

УДК 621.926.5

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА СМЕШЕНИЯ В ПОМОЛЬНО-СМЕСИТЕЛЬНОМ УСТРОЙСТВЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СОВРЕМЕННЫХ КОМПЬЮТЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Лозовая С.Ю., Лымарь И.А.

ФГБОУ ВПО «Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова»,
Белгород, e-mail: nefact@mail.ru

Разработано помольно-смесительное устройство периодического действия для производства сухих строительных смесей, состоящее из цилиндрической рабочей камеры и мешалки с вертикальными Г-образными лопастями разной длины, закрепленными по окружности с эксцентриситетом относительно оси вращения. В статье приведены результаты апробации лабораторной установки при использовании устройства в качестве смесителя. Получено уравнение регрессии, выражающее зависимость коэффициента неоднородности от времени смешения, соотношения компонентов смеси и частоты вращения ротора. Построены трехмерные изображения зависимости коэффициента неоднородности от основных технологических параметров и произведен анализ полученных результатов. Выбраны рациональные режимы работы помольно-смесительного устройства в режиме смешения с точки зрения снижения энергоемкости и достижения требуемого качества готового продукта.

Ключевые слова: коэффициент неоднородности, помольно-смесительное устройство, сухие строительные смеси

RESEARCH OF MIXTURE PROCESS IN A GRINDING-MIXING DEVICE WITH THE USE OF MODERN COMPUTER TECHNOLOGIES

Lozovaya S.Y., Lyamar I.A.

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, Belgorod, e-mail: nefact@mail.ru

The grinding-mixing device of periodic operation is developed for the dry building mixes manufacture, consisting of the cylindrical working chamber and a stirrer with vertical L-shaped blades of different length, mounted like a circle with an eccentricity relative to the rotation axis. The results of laboratory testing of the installation with using the device as a mixer are shown in the article. It is received the equation of regression expressing the factor of heterogeneity dependence from mixing time, mixture components ratio and rotor speed. Three-dimensional images of factor of heterogeneity dependence from the basic technological parameters are constructed and the assaying of the received results is tested. Rational modes of grinding-mixing device behaviour in a condition of mixing from the point of view of power reduction and desired quality of a ready product reaching are selected.

Keywords: coefficient of heterogeneity, grinding-mixing device, dry building mix

Сегодня в нашей стране производство сухих строительных смесей является одним из наиболее интенсивно развивающихся направлений строительной индустрии. Получение некоторых видов материалов строительного назначения невозможно без использования смесительного оборудования, способного обеспечить необходимый уровень однородности смеси. В составы сухих строительных смесей входит большой ассортимент компонентов, при этом целый ряд составляющих вводится в малом количестве (0,05–0,5%), однако их влияние на формирование свойств растворных смесей и готовых изделий чрезвычайно велико. Даже небольшое отклонение содержания малых добавок, вызванное неоднородным их распределением, может негативно сказаться как на физико-механических, так и на технико-эксплуатационных свойствах готового продукта. Поэтому создание и использование аппарата-смесителя, способного качественно смешивать и гомогенизировать порошки из исходных компонентов, отличающихся друг от друга по размеру частиц и плотности, является основным агрегатом

технологического цикла производства сухих смесей и их составляющих [1].

Ввиду развития малого бизнеса в последнее время повышается потребность в многофункциональных устройствах малой производительности. Одним из широко используемых устройств для размолва и смешения порошковых смесей являются мельницы с вертикальным ротором. Их недостатком является то, что в установившемся режиме при критической скорости вращения вала мешалки мелющие тела и материал находятся во взвешенном состоянии и будут разрезаться по слоям горизонтальными лопатками в той или иной мере, что снижает эффективность помола и смешения материала [5].

Цель исследования – использование компьютерных технологий для анализа результатов экспериментов с целью повышения эффективности процесса смешения и получения готового продукта требуемого качества в устройстве комбинированного действия.

Материалы и методы исследования

При испытаниях использовался стенд с экспериментальным помольно-смесительным модулем,

который дает возможность регулировать частоту вращения ротора и величину других технологических параметров, в качестве компонентов смеси использовались песок с размером частиц 1–1,25 мм и цемент марки М400 как эталонные.

Результаты исследования и их обсуждения

Разработано помольно-смесительное устройство периодического действия (рис. 1, а), смешение материалов в котором осуществляется в цилиндрической емкости 3 мешалками различной конструкции, состоящими из закрепленных Г-образных лопастей 6 по окружности на диске 4. Исследовалась рабо-

та устройства с мешалками следующих конструкций:

– Лопастей одной длины, расположенные соосно оси вращения мешалки.

– Лопастей одной длины, расположенные с эксцентриситетом относительно оси вращения мешалки.

– Лопастей разной длины, расположенные с эксцентриситетом относительно оси вращения мешалки.

В случае использования устройства для помола в рабочую камеру помещают мелющие тела [3]. Результаты оценочных испытаний по смешению показали, что наиболее целесообразно использовать мешалку третьего типа (рис. 1, в) [2].

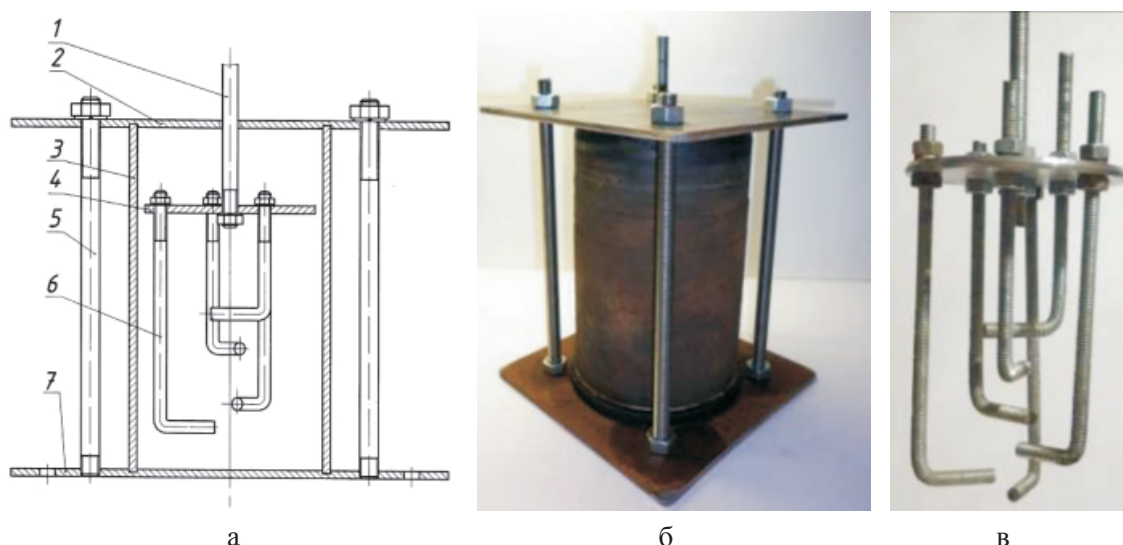


Рис. 1. Экспериментальный модуль:
а – схема устройства; б – вид модуля в сборе; в – мешалка;
1 – приводной вал; 2 – верхняя крышка; 3 – корпус; 4 – диск; 5 – шпилька;
6 – лопасти; 7 – нижняя крышка

Для определения зависимости коэффициента неоднородности смеси K_n от основных факторов: времени смешения t , содержания базового компонента в смеси v (величина отношения в % базового компонента – цемента к общему про-

центному содержанию смеси) и частоты вращения ротора n , было применено рототабельное равномерное планирование второго порядка, в результате которого получено уравнение регрессии. В кодированном виде

$$K_n = 10,56 - 5,66X_1 - 12,75X_2 - 5,45X_3 + 2,93X_1X_2 + 1,08X_1X_3 - 0,78X_2X_3 + 0,44X_1^2 + 9,13X_2^2 + 5,15X_3^2, \quad (1)$$

где $X_1 = \frac{t-600}{180}$; $X_2 = \frac{v-25}{9}$; $X_3 = \frac{n-300}{100}$.

Судя по величине и знакам коэффициентов при соответствующих факторах и эффектах взаимодействия в уравнении (1), можно сделать следующие выводы.

– Наибольшее влияние на величину выходного параметра (коэффициента неоднородности)

оказывает содержание базового компонента (X_2), тождественность полученного уравнения с реальным процессом подтверждается знаком « \leftrightarrow » при X_2 .

– При увеличении процента содержания цемента в смеси коэффициент неоднород-

ности уменьшается. Знаки « \leftrightarrow » перед X_1 и X_3 показывают, что при увеличении времени смещения и частоты вращения ротора коэффициент неоднородности уменьшается.

– Все эффекты взаимодействия в различной мере оказывают влияние на ко-

эффициент неоднородности, так как коэффициенты при них различны по величине.

С использованием аналитического пакета Maple 13 производим декодирование уравнения регрессии [4]:

```
> restart;
> x3 := (n-300)/100; x2 := (k-25)/9; x1 := (t-600)/180;
> kn := 10.56-5.66*x1-12.75*x2-5.45*x3 + 2.93*x1*x2 + 1.08*x1*x3-
0.78*x2*x3 + 0.44*x1^2 + 9.13*x2^2 + 5.15*x3^2;
> expand(kn);
Получим:
```

$$K_n = 234,3 - 0,11t - 7,9v - 0,38n + 0,0018tv - 0,00006tn - \\ -0,00087vn + 0,000014t^2 + 0,1127v^2 + 0,00052n^2. \quad (2)$$

Для определения наиболее характерных графических структур значений коэффициента неоднородности визуализируем уравнение

регрессии, используя анимацию. Рассмотрим полученные графические структуры в интервале $K_n = 4 - 28\%$ с шагом 3% (рис. 2).

```
> with(plots):
> animate (implicitplot3d, [(10.56-kn) -5.66*x1-12.75*x2-5.45*x3 + 2.93*x1*x2
+ 1.08*x1*x3-0.78*x2*x3 + 0.44*x1^2 + 9.13*x2^2 + 5.15*x3^2, x1 = -2..2, x2 = -2..2,
x3 = -2..2], kn = 4..70, scaling = CONSTRAINED, axes = FRAMED, orientation = [-56,49],
frames = 100);
```

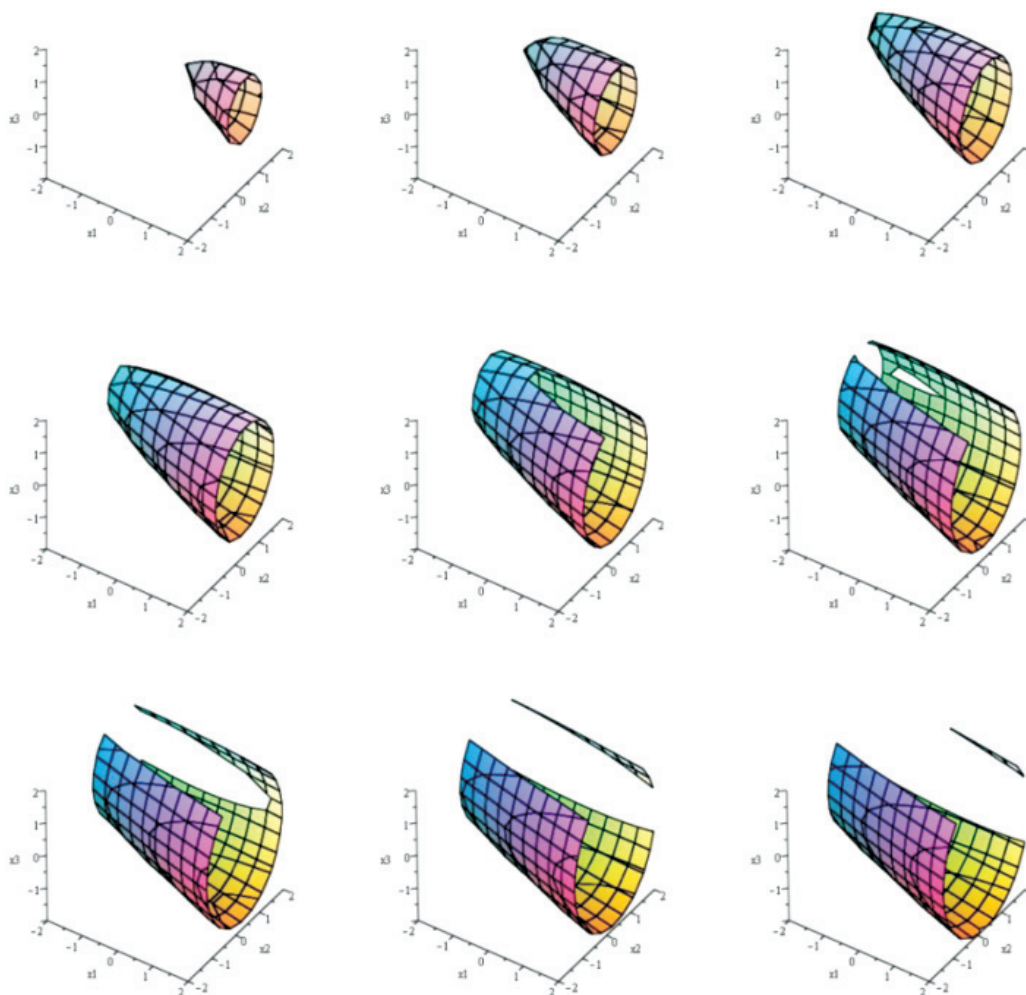


Рис. 2. Графические структуры в интервале $K_n = 4 - 28\%$ с шагом 3% .

Для анализа интересующих нас величин, исследуемых технологических параметров строим графическую структуру для коэффициента неоднородности $K_n = 5\%$ как наиболее

соответствующую требуемому качеству смеси (рис. 3, г). Полученное изображение ориентируем по различным осям для дальнейшего анализа и интерпретации данных (рис. 3, а, б, в):

> `implicitplot3d({(10.56-5)-5.66*x1-12.75*x2-5.45*x3 + 2.93*x1*x2 + 1.08*x1*x3-0.78*x2*x3 + 0.44*x1^2 + 9.13*x2^2 + 5.15*x3^2}, x1 = -2..2, x2 = -2..2, x3 = -2..2, scaling = CONSTRAINED, orientation = [-56,49], axes = boxed);`

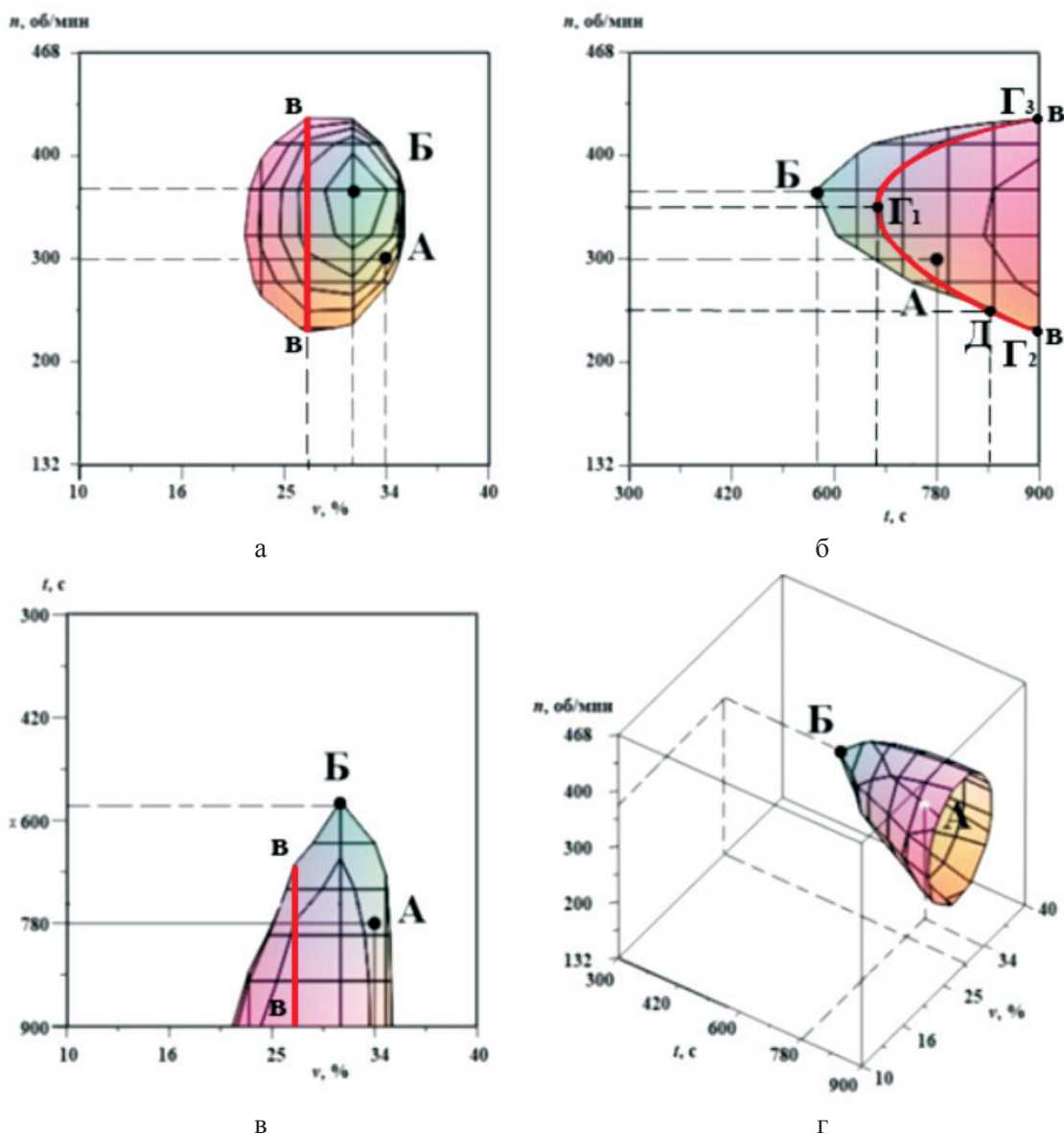


Рис. 3. Графическое изображение зависимости $K_n(t, v, n)$, при $K_n = 5\%$:
 а – проекция на оси v и n ; б – проекция на оси t и n ;
 в – проекция на оси t и v ; г – трехмерное изображение

Любая точка на поверхности (рис. 3) указывает величину технологических параметров, при которых можно получить коэффициент неоднородности смеси, равный 5%, а именно при времени смешения от 600 до 900 с, соотношении компонентов смеси от 20/80 до 36/64 (что соответствует целесообразному содержанию цемента марки

M400 в смеси) и частоты вращения от 250 до 420 об/мин. Например, точка А (рис. 3) показывает, что коэффициент неоднородности готовой смеси $K_n = 5\%$ можно получить при следующих технологических параметрах: времени смешения $t = 780$ с, содержания базового компонента $v = 34\%$ и частоте вращения ротора $n = 300$ об/мин.

Если нам необходимо выбрать наиболее рациональный режим смешения при заданном содержании базового компонента $v = 27\%$ (линия вв) (рис. 3, а, в), то время варьируется от 680 до 900 с, а частота вращения – от 250 до 420 об/мин. Проекция на оси t и n (рис. 3, б) линии вв представляет собой параболу, так при $t = 670$ с и $n = 350$ об/мин (т. Γ_1 , рис. 3, б) получим необходимый коэффициент неоднородности. Также при $t = 900$ с требуемый результат получим при $n = 230$ об/мин (т. Γ_2 , рис. 3, б) и при $n = 440$ об/мин (т. Γ_3 , рис. 3, б). Таким образом, любая точка, лежащая на линии вв, соответствует технологическим параметрам, при которых мы можем получить коэффициент неоднородности $K_n = 5\%$ при $v = 27\%$. Здесь нужно учитывать, что меньшее время смешения увеличивает производительность, но, как правило, увеличивает и энергоёмкость процесса, поэтому для описанного случая наиболее целесообразный режим смешения соответствует параметрам в точке Γ_1 (рис. 3, б).

Заключение

Построение и анализ трехмерных изображений зависимости коэффициента неоднородности смеси K_n от основных факторов: времени смешения t , содержания базового компонента v и частоты вращения ротора n дает возможность определить диапазон изменения технологических параметров устройства для получения готового продукта необходимого качества с учетом рациональных соотношений производительности устройства и энергоёмкости процесса.

Список литературы

1. Борщев В.Я. Оборудование для переработки сыпучих материалов: учебное пособие / В.Я. Борщев, Ю.И. Гусев, М.А. Промтов, А.С. Тимонин. – М.: Изд-во «Машиностроение-1», 2006. – 208 с.
2. Лозовая С.Ю. Исследование характера смешения порошков в помольно-смесительном устройстве периодического действия / С.Ю. Лозовая, И.А. Лымарь // Сухие строительные смеси. – 2012 – № 2. – С. 34–35.
3. Лозовая С.Ю., Лымарь И.А., Владимиров В.В. Помольно-смесительное устройство периодического действия // Патент на полезную модель РФ № 104871. заявитель и патентообладатель БГТУ им. В.Г. Шухова. – № 2010154632 от 30.12.2010, зарегистрировано 27.05.2011.
4. Лозовая С.Ю. Применение аналитического пакета MAPLE для исследования конструктивно-технологических параметров оборудования и моделирования техпроцессов на предприятиях стройиндустрии: учебное пособие / С.Ю. Лозовая, В.П. Воронов – Белгород: Изд-во БИЭИ, 2007. – 179 с.
5. Уваров В.А. Определение сил в смесителе с изменяемой рабочей камерой периодического действия / В.А. Уваров, Н.М. Лозовой // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2012 – № 1. – С. 56–59.

References

1. Borshhev V.Ya., Gusev, M.A. Promtov, A.S. Timonin., *Oborudovanie dlya pererabotki syuchix materialov* [The equipment for bulk solids processing]. Moscow, Izdatel'stvo Mashinostroenie-1, 2006. 208 p.
2. Lozovaya S.Yu., Lyamar' I.A., *Issledovanie xaraktera smesheniya poroshkov v pomol'no-smesitel'nom ustrojstve periodicheskogo dejstviya* [Powders mixture character research in a periodic operation grinding-mixing device], *Suxie stroitel'nye smesi.*, 2012, no. 2. pp. 34–35.
3. Lozovaya S.Yu., Lyamar' I.A., Lyamar' I.A., *Pomol'no-smesitel'noe ustrojstvo periodicheskogo dejstviya* [The grinding-mixing device of a periodic operation], Patent Russian Federation no. 98151, 10.10.2010.
4. Lozovaya S.Yu., Voronov V.P., *Primenenie analiticheskogo paketa MAPLE dlya issledovaniya konstruktivno-technologicheskix parametrov oborudovaniya i modelirovaniya texprocessov na predpriyatiyax strojindustrii* [Application of analytical bundle MAPLE for probe of is constructive-technical parametres of the equipment and simulation of technical processes at the building industry operations] Belgorod, Izdatel'stvo BIE'I, 2007 179 p.
5. Uvarov V.A., Lozovoj N.M., *Opredelenie sil v smesitele s izmenyaemoj rabochej kameroj periodicheskogo dejstviya* [Determination of forces in the mixer with variable working chamber of periodic action], *Vestnik Belgorodskogo gosudarstvennogo texnologicheskogo universiteta im. V.G. Shuxova* 2012 no. 1. pp. 56–59.

Рецензенты:

Блажевич С.В., д.ф.-м.н, профессор, зав. кафедрой информатики и вычислительной техники БелГУ, г. Белгород;

Трубаев П.А., д.т.н., профессор, зав. кафедрой теплоэнергетики, теплогазоснабжения и вентиляции БИЭИ, г. Белгород.

Работа поступила в редакцию 01.08.2013.