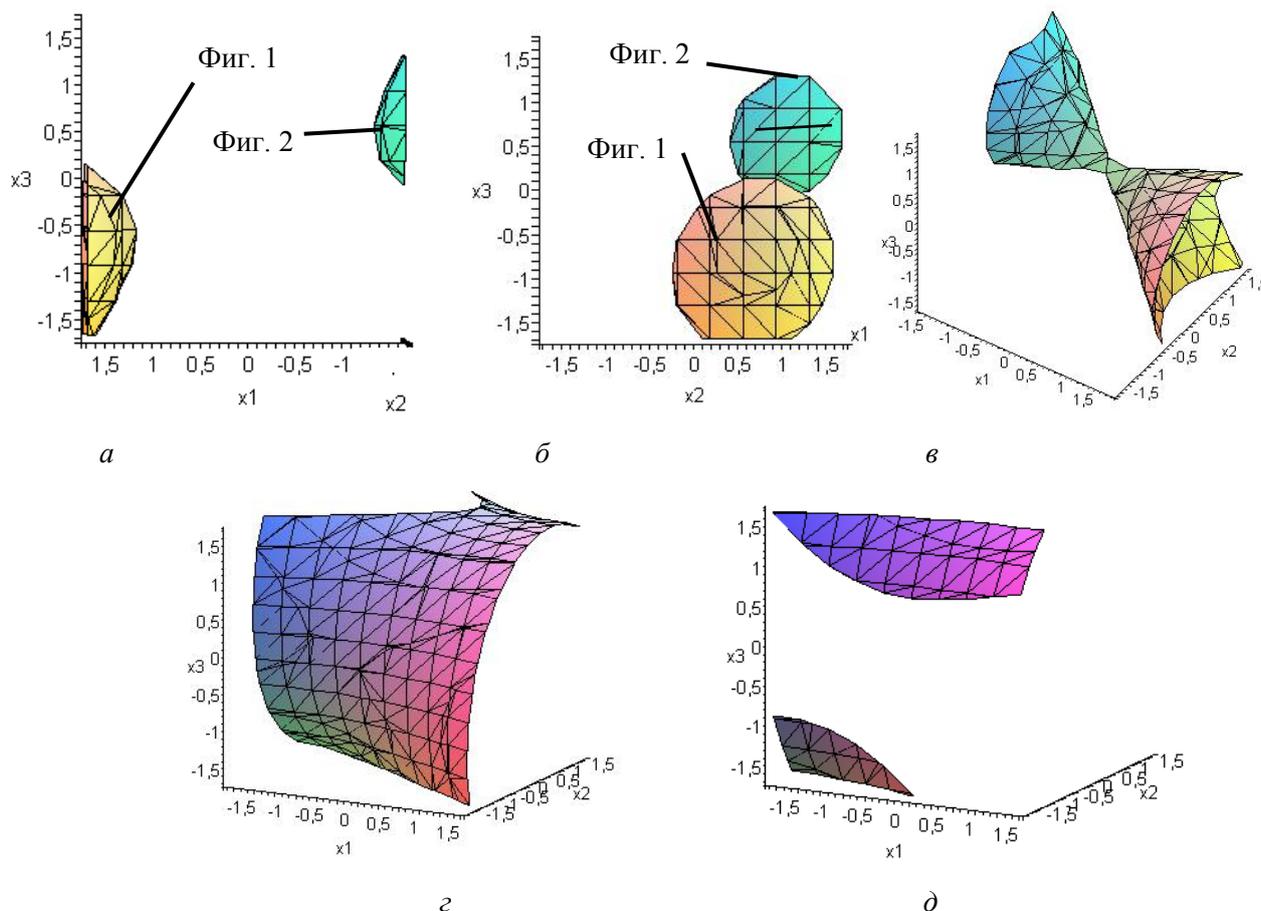


Рисунок 2. Графики зависимости коэффициента неоднородности от основных:  
 а, б –  $K_n = 1\%$ ; в –  $K_n = 6,8\%$ ; ; г –  $K_n = 30\%$ ; ; д –  $K_n = 60,9\%$

Таким образом, можно предположить, что в данном устройстве при меньшей разнице размера частиц песка и цемента наименьший коэффициент однородности можно получить при числе оборотов цапфы до 300 об/мин, что в 5-10 раз меньше, чем в известных высокоскоростных аппаратах и при меньшем времени смешения, за счет того, что частицы материала перемешиваются в поперечном сечении вращением цапфы с лопатками, а в продольном за счет деформирования камеры.

Полученные результаты экспериментальных исследований показали работоспособность разрабатываемого устройства, возможность использовать его для смешения материалов с различными физико-механическими характеристиками.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Лозовой Н.М. Смесительно-помольное устройство с изменяемой рабочей камерой периодического действия // патент на полезную модель № 104090, заявка № 2010139937, дата поступления 28.09.2010, зарегистрировано 10.05.2011/ Лозовая С.Ю., Уваров В.А.

2. Лозовая С.Ю. Моделирование движения загрузки в смесительных устройствах с изменяемыми рабочими камерами / Научные исследования наносистемы и ресурсосберегающие технологии в промышленности строительных материалов: Междунар. науч.-практ. конф., Белгород, 5-8 окт. 2010г./ С.Ю. Лозовая, В.А. Уваров, Н.М. Лозовой Белгор. гос. технол. ун-т. –Белгород: Изд-во БГТУ, 2010. –Ч.3. –153-158 С.