

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ БАРАБАННО-ЛОПАСТНОГО СМЕСИТЕЛЯ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ

М. Ю. Таршис¹, С. Н. Черпицкий¹,
Л. В. Королев², А. Б. Капранова¹

Кафедры: «Теоретическая механика и сопротивление материалов» (1),
«Прикладная математика и вычислительная техника» (2),
ФГБОУ ВО «Ярославский государственный технический университет»,
mutarshis@yahoo.com; г. Ярославль, Россия

Ключевые слова: барабанно-лопастной смеситель; коэффициент неоднородности; параметры; смесь; сыпучие материалы.

Аннотация: Приведены результаты экспериментальных исследований нового барабанно-лопастного смесителя сыпучих материалов непрерывного действия. Установлены и представлены в виде регрессионных уравнений влияния основных параметров смесителя и смеси на качество получаемых составов. При исследованиях использован бесконтактный метод определения качества смеси.

Процессы приготовления однородных по составу сыпучих смесей находят применение во многих отраслях химической промышленности, а также в таких, как металлургия, строительное производство, сельское хозяйство и других. Однако появление эффективных устройств для приготовления качественных смесей, в свою очередь, сдерживается отсутствием эффективных методов исследования, которые могут быть положены в основу надежных методов расчета. Ниже приводятся исследования нового барабанно-лопастного смесителя сыпучих материалов [1], в конструкции которого используются отработавшие ресурс автомобильные покрышки. Для решения исследовательских задач (доступ к сечениям смеси и быстрая оценка ее однородности) разработана экспериментальная установка, схема которой показана на рис. 1. Она включает цилиндрический корпус 1, внутри которого расположена кольцевая ступень 2 с рабочими лопастями 3, прозрачная кольцевая перегородка 4, и прозрачную торцевую стенку 5. Кольцевая ступень 2 и перегородка 4 имеют возможность осевого перемещения. Загрузка компонентов происходит через патрубок 6.

Исследования процесса смешивания проводились методом анализа изображений поперечных сечений смеси [2, 3]. Изображения смеси фиксировались через прозрачную кольцевую перегородку 4, которая устанавливалась в конкретных сечениях смесителя на заданном расстоянии от места подачи компонентов (стенки 4).

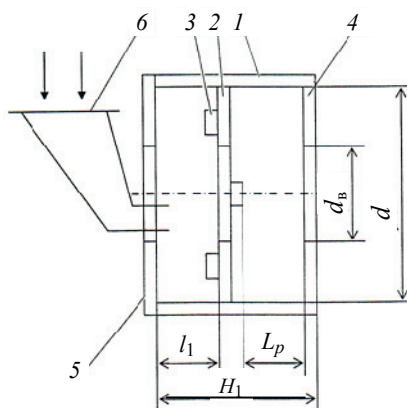


Рис. 1. Схема экспериментальной установки барабанно-лопастного смесителя непрерывного действия [1]

Исследуемые параметры системы «смеситель – сыпучие компоненты» и диапазоны их варьирования:

– конструктивные $\{K\} \sim \{\alpha_1, \alpha_2, L_p, d_b, d, D\}$, где $D = 0,242$ м – внешний диаметр корпуса l ; $d = 0,23$ м – внутренний диаметр рабочей камеры; $d_b = [0,068; 0,09; 0,105; 0,15]$ м – внутренний диаметр перегородки рабочей камеры; L_p – расстояние от края лопасти до перегородки (места выгрузки смеси), $L_p = [0,01 - 0,09]$ м; α_1, α_2 – углы наклона лопастей к плоскости поперечного сечения рабочей камеры, $\alpha_1 = [8^\circ - 120^\circ]$, $\alpha_2 = [8^\circ - 120^\circ]$;

– режимные $\{R\} \sim \{Q, k_3, \omega, c_m\}$, где Q – объем материала внутри рабочей камеры, $Q = [200, 400, 500, 1000]$ мл для одноступенчатого смесителя; k_3 – коэффициент загрузки материала, $k_3 \in [0,14; 0,21; 0,28; 0,35]$; c_m – концентрация ключевого компонента в смеси, $c_m \in [0,1; 0,3; 0,5; 0,7; 0,9]$; ω – угловая скорость вращения корпуса, $\omega = [\pi, 2\pi]$ рад/с;

– физико-механические: $d_{1,2}$ – средний диаметр частиц компонентов, $d_{1,2} \in [0,03; 0,05; 0,175; 0,275]$ см; ρ – насыпная плотность материала, $\rho \in [0,495; 0,666; 0,840; 1,51]$ г/см³.

Результаты исследований однородности смеси, показаны на рис. 2 – 5. На графиках символами показаны значения коэффициента неоднородности смеси полученные экспериментально, сплошными линиями – аппроксимирующие их кривые. В качестве критерия однородности был использован коэффициент неоднородности [2]

$$V_c = \frac{100}{c_0} \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (c_i - c_0)^2}, \quad (1)$$

где c_i – массовая (или объемная) концентрация ключевого компонента в i -й пробе; n – количество проб; c_0 – средняя концентрация ключевого компонента по объему смеси.

Для аппроксимации экспериментальных зависимостей использовались полиномы первой и второй степени, коэффициенты которых подбирались методом наименьших квадратов [4]. Значения коэффициента детерминации R^2 во всех случаях не ниже 0,85.

На рисунке 2 показаны зависимости коэффициента неоднородности смеси V_c от расстояния L_p от среза лопасти до исследуемого сечения смесителя (см. рис. 1) при различных концентрациях ключевого компонента. Смешивались речной песок (ключевой компонент) и манная крупа со средней крупностью частиц $d_1 = 0,05$ см и $d_2 = 0,03$ см; насыпные плотности – $\rho_1 = 660$ кг/м³, $\rho_2 = 1510$ кг/м³. Коэффициент загрузки – $k_3 = 0,21$; углы наклона лопастей: $\alpha_1 = 45^\circ$, $\alpha_2 = 30^\circ$, длина приемной камеры: $l_1 = 0,055$ м.

Как видно из графиков, для всех исследованных случаев различных концентраций ключевого компонента, за лопастью ($L_p = [0,01 - 0,04]$ м) наблюдается существенное падение коэффициента неоднородности смеси. Можно предположить, что после воздействия лопасти на смесь, однородность смеси не высока. Однако, последствия такого конвективного воздействия, проявляются в росте однородности смеси, а на участке $L_p = [0,06 - 0,09]$ м происходит стабилизация коэффициента неоднородности. Связано такое поведение смеси, по-видимому, с тем, что воздействие лопасти на центр циркуляции смеси (ядро сегрегации) приводит к «размазыванию» ядра, то есть, к увеличению поверхности контакта компонентов, с его последующим диффузионным смешиванием. Этот результат имеет значение с точки зрения выбора рациональных размеров смесителя, в том числе многоступенчатого (расстояний между перемешивающими ступенями).

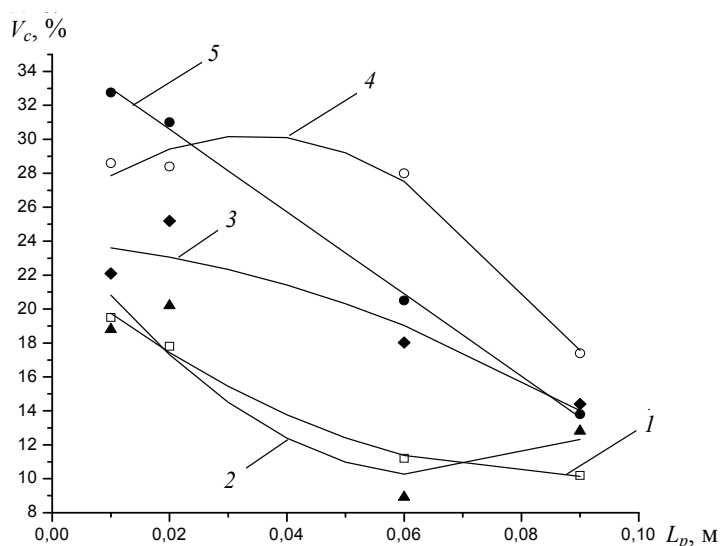


Рис. 2. Коэффициент неоднородности смеси в сечении, находящемся на расстоянии L_p от среза лопасти смесителя:

$$1 - c = 0,1, V_c = 22,38 - 278,6L_p + 1584,6(L_p)^2; 2 - c = 0,3, V_c = 25,03 - 455,6L_p + 3493,2(L_p)^2;$$

$$3 - c = 0,5, V_c = 23,95 - 25,9L_p - 935,1(L_p)^2; 4 - c = 0,3, V_c = 25,52 + 276,6L_p - 4055,1(L_p)^2;$$

$$5 - c = 0,3, V_c = 35,4 - 242,2L_p$$

На рисунке 3 показаны результаты исследований, выражающие зависимость коэффициента неоднородности V_c смеси от концентрации ключевого компонента. Использовались те же материалы, что и в предыдущей группе экспериментов. Исследования устанавливают линейную связь значений V_c с концентрацией ключевого компонента c_m . Видно также существенное влияние размера L_p на однородность смеси.

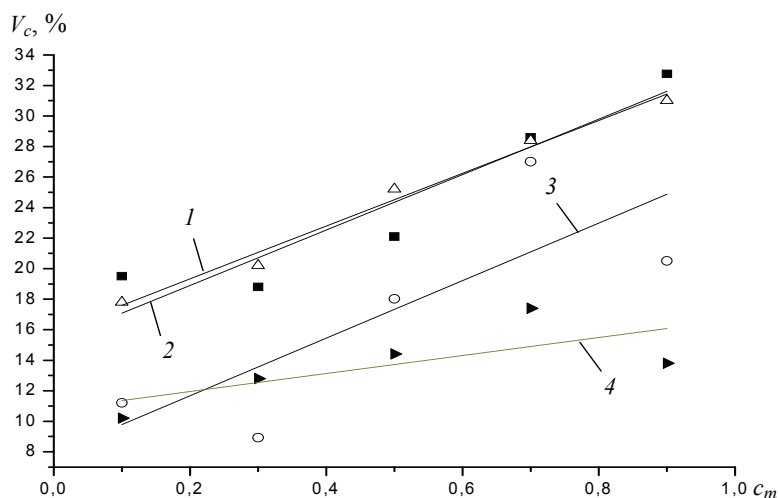


Рис. 3. Зависимость коэффициента неоднородности смеси от концентрации ключевого компонента при различных значениях L_p :

$$1 - L_p = 0,01, V_c = 15,27 - 18,16c_m; 2 - L_p = 0,02, V_c = 15,87 - 17,3c_m;$$

$$3 - L_p = 0,06, V_c = 7,96 - 18,35c_m; 4 - L_p = 0,09, V_c = 10,77 - 5,9c_m$$

На рисунке 4 показаны зависимости коэффициента неоднородности смеси V_c от коэффициента загрузки смесителя при различных значениях концентрации ключевого компонента. Из рисунка следует, что однородность смеси растет до значений коэффициентов загрузки, равных $k_3 = 0,21$.

Исследования влияния углов наклона перемешивающих лопастей на однородность получаемой смеси (рис. 5) выявили экстремальное поведение коэффициента неоднородности V_c . При исследованиях $\alpha = \alpha_1 = \alpha_2 = [8^\circ - 120^\circ]$. Смешивались семена рапса (ключевой компонент) и проса со средней крупностью частиц $d_1 = 0,175$ см и $d_2 = 0,275$ см и насыпными плотностями соответственно $\rho_1 = 0,666$ кг/м³ и $\rho_2 = 0,840$ кг/м³. Коэффициент загрузки составлял $k_3 = 0,21$; углы наклона лопастей $\alpha_1 = 45^\circ$, $\alpha_2 = 30^\circ$; длина приемной камеры $l_1 = 0,055$ м; длина $L_p = 0,075$ м.

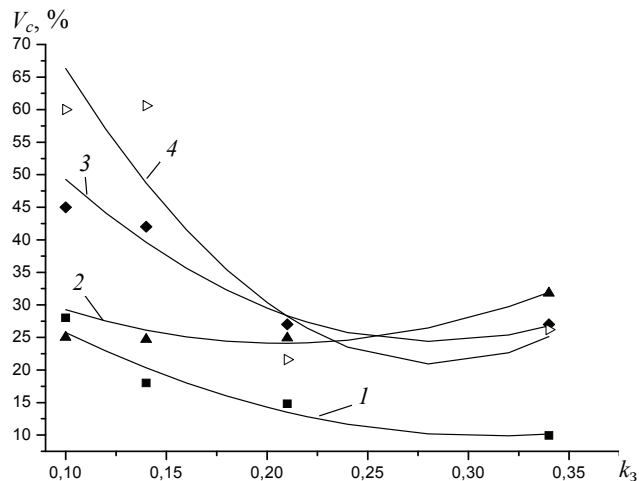


Рис. 4. Зависимость коэффициента неоднородности смеси от коэффициента загрузки смесителя при различных значениях концентрации (песок – манная крупа):

$$1 - c = 0,1, V_c = 44,42 - 222,1k_3 + 356,72k_3^2; 2 - c = 0,2, V_c = 43,28 - 184,9k_3 + 445,59k_3^2;$$

$$3 - c = 0,3, V_c = 83,9 - 420,5k_3 + 742,62k_3^2; 4 - c = 0,5, V_c = 129,07 - 761,8k_3 + 1341,5k_3^2$$

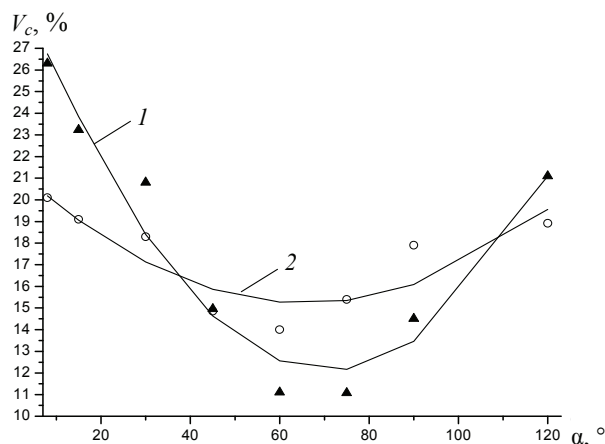


Рис. 5. Зависимость коэффициента неоднородности от углов наклона перемешивающих лопастей при различных значениях концентрации ключевого компонента (рапс – просо, $\alpha = \alpha_1 = \alpha_2$):

$$1 - c_m = 0,2, V_c = 21,65 - 0,195\alpha^2 + 0,00148\alpha^2; 2 - c_m = 0,8, V_c = 30,96 - 0,531\alpha + 0,00374\alpha^2$$

Проведенные исследования подтверждают возможность эффективного использования бесконтактных методов для оценки качества смесей в устройствах непрерывного действия. Зависимости, устанавливающие влияние конструктивных параметров барабанно-лопастных смесителей на качество получаемых смесей, указывают на предпосылки к оптимальному расчету данных параметров.

Список литературы

1. Пат. 2626203 Российская Федерация, МПК В01F 9/02, В01F 3/18. Смеситель / М. Ю. Таршис, С. Н. Черпицкий, Л. В. Королев, А. И. Зайцев ; заявитель и патентообладатель : ФГБОУ ВО «Ярославский государственный технический университет». – № 2016126747 ; заявл. 04.07.2016 ; опубл. : 24.07.2017, Бюл. № 21. – 6 с.
2. Таршис, М. Ю. Исследование качества сыпучей смеси. Моделирование. Критерии. Эксперимент : монография / М. Ю. Таршис, Л. В. Королев, А. И. Зайцев. – Ярославль : Изд. дом ЯГТУ, 2015. – 116 с.
3. Пат. 2385454 Российская Федерация, МПК G01N 1/38, В01F 3/18. Способ определения качества компонентов, различающихся по цвету / М. Ю. Таршис, А. И. Зайцев, Л. В. Королев ; заявитель и патентообладатель : ГОУ ВПО «Ярославский государственный технический университет». – № 2008144214/12 ; заявл. 06.11.2008 ; опубл. : 27.03.2010, Бюл. № 9. – 5 с.
4. Ахназарова, С. Л. Методы оптимизации эксперимента в химической технологии / С. Л. Ахназарова, В. В. Кафаров. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Высш. школа, 1985. – 327 с.

Experimental Studies of a Drum-Paddle Mixer of Bulk Materials

M. Yu. Tarshis¹, S. N. Cherpitsky¹, L. V. Korolev², A. B. Kapranova¹

*Departments of Theoretical Mechanics and Resistance of Materials (1),
Applied Mathematics and Computer Engineering (2), mutarshis@yahoo.com;
Yaroslavl State Technical University, Yaroslavl, Russia*

Keywords: drum-paddle mixer; heterogeneity coefficient; options; mixture; bulk materials.

Abstract: The results of experimental studies of a new drum-blade mixer of bulk solids of continuous action are presented. The effects of the basic parameters of the mixer and mixture on the quality of the resulting compositions are established and presented in the form of regression equations. In studies, a non-contact method for determining the quality of the mixture was used.

References

1. Tarshis M.Yu., Cherpitskiy S.N., Korolev L.V., Zaytsev A.I. *Smesitel'* [Mixer], Russian Federation, 2017, Pat. 2626203. (In Russ.)
2. Tarshis M.Yu., Korolev L.V., Zaytsev A.I. *Issledovaniye kachestva sypuchoy smesi. Modelirovaniye. Kriterii. Eksperiment: monografiya* [Investigation of the quality of loose mixes. Modeling. Criteria. Experiment: monograph], Yaroslavl: Izdatel'skiy dom YAGTU, 2015, 116 p. (In Russ.)

3. Tarshis M.Yu., Zaytsev A.I., Korolev L.V. *Sposob opredeleniya kachestva komponentov, razlichayushchikhsya po tsvetu* [The method of determining the quality of components that differ in color], Russian Federation, 2010, Pat. 2385454. (In Russ.)

4. Akhnazarova S.L., Kafarov V.V. *Metody optimizatsii eksperimenta v khimicheskoy tekhnologii* [Methods of optimization of an experiment in chemical technology], Moscow: Vysshaya shkola, 1985, 327 p. (In Russ.)

Experimentelle Untersuchungen des Trommelschaufel-Mischers von Schüttgütern

Zusammenfassung: Es sind die Ergebnisse experimenteller Studien eines neuen Trommelschaufel-Mischers für Schüttgüter mit kontinuierlicher Wirkung vorgestellt. Die Auswirkungen der Grundparameter des Mixers und der Mischung auf die Qualität der erhaltenen Zusammensetzungen sind in Form von Regressionsgleichungen ermittelt und dargestellt. Bei den Forschungen wurde die berührungslose Methode zur Bestimmung der Qualität des Gemisches angewendet.

Recherches expérimentales d'un mélangeur à tambour et à palettes des matériaux en vrac

Résumé: Sont présentés les résultats des études expérimentales d'un nouveau mélangeur à tambour et à palettes des matériaux en vrac à l'action continue. Sont établies et présentées sous la forme d'équations de régression les influences des paramètres de base du mélangeur et du mélange sur la qualité des compositions obtenues. Dans les études, est utilisée une méthode sans contact pour déterminer la qualité du mélange.

Авторы: *Таршис Михаил Юльевич* – доктор технических наук, профессор кафедры «Теоретическая механика и сопротивление материалов»; *Черницкий Сергей Николаевич* – аспирант кафедры «Теоретическая механика и сопротивление материалов»; *Королев Леонид Владимирович* – кандидат технических наук, доцент кафедры «Прикладная математика и вычислительная техника»; *Капанова Анна Борисовна* – доктор физико-математических наук, доцент, заведующий кафедрой «Теоретическая механика и сопротивление материалов»; ФГБОУ ВО «Ярославский государственный технический университет», г. Ярославль, Россия.

Рецензент: *Лебедев Антон Евгеньевич* – доктор технических наук, доцент, профессор кафедры «Технология механического оборудования», ФГБОУ ВО «Ярославский государственный технический университет», г. Ярославль, Россия.