

## ОЦЕНКА КАЧЕСТВА СМЕШИВАНИЯ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ С РАЗЛИЧНЫМ РАЗМЕРОМ ФРАКЦИЙ

Воронин В.В.<sup>1</sup>, Адигамов К.А.<sup>1</sup>, Черкасов Р.И.<sup>1</sup>, Сизякин Р.А.<sup>1</sup>, Гапон Н.В.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ФГБОУ ВПО «Институт сферы обслуживания и предпринимательства (филиал) «Донской государственный технический университет», Шахты, Россия (346500, г. Шахты, ул. Шевченко, 147), e-mail: cherkasov.r.i@gmail.com

---

В данной статье изложен способ компьютерной оценки качества смеси, состоящей из нескольких компонентов сыпучих материалов с различным размером фракций. В качестве критерия оценки качества смеси принят коэффициент равномерности смешивания. Алгоритм для определения этого коэффициента основан на кластеризации K-средних. Его суть состоит в том, что на каждой итерации перевычисляется центр масс для каждого кластера, полученного при предыдущем шаге, затем векторы разбиваются на кластеры вновь в соответствии с тем, какой из новых центров оказался ближе по выбранной метрике. Алгоритм завершается при условии, если границы кластеров перестают изменяться. Коэффициент равномерности смешивания вычисляется для каждого размера фракций. Проверка данного способа доказала возможность его использования для оценки качества смеси, состоящей из нескольких компонентов с различным размером фракций.

---

Ключевые слова: качество смеси, равномерность, смешивание, компоненты, размер фракций, кластер.

## QUALITY ASSESSMENT OF LOOSE MIX MATERIALS WITH DIFFERENT GRAIN SIZE

Voronin V.V.<sup>1</sup>, Adigamov K.A.<sup>1</sup>, Cherkasov R.I.<sup>1</sup>, Sizyakina R.A.<sup>1</sup>, Hapon N.V.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Institute of the service sector and entrepreneurship (branch) DSTU (346500, Rostov reg., Shakhty, Shevchenko Str., 147), e-mail: cherkasov.r.i@gmail.com

---

This article describes a way to assess the quality of the computer of a mixture consisting of several components of bulk materials with different size fractions. As a criterion for assessing the quality of the mixture ratio adopted uniform mixing. The algorithm for determining this coefficient is based on the k-means clustering. Its essence is that at each itoratsii recalculated center of mass for each cluster obtained in the previous step, then the vectors are divided again into clusters in accordance with which of the new centers is nearer the selected metric. The algorithm is completed, provided that the boundaries of clusters stop changing. Mixing uniformity coefficient is calculated for each size fraction. Checking this method has proven the ability to use it to assess the quality of the mixture.

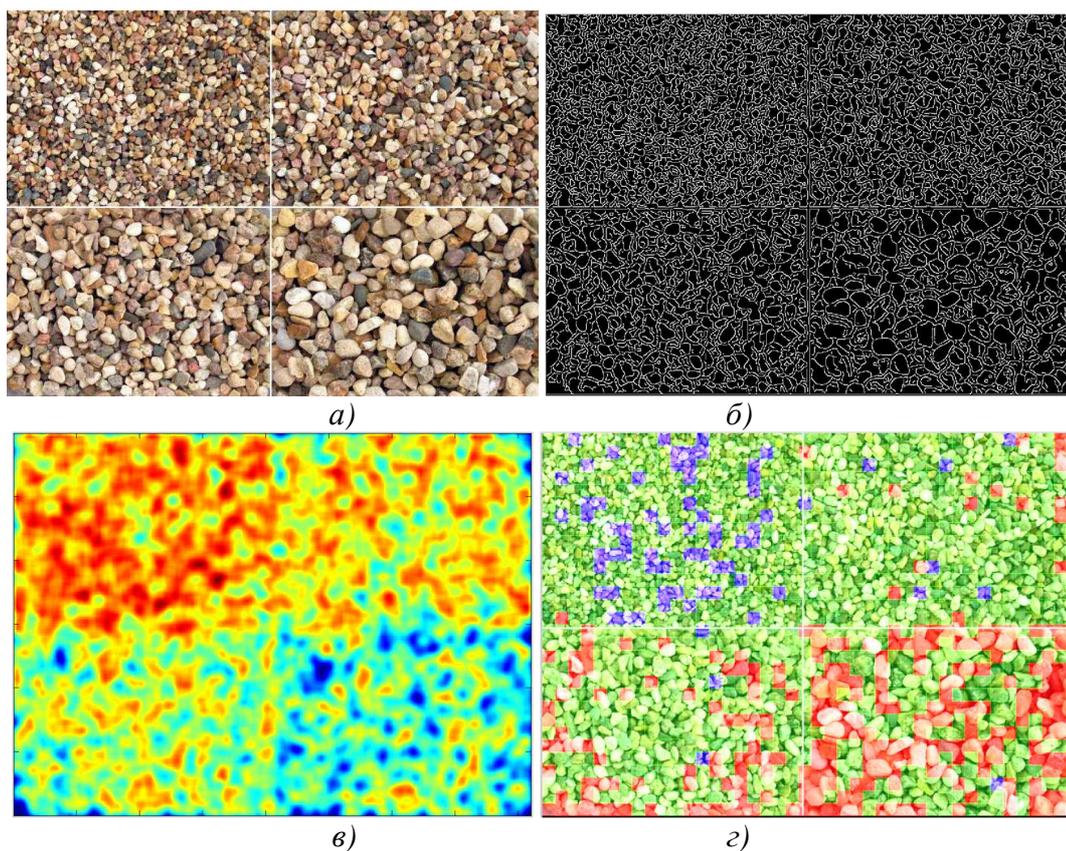
---

Keywords: quality blend uniformity, blending components, grain size, cluster.

Известны различные способы определения однородности смесей, состоящих из разных материалов: ручной разборкой, на ситовом классификаторе, промывкой проб [1], трудоемкость этих способов заставляет исследователей разрабатывать более совершенные методы оценки качества смешивания.

В данной статье, в развитие работы [2], предлагается подход к оценке качества смешивания сыпучих материалов, различающихся по размеру фракций. Оценку качества смеси предлагается производить по коэффициенту равномерности смешивания. Количество размеров фракций, участвующих в смеси материалов, задается априорно. Суть метода заключается в следующем: на первом этапе определяются производные в каждой точке изображения, и в зависимости от перепада яркости каждому пикселю устанавливается в соответствии с этим некоторое значение. Резким перепадам яркости соответствуют большие значения производной (границы объектов), меньшим - квазистационарные участки (области

изображения с незначительными перепадами яркости). После чего оператором Санны маска производных бинаризуется [3]. Далее в скользящем окне для бинарной маски происходит суммирование всех единиц с присваиванием полученного результата центральному пикселю маски  $S$ . Суть данной операции в том, что объектов малого размера в скользящее окно попадет больше, а, следовательно, центральный пиксель в данной области примет большее значение, нежели в области с объектами более крупной фракции. На рисунке 1 представлен пример работы программы по разделению фракций на группы, где синим цветом отмечены более мелкие объекты, зеленым - средние, красным - крупные.



*Рис. 1. Пример работы программы:  
 а) исходное изображение; б) исходное изображение после вычисления границ оператором Санны; в) маска  $M$  сумм границ, помеченных единицей;  
 г) разделение фракций на группы*

На втором этапе для полученной маски откликов  $S$  методом К-средних [4; 5] производится сегментация. Суть метода заключается в том, что на каждой итерации перевычисляется центр масс для каждого кластера, полученного на предыдущем шаге, затем векторы разбиваются на кластеры вновь в соответствии с тем, какой из новых центров оказался ближе по выбранной метрике. Алгоритм завершается при условии, если границы кластеров перестают изменяться.

Алгоритм стремится минимизировать суммарное квадратичное отклонение точек кластеров от центров этих кластеров:

$$\sum_{k=1}^K \sum_{S_{i,j} \in X_k} (S_{i,j} - \mu_k)^2 \rightarrow \min, \quad (1)$$

где  $K$  — число кластеров;  $X_k$  — множество пикселей  $k$ -го кластера;  $\mu_k$  — центр масс векторов  $S_{i,j} \in X_k$ .

В данной операции изображение сегментируется в зависимости от количества кластеров (рис. 2). Если количество кластеров равно двум, то маска после кластеризации будет иметь бинарный вид (рис. 2б), если кластеров более 2, то маска будет иметь в своем составе  $K$  градаций (рис. 2в).

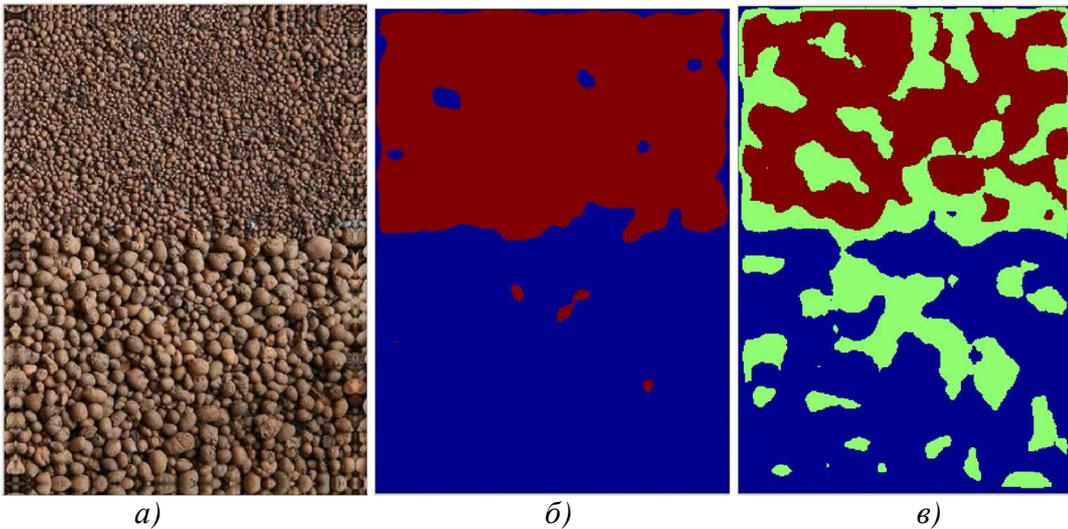


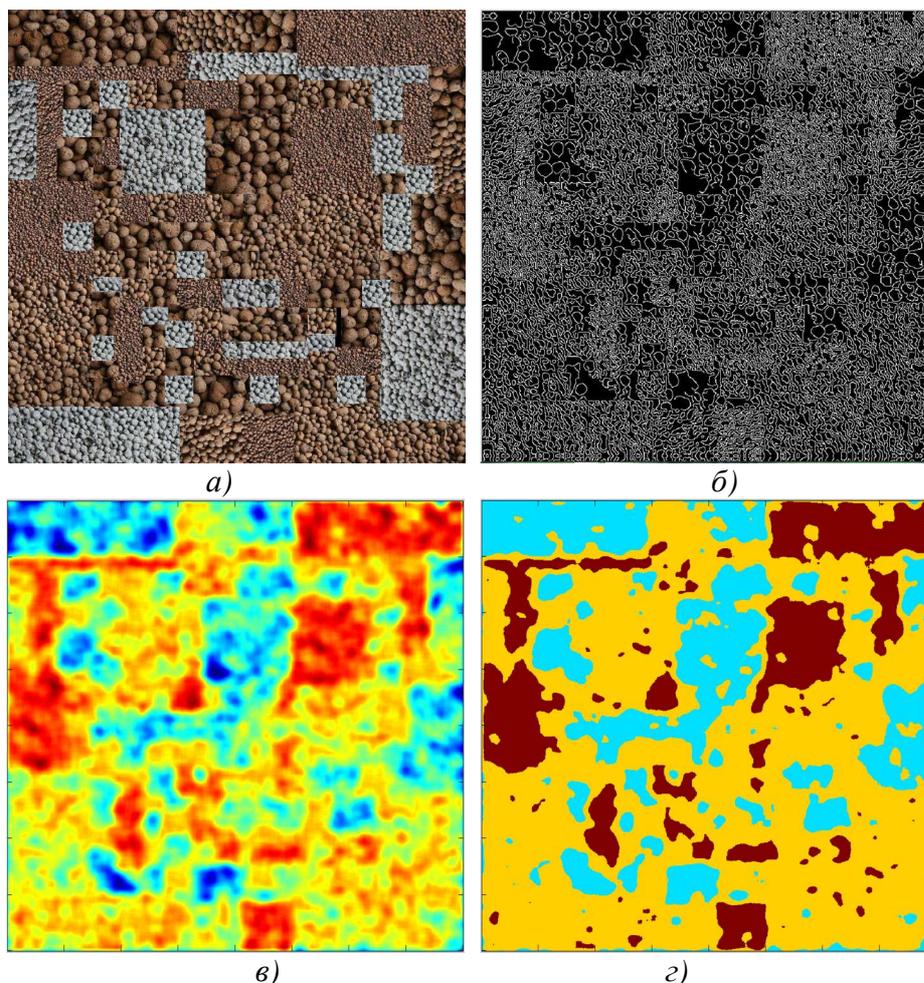
Рис. 2. Пример сегментации:  
 а) исходное изображение; б) сегментация на два кластера;  
 в) сегментация на три кластера

На третьем этапе вычисляется коэффициент равномерности смешивания  $R$  для каждого размера фракций по формуле (вычисления производятся только для пикселей, принадлежащих  $k$ -му кластеру):

$$R = \left( 100\% - \sqrt{\left( \frac{1}{m \cdot n} \cdot \sum_{p=1}^P (Y_p - \overline{Y_p})^2 \right) \cdot 100\%} \right), \quad (2)$$

где  $L = \overline{1, m \cdot n}$  - текущая область вычисления коэффициента равномерности при заданных  $n$  и  $m$ ,  $P = M/m \cdot N/n$  - количество пикселей в области  $L$ ;  $Y_p$  - количество пикселей в области  $L$ , которые принадлежат  $k$ -му кластеру;  $\overline{Y_p}$  - среднее значение пикселей, вычисленное по всем областям  $L$ .

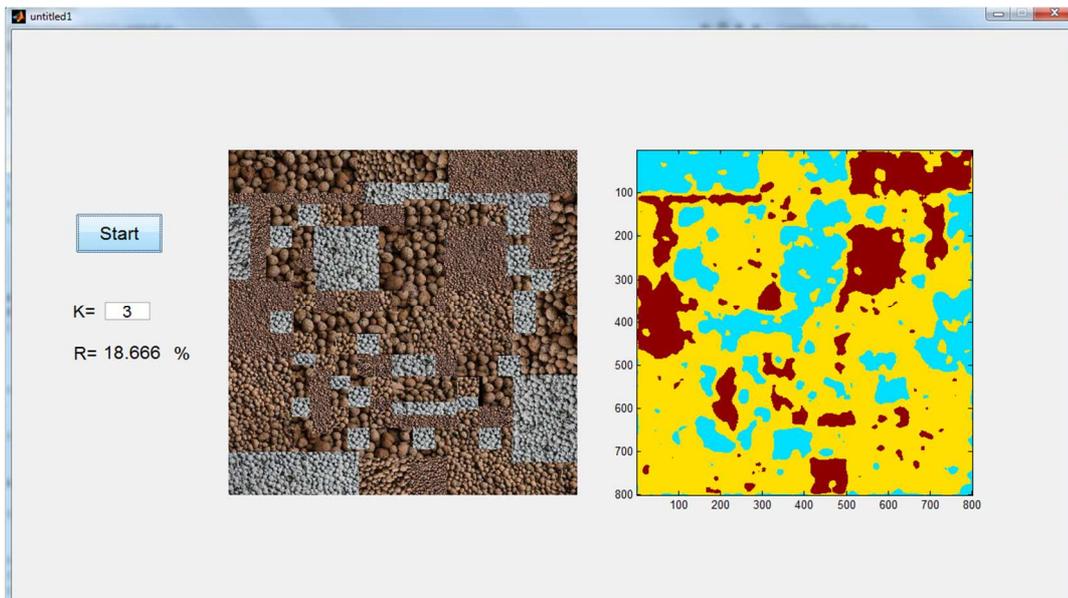
Пример работы алгоритма представлен на рисунке 3. Тестовое изображение получено путем объединений нескольких изображений в одно.



*Рис. 3. Пример работы алгоритма:  
 а) исходное изображение; б) исходное изображение после вычисления границ оператором Canny; в) маска сумм границ, помеченных единицей; г) сегментация на три кластера*

Из данного примера видно, что смесь из крупных и мелких фракций имеет низкое качество смешивания (красный и голубой цвет соответственно), ей соответствует коэффициент равномерности  $R$ , равный 3-4%. Смесь из фракций средней крупности имеет коэффициент равномерности  $R$ , равный 48,9%. Так как смесь трехфракционная, среднее значение коэффициента равномерности  $R$  для всего изображения равно 18,6% .

Для оперативной оценки качества смешивания сыпучих материалов, различающихся по размеру фракций, было разработано соответствующее программное обеспечение в среде MATLAB (рис. 4).



*Рис. 4. Интерфейс программы для оценки качества смешивания сыпучих материалов*

В программе априорно задается параметр  $K$ , который отвечает за количество смесей. Коэффициент  $R$  показывает насколько хорошо произвелось смешивание материалов.

### Список литературы

1. Богданов В.В. Смешивание полимеров / В.В. Богданов, Р.В. Торнер, Э.О. Ререр. - Л. : Химия, 1979. – 499 с.
2. Воронин В.В. Критерии и способы оценки качества смешивания сыпучих материалов / В.В. Воронин, К.А. Адигамов, С.С. Петренко, Р.А. Сизякин // Инженерный вестник Дона. – 2012. - № 4.
3. Canny J. A Computational Approach to Edge Detection // IEEE Transactions on pattern analysis and machine intelligence. – 1986. - Vol. pami-8, no. 6, November.
4. MacQueen J. Some methods for classification and analysis of multivariate observations. In Proc. 5th Berkeley Symp. on Math. Statistics and Probability. – 1967. – P. 281—297.
5. Seber G.A.F. Multivariate Observations. - Wiley, New York, 1984.

### Рецензенты:

Першин В.А., д.т.н., профессор, профессор кафедры «Технические системы ЖКХ и сферы услуг», Институт сферы обслуживания и предпринимательства (филиал) ДГТУ, г. Шахты;  
 Кожемяченко А.В., д.т.н., профессор, профессор кафедры «Технические системы ЖКХ и сферы услуг», Институт сферы обслуживания и предпринимательства (филиал) ДГТУ, г. Шахты.