

## РАЗРАБОТКА ЭКСПРЕСС-МЕТОДА ОПРЕДЕЛЕНИЯ КАЧЕСТВА СМЕСИ КОМПОНЕНТОВ, РАЗЛИЧАЮЩИХСЯ ПО ЦВЕТУ

Д.О. Смолин, О.В. Дёмин, В.Ф. Першин

*Кафедра «Прикладная механика и сопротивление материалов»,  
ФГБОУ ВПО «ТГТУ»; soprm@nnn.tstu.ru*

*Представлена членом редколлегии профессором С.И. Дворецким*

**Ключевые слова и фразы:** гистограммы яркости; смесь сыпучих материалов; цифровое изображение.

**Аннотация:** На основе результатов научно-исследовательской работы предложен экспресс-метод определения качества смеси компонентов, различающихся по цвету. Приведены результаты экспериментальных исследований метода на модельных материалах с различным содержанием исходных компонентов в смеси.

---

Основной целью смещивания является стремление за счет перераспределения первоначальных компонентов достичь их равномерной («идеальной») концентрации в готовой смеси аналогично распределению черных и белых квадратов на шахматной доске. То же самое количество квадратов располагается произвольно в реальной (фактической) смеси. На практике, в современных смесителях, достичь «идеального» расположения частиц не представляется возможным, так как на их движение оказывают влияние множество факторов: методы смещивания, конструктивные и режимные параметры смесителя, физико-механические свойства смеси [1]. Смесители производят смеси, находящиеся в неупорядоченном (фактическом) состоянии. Это состояние характеризуется одинаковой вероятностью нахождения частицы любого компонента в произвольной позиции в смеси, которая равна доле этого компонента в смеси в целом.

В последние годы набирает популярность использование различных методов анализа цифровых изображений, позволяющих определять качество смеси сыпучих материалов [2–5]. Использование цифровых изображений и их обработка вызывает ряд трудностей. Требуется получить совершенно идентичные изображения при абсолютно равных условиях (освещение, размеры изображения, разрешение и прочие). Для точности расчетов необходимо обеспечить отсутствие затемнений и ярких областей света на изображениях, резких «провалов» теней и «вылета» в светах на гистограммах, возникновение зеркальных бликов, что значительно влияет на качество гистограммы яркости и снижает точность расчета коэффициента неоднородности смеси на ее основе. Дополнительные операции прессования и таблетирования, предварительный расчет тарировочных зависимостей, коррекция коэффициента неоднородности и выделение концентрации ключевого компонента на гистограмме различными методами приводит к значительным затратам времени.

Целью научно-исследовательской работы является разработка экспресс-метода определения качества смеси непосредственно после ее приготовления или перед использованием готовой смеси для последующих технологических операций в случаях, когда возможна ее сегрегация, например при транспортировке.

В основе метода лежит сравнение цифровых изображений порций смеси методом гистограмм. В качестве критерия отклонения предложено использовать квазидистанцию пересечений гистограмм Свейна–Балларда [6]

$$S = \left[ 1 - \left( \sum_{j=1}^n \min(x_j, y_j) \right) \middle/ \left( \sum_{j=1}^n x_j \right) \right] 100\%, \quad (1)$$

где  $n$  – количество уровней яркости;  $x_j, y_j$  – количество пикселей  $j$ -го уровня яркости для гистограмм  $x, y$ .

Качество смеси компонентов определяется с использованием коэффициента неоднородности

$$V_c^{1,2} = \frac{100}{S_{tp}} \sqrt{\sum_1^k (S_i - S_{tp})^2 / (k-1)}, \quad (2)$$

где  $k$  – число частей (проб) порции смеси;  $S_i$  – отклонение гистограммы яркости изображения  $i$ -ой части (пробы) порции от гистограммы яркости изображения всей порции смеси;  $S_{tp}$  – требуемое значение отклонения изображений.

Требуемое значение отклонения изображений может задаваться или вычисляться по формуле

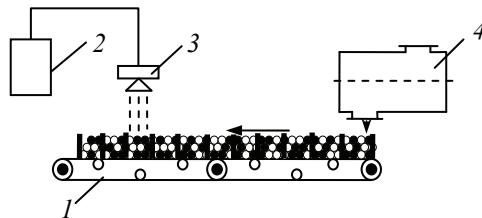
$$S_{tp} = \sum_{i=1}^k S_i / k, \quad (3)$$

Организуют одинаковые условия для получения цифрового изображения поверхностей слоя «эталонной» и исследуемой фактической смесей (размер фотоизображения, высота слоя смеси, освещение и т.д.). По окончании процесса смещивания исследуемую смесь равномерно распределяют на гладкой поверхности и разделяют на определенное число равных порций с учетом используемых условий и требований конкретного производства к минимальному объему партии смеси, что позволяет увеличить точность проведения расчетов за счет исключения влияния краевых зон, искажающих гистограмму изображения поверхности смеси, и случайных колебаний числа компонентов на поверхности наблюдения. Выделяют порцию «эталонной» смеси сыпучих материалов, удовлетворяющую требованиям качества по любому известному критерию и с помощью любого применяемого для конкретного производства способа (гравиметрического, оптического и т.д.) [1], получают черно-белое цифровое изображение поверхности слоя «эталонной» смеси и заносят его в базу данных с помощью специального программного обеспечения. Одновременно получают черно-белое цифровое изображение поверхности слоя фактической смеси в условиях производства и с помощью того же программного обеспечения проводят сравнение его с изображением «эталонной» смеси из базы данных. Программа позволяет разделять сравниваемые изображения на любое одинаковое число частей (ячеек)  $k$  с учетом используемых условий и требований конкретного производства к минимальному размеру анализируемых проб или минимальному объему партии смеси. Происходит построение гистограмм яркости для каждой части с последующим их парным сравнением по формуле (1). Качество смещивания определяется коэффициентом неоднородности  $V_c^1$  по формуле (2). Если невозможно получить «эталонную» смесь, предлагается использовать сравнение гистограмм яркости изображений каждой части (пробы)  $k$  с гистограммой яркости изображения всей порции исследуемой фактической смеси, что позволит оценить равномерность распределения компонентов  $V_c^2$  по формуле (2) непосредственно в порции.

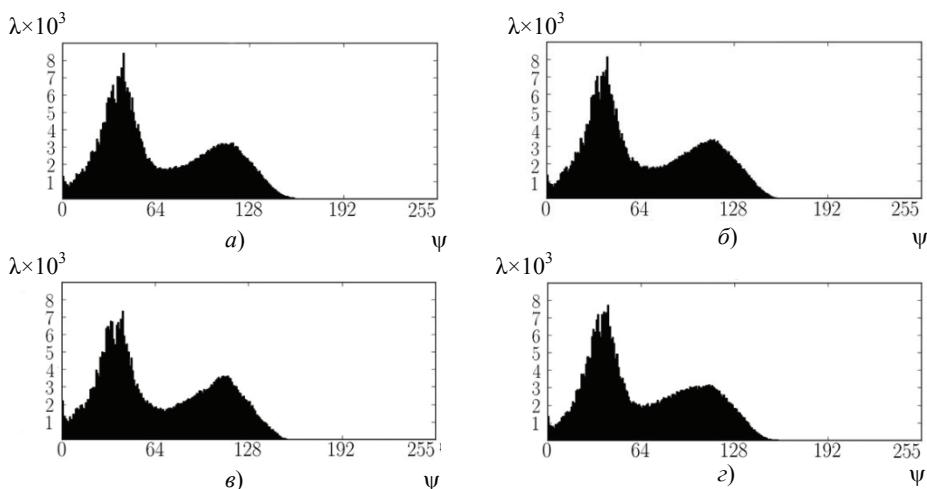
Смешивание исходных компонентов производилось в смесителе 4 (рис. 1). Готовая смесь ровным слоем одинаковой ширины и толщины поступала на ленточный транспортер 1 с разделением на порции равного объема, с которого непрерывно происходил захват изображений с помощью цифрового фотоаппарата 3. Полученные изображения для последующего анализа передавались в ЭВМ 2 и анализировались с помощью специально разработанного программного обеспечения.

Фактическое изображение смеси последовательно разбивалось на несколько  $k$  одинаковых частей ( $k = \overline{2, N}$ , где  $N$  – количество частей, при котором площадь каждой части содержит количество пикселей не меньшее, чем содержит изображение в том же масштабе отдельных компонентов, входящих в смесь). Для каждой части строилась гистограмма яркости (зависимость количества пикселей  $\lambda$  от яркости изображения  $\psi$ , рис. 2), которая анализировалась двумя описанными способами для получения значения коэффициентов неоднородности  $V_c^1$  и  $V_c^2$ . Также для фактической смеси рассчитывался коэффициент неоднородности  $V_c^T$  по традиционной методике [1].

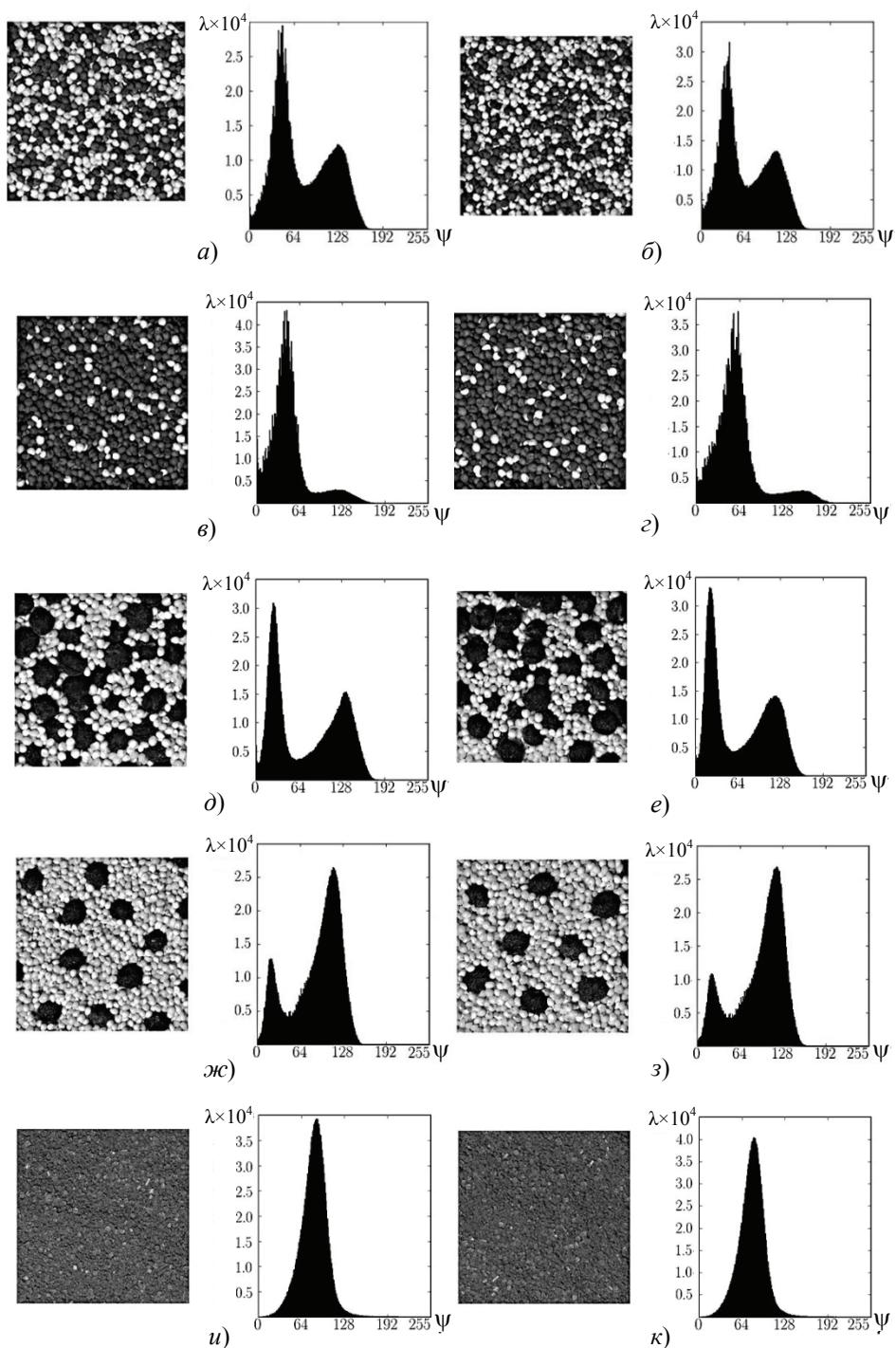
Анализ смесей компонентов, не окрашиваемых и не склонных к сегрегации (рис. 3, а–г) показал, что коэффициент неоднородности  $V_c^1$  наиболее близок к  $V_c^T$  при значениях  $k = 10, \dots, 50$ , а коэффициент неоднородности  $V_c^2$  приближается к  $V_c^T$  при значении  $k = 2, \dots, 10$  (рис. 4, а–б).



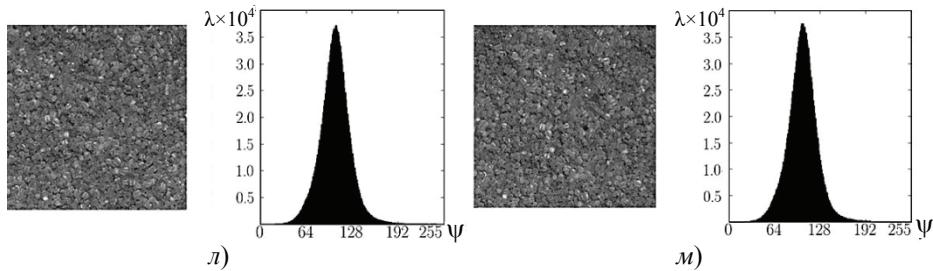
**Рис. 1. Схема лабораторной установки экспресс-метода определения качества смеси компонентов, различающихся по цвету**



**Рис. 2. Гистограммы частей изображения фактической смеси А при  $k = 4$ :**  
а–г – 1–4 части изображения соответственно



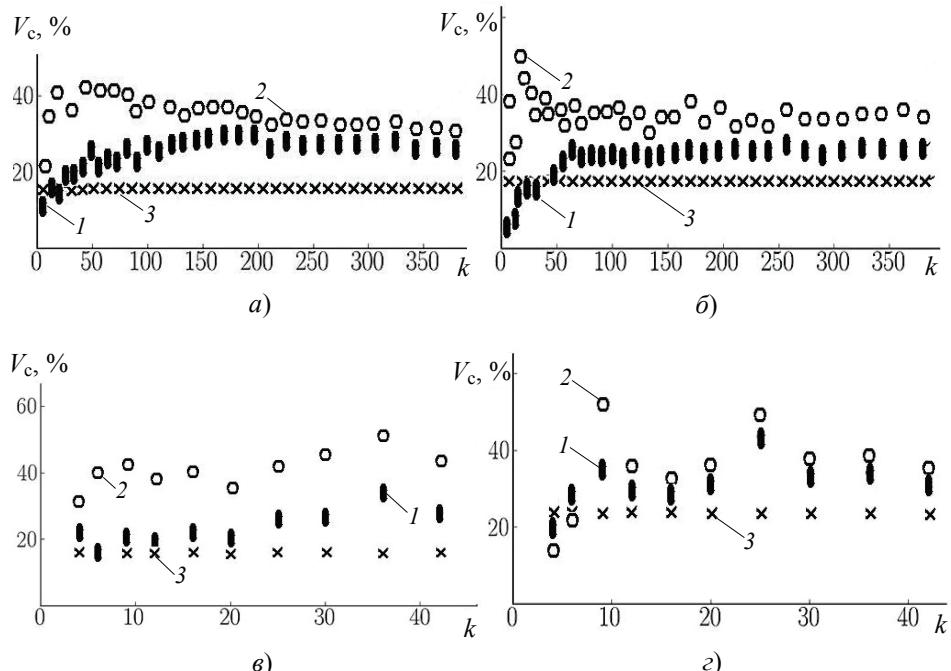
**Рис. 3. Исследуемые смеси (начало):** эталонная (а) и фактическая (б) смеси А пшена 50 % зеленого и 50 % желтого цветов; эталонная (в) и фактическая (г) смеси В пшена 90 % зеленого и 10 % желтого цветов; эталонная (д) и фактическая (е) смеси С 50 % пшена желтого цвета и 50 % гороха коричневого цвета; эталонная (ж) и фактическая (з) смеси D 90 % пшена желтого цвета и 10 % гороха коричневого цвета; эталонная (и) и фактическая (к) смеси E 50 % сахара и 50 % какао-порошка



**Рис. 3. Окончание:** эталонная (l) и фактическая (m) смеси F 10 % сахара и 90 % какао-порошка

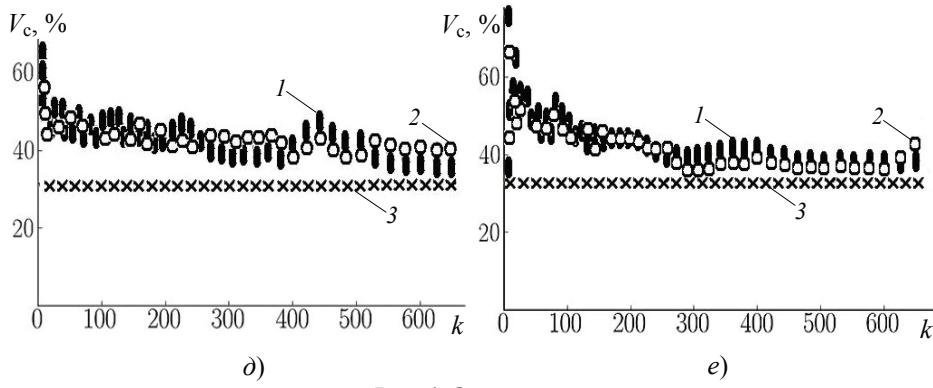
Анализ смесей компонентов, неокрашиваемых и склонных к сегрегации (см. рис. 3,  $\delta$ – $\varepsilon$ ), показал, что коэффициент неоднородности  $V_c^1$  наиболее близок к  $V_c^T$  при  $k = 4, \dots, 12$  при равном соотношении исходных компонентов, при различном соотношении исходных компонентов интервал сужается до  $k = 4, \dots, 8$ , а коэффициент неоднородности  $V_c^2$  приближается к  $V_c^T$  для смесей с любым соотношением исходных компонентов при  $k = 4, \dots, 6$  (рис. 4,  $\delta$ – $\varepsilon$ ).

Анализ смесей из окрашиваемых в процессе смешивания компонентов (см. рис. 3,  $u$ – $m$ ) показал, что коэффициенты неоднородности  $V_c^1$  и  $V_c^2$  наиболее близки к коэффициенту неоднородности  $V_c^T$ , рассчитываемому по традиционной методике, при значении  $k$  близком к  $N$  для смесей с любым соотношением исходных компонентов (см. рис. 4,  $\delta$ – $e$ ).



**Рис. 4. Зависимость коэффициентов неоднородности от количества частей изображения  $k$  для смесей (начало):**

$$a - A; \delta - B; \varepsilon - C; \vartheta - D; 1 - V_c^1; 2 - V_c^2; 3 - V_c^T$$



**Рис. 4. Окончание:**

$$\partial - E; e - F; 1 - V_c^1; 2 - V_c^2; 3 - V_c^T$$

Предложенный экспресс-метод определения качества смеси компонентов, различающихся по цвету, на основе сравнения изображений порций смесей и расчета коэффициентов однородности  $V_c^1$  и  $V_c^2$  с оптимальным числом сравниваемых частей  $k$  применим для смесей не склонных к сегрегации – значение  $V_c^1$  близко к значению  $V_c^T$ , для смесей склонных к сегрегации – значения  $V_c^1$  и  $V_c^2$  близки к значению  $V_c^T$ . Для смесей из окрашиваемых в процессе смешивания исходных компонентов метод показывает стабильные значения коэффициентов неоднородности  $V_c^1$  и  $V_c^2$ , близкие к значению коэффициента неоднородности, рассчитываемому по традиционной методике  $V_c^T$ .

#### *Список литературы*

1. Макаров, Ю.И. Аппараты для смешивания сыпучих материалов / Ю.И. Макаров. – М. : Машиностроение, 1973. – 216 с.
2. Пат. 2343457 Российской Федерации, МПК G 01 N 21/85. Способ определения качества смеси сыпучих материалов / Ткачёв А.Г. [и др.] ; заявитель и патентообладатель Тамб. гос. техн. ун-т. – № 2007115024/28 ; заявл. 20.04.07 ; опубл. 10.01.09, Бюл. № 1. – 5 с.
3. Пат. 2385454 Российской Федерации, МПК G 01 N 1/38, B 01 F 3/18. Способ определения качества смеси компонентов, различающихся по цвету / Таршис М.Ю., Королев Л.В., Зайцев А.И. ; заявитель и патентообладатель Ярослав. гос. техн. ун-т. – № 2008144214/12 ; заявл. 06.11.08 ; опубл. 27.03.10, Бюл. № 9. – 5 с.
4. Пат. 2371698 Российской Федерации, МКП G 01 N 1/28. Способ определения коэффициента неоднородности смеси сыпучих материалов / Лебедев А.Е. [и др.] ; заявитель и патентообладатель Ярослав. гос. техн. ун-т. – № 2008101209/12 ; заявл. 09.01.2008 ; опубл. 27.10.2009, Бюл. № 30. – 4 с.
5. Королев, Л.В. Метод оценки качества смешения сыпучих материалов по распределению частиц в плоском сечении рабочего объема / Л.В. Королев, М.Ю. Таршис // Изв. вузов. Химия и хим. технология. – 2002. – Т. 45, № 1. – С. 98–100.
6. Swain, M.J. Color Indexing / M.J. Swain, D.H. Ballard // International Journal of Computer Vision. – 1991. – Vol. 7, No. 1. – P. 11–32.

# **Developing Rapid Method to Assess the Quality of Mixture Components of a Different Color**

**D.O. Smolin, O.V. Dyomin, V.F. Pershin**

*Department "Applied Mechanics and Strength of Materials", TSTU;  
soprm@nnn.tstu.ru*

**Key words and phrases:** brightness histogram; digital image; mixture of granular materials.

**Abstract:** Based on the results of research work we propose a rapid method to assess the quality of the mixture of components that differ in color. The results of experimental studies of the method on model materials with different content of the original components in the mixture have been presented.

---

## **Erarbeitung der Expressmethode der Bestimmung der Qualität der Mischung der nach der Farbe unterschiedenen Komponenten**

**Zusammenfassung:** Aufgrund der Ergebnisse der Forschungsarbeit ist die Expressmethode der Bestimmung der Qualität der Mischung der Komponenten, die nach der Farbe unterschieden werden, angeboten. Es sind die Ergebnisse der experimentalen Forschungen der Methode auf den Modelmaterialien mit verschiedenem Inhalt der Ausgangskomponenten in der Mischung angeführt.

---

## **Elaboration de l'express-méthode de la définition de la qualité du mélange des composants se différant par la couleur**

**Résumé:** A la base des résultats du travail de recherches scientifiques est proposée une express-méthode de la définition de la qualité du mélange des composants se différant par la couleur. Sont cités les résultats des études expérimentales de la méthode sur les matériaux de modèles avec un contenu différent des composants initiaux dans le mélange.

---

**Авторы:** Смолин Дмитрий Олегович – аспирант кафедры «Прикладная механика и сопротивление материалов»; Дёмин Олег Владимирович – кандидат технических наук, доцент кафедры «Прикладная механика и сопротивление материалов»; Першин Владимир Федорович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Прикладная механика и сопротивление материалов», ФГБОУ ВПО «ТГТУ».

---

**Рецензент:** Борицов Вячеслав Яковлевич – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Техносферная безопасность», ФГБОУ ВПО «ТГТУ».