

Определение степени гомогенизации смесевой композиции на основе оценки энтропии оптолептической информации светочувствительного сканирования поверхности смеси

А.Г.Шумихин, П.Ю.Сокольчик, С.И.Сташков

Пермский национальный исследовательский политехнический университет

Аннотация: В статье рассматривается способ определения степени однородности гетерогенных смесей компонентов инструментальным бесконтактным методом с использованием оптолептической информации о поверхности смеси, который можно реализовать в автоматических системах. Оптолептическая информация может быть получена с помощью стандартных светосканирующих устройств. В основе оценки степени гомогенизации используется величина – энтропия оптолептической информации. Операции смешения компонентов являются распространенными операциями в технологических процессах производства продукции. Одним из показателей качества процессов смешения является степень гомогенизации смеси. Степень гомогенизации обычно определяется лабораторным методом, что требует дополнительного времени на проведение анализа, или органолептически, экспертом. В этом случае результаты зависят от опыта эксперта. В статье рассмотрен пример, характерный для лакокрасочной промышленности. Метод может быть распространен на широкий ассортимент смесевых гетерогенных композиций.

Ключевые слова: смешение, смесевые композиции, гомогенизация, однородность, оперативный контроль, инструментальный оптолептический метод, энтропия информации.

Получение многокомпонентных гетерогенных составов характерно для производств лаков и красок, мастик, бетонов, лекарственных средств, пластмасс и другой продукции [1]. Наиболее характерные технологические операции в таких производствах – измельчение, дозирование, смешение. Менее характерны химические превращения в процессе смешения. В некоторые производства получение гетерогенных многокомпонентных композиций может включаться как одна из стадий [1]. Качество готовой смеси будет характеризоваться как составом (массовым, гранулометрическим и др.), так и степенью гомогенизации массы [2, 3].

От степени гомогенизации будет зависеть равномерность распределения потребительских характеристик по всему объёму продукции, или по различным выпускаемым изделиям и партиям. Однородность может характеризоваться степенью перетирания, однородностью поверхности смеси.

При гомогенизации массы могут осуществляться такие процессы как диспергирование, дозирование других компонентов и др. При малом времени осуществления процесса смешения не достигается требуемого качества гомогенизации [4]. При большем времени происходит перерасход ресурсов (трудовых, энергетических, временных). Таким образом, возникает необходимость объективной оперативной оценки степени однородности состава.

Оценка степени однородности продукта обычно проводится либо органолептическим способом (экспертом), либо лабораторным анализом [5]. В случае проведения оценки однородности экспертом, надёжность оценки зависит от опыта и квалификации эксперта, его состояния, условий проведения оценки и других факторов, одновременно с этим снижается время, затраченное на принятие решения. В случае лабораторного определения степени однородности исключается субъективность решения, вносимая экспертом, а само решение выражается числовым значением, но при этом теряется оперативность, а технологический цикл удлиняется на время отбора и анализа пробы. Целесообразным представляется применение инструментальной поддержки определения однородности смеси непосредственно в производственном цикле. При этом можно учитывать и формализованный опыт эксперта. Так, например, в настоящее время находят широкое распространение средства получения и обработки оптолептической информации. Оптолептическая информация, полученная современным светочувствительным устройством представляет собой, как правило, совокупность информации с трех светочувствительных матриц, настроенных с помощью светофильтров на собственные цвета (чаще всего красный (R), зелёный (G) и синий (B)). Оптолептическая информация, полученная со светочувствительных матриц, представляет собой совокупность математических двумерных матриц числовых (обычно целочисленных)

значений отражающих уровни электрических сигналов, формируемых соответственно на этих светочувствительных матрицах.

Оптолептическая информация может быть представима в виде следующего образа [6, 7, 8]:

$$O_{i,j}^k \in [0, l], \quad l = 1, 2, 3, \dots; i = 1, n; j = 1, m, \quad (1)$$

где $O_{i,j}^k$ - отклик элемента светочувствительной матрицы для k -го цветового слоя; k – количество передаваемых матрицей цветов; i, j – номера элемента соответственно в строке и столбце матрицы; n, m – количество элементов светочувствительной матрицы по высоте и ширине, соответственно; l – количество уровней сигнала, передаваемого каждой ячейкой матрицы. Разрешение прибора определяет количество элементов изображения (точек) на единицу длины. Глубину цветопередачи определяет, сколько дискретных уровней может иметь каждая из координат X_R, X_G и X_B . Разрешение и глубина цветопередачи влияют на объём оптолептической информации.

Простота и оперативность получения образа поверхности даёт при принятии решений в производстве преимущество такого способа анализа показателей качества, определяемых видом поверхности, перед лабораторными и экспертными заключениями. Это справедливо и для степени однородности гетерогенной смеси. Обработка оптолептической информации и выработка решений на её основе представляет собой сложную вычислительную задачу. Для определения однородности можно вычислять, например, координаты границ зёрен, их взаиморасположение. В вычислительном плане это достаточно трудоёмкая операция, что снижает скорость принятия решения. В некоторых случаях в обработке оптолептической информации участвует эксперт, который на основе построенных по оптолептическому образу распределений, пользуясь собственным опытом, принимает решение о достижении однородности

смеси. В этом случае присутствуют все недостатки экспертного решения, хотя работа эксперта и упрощается.

Для операций смешения и диспергирования гетерогенных смесей оценку неоднородности состава можно получить, количественно оценивая степень хаотичности информации по изображению поверхности смеси, получаемой с помощью светочувствительного сканирования. Это позволяет при сохранении простоты и оперативности получения информации о виде поверхности с использованием светочувствительной матрицы значительно упростить обработку информации, уменьшить объём вычислений и, следовательно, применить этот способ анализа при оперативном управлении производством.

Зависимость энтропии оптолептической информации от степени гомогенизации смеси подтверждено экспериментально. Для нескольких образцов лакокрасочной продукции (пластина с нанесённой краской), взятых при разной степени гомогенизации, сняты оптолептические образы. Образцы получены для одного и того же состава смеси, взятой через одинаковые промежутки времени из смесителя в различные моменты времени.

Обработка результатов светочувствительного сканирования проводится с использованием понятия энтропии информации [6], определяемой выражением

$$H_{\text{нат}} = \ln M, \quad (2)$$

где $H_{\text{нат}}$ – энтропия информации системы в натуральных единицах (натах); M – количество значений, которые может принять случайная величина ξ – состояние одной точки образа, или выражением

$$H_{\text{бит}} = \frac{1}{\ln 2} \cdot \ln M = \log_2 M, \quad (3)$$

где $H_{\text{бит}}$ – энтропия информационной системы в бинарных (двоичных) единицах (битах).

Для практических целей удобнее использовать следующее выражение для энтропии:

$$H_{\text{нат}} = -\ln P(\xi), \quad (4)$$

где $P(\xi)$ – вероятность события ξ .

Так как образ поверхности смеси должен характеризоваться не одной точкой, а некоторым массивом точек на плоскости образа O , то энтропию информационной системы целесообразнее выразить следующим образом:

$$H_{\text{нат}} = -\sum_{i=1}^k p_i \cdot \log_2 p_i, \quad (5)$$

где k – количество уровней состояния системы; p_i – вероятность появления i -го состояния системы.

Выражение (5) в битах принимает вид

$$H_{\text{бит}} = -1,44 \cdot \sum_{i=1}^k p_i \cdot \log_2 p_i. \quad (6)$$

Для определения энтропии информации о поверхности смеси необходимы численные значения состояния N точек поверхности, сформированные в массив.

Имея множество N точек, можно построить дискретный закон распределения вероятностей состояний $P(\xi_i)$, где ξ_i – i -е состояние информации о поверхности

$$p_i(\xi) = \frac{N_i^*}{N}, \quad (7)$$

где N_i^* – количество точек с одинаковым цветом.

Для каждой составляющей R , G и B рассчитывается энтропия H_R , H_G и H_B , затем вычисляется их сумма:

$$H = H_R + H_B + H_G. \quad (8)$$

По формуле (5) были вычислены значения энтропии оптолептической информации образцов различных составов, взятых в разные моменты времени для нескольких составов, представленные на рис. 1.

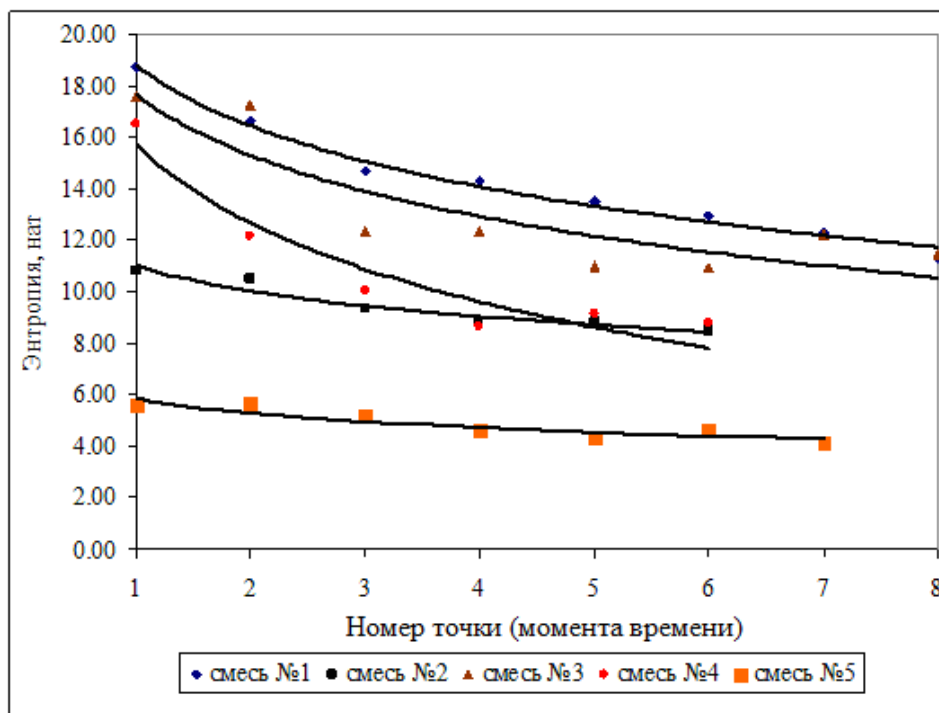


Рис. 1 - Зависимость энтропии оптолептической информации от степени времени перемешивания

Для каждой исследуемой смеси с увеличением времени перемешивания значение энтропии оптолептической информации асимптотически уменьшается и затем остается на постоянном уровне.

Для определения вида зависимости между оценкой энтропии информации о поверхности смеси от степени перемешивания, выраженной количеством оборотов, сделанной мешалкой смесителя, для каждого состава была произведена аппроксимация экспериментальных данных о значении энтропии рядом функций. Аппроксимационной зависимости вида

$$F(n) = \frac{a_1}{\exp(n \cdot a_2)} + a_3 \quad (9)$$

соответствует наибольшее значение статистики Фишера (дисперсионного отношения).

Для параметризации этой зависимости минимизировалась функция

$$R(a_1, a_2, a_3) = \sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^m (F(n_i, a_1, a_2, a_3) - H_{ij}^*)^2 \rightarrow \min, \quad (10)$$

где n – количество оборотов мешалки; a_1, a_2, a_3 – параметры функции $F(n)$; H_i^* – экспериментальные значения энтропии для i -ой точки отбора пробы, соответствующей i -му количеству оборотов мешалки; i – номер точки отбора пробы $i = 1 \dots p$; p – количество точек отбора пробы; j – номер образца в каждой точке отбора $i = 1 \dots m$, где m – количество образцов (параллельных опытов) в каждой точке отбора.

Значение m принято равным 5, т. е. для каждого состава смеси проводилось 5 параллельных опытов для каждого количества оборотов, сделанных мешалкой, с отбором образцов.

Пример результатов аппроксимации зависимостью вида (9) приведены в таблице 1.

Таблица 1

Коэффициенты a_1, a_2, a_3 для различных составов

Коэффициент	Состав				
	1	2	3	4	5
a_1	9,005	4,842	10,369	12,336	4,285
a_2	0,075	0,114	0,074	0,108	0,116
a_3	12,039	8,748	10,325	9,182	4,519

Адекватность полученных зависимостей оценивалась по критерию Фишера, для которого значение дисперсионного отношения выборочной и остаточной дисперсий $S_{обц}^2 \{H\} / S_{ост}^2$ составляло не менее 10.

Так как значение энтропии для различных партий продукции будет отличаться, в качестве оценки изменения энтропии в текущий момент времени i берется приведенная энтропия:

$$H_i^* = \frac{H_i - H_{i-1}}{H_0}, \quad (11)$$

где H_i – энтропия информации с образца в текущий момент измерения; H_0 – энтропия информации образца в нулевой момент измерения (для негомогенизированной смеси).

На рис. 1, *а* приведён пример зависимости энтропии информации от степени гомогенизации, определяемой количеством оборотов, сделанных мешалкой, а на рис 1, *б* – нормированных значений этой же энтропии.

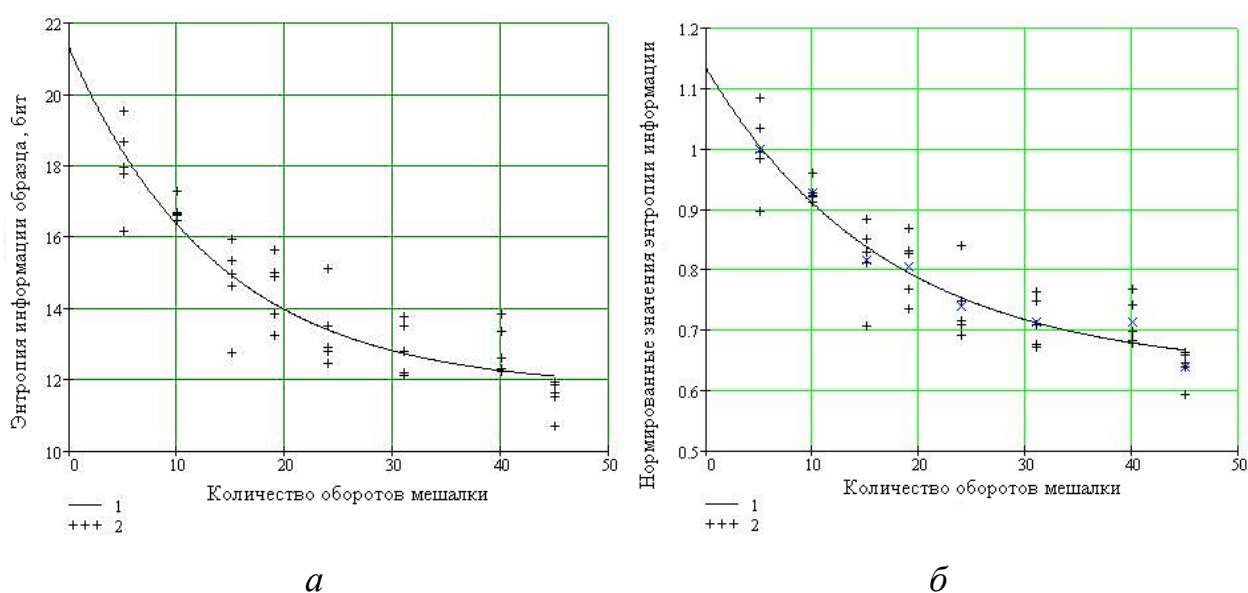


Рис. 1. - Зависимость энтропии информации от числа оборотов мешалки: 1 – аппроксимирующая кривая; 2 – экспериментальные значения в параллельных опытах

Блок-схема алгоритма определения окончания перемешивания композиции представлена на рис. 2 и включает следующие шаги [9, 10, 11]:

1. Снимается образ поверхности смеси в растрово-цифровой форме и формируются матрицы отображения цветовых составляющих CR , CG , CB .

2. Подсчитывается количество точек с одинаковым состоянием интенсивности и строятся эмпирические законы распределения $P_R(x)$, $P_G(x)$, $P_B(x)$.

3. Определяется значение энтропии оптолептической информации.

4. Если приготовление смеси только началось, то значение энтропии информации запоминается как H_0 . Для последующих измерений определяется $H_i^* = H_i / H_0$.

5. Шаги 1-3 повторяются до тех пор, пока не выполнится условие $H_i^* \leq H_{\text{допустимое}}^*$, что свидетельствует о необходимости прекращения гомогенизации. Т.е. гомогенизация прекращается, если изменение энтропии на нескольких последних шагах становится меньше заданного значения.

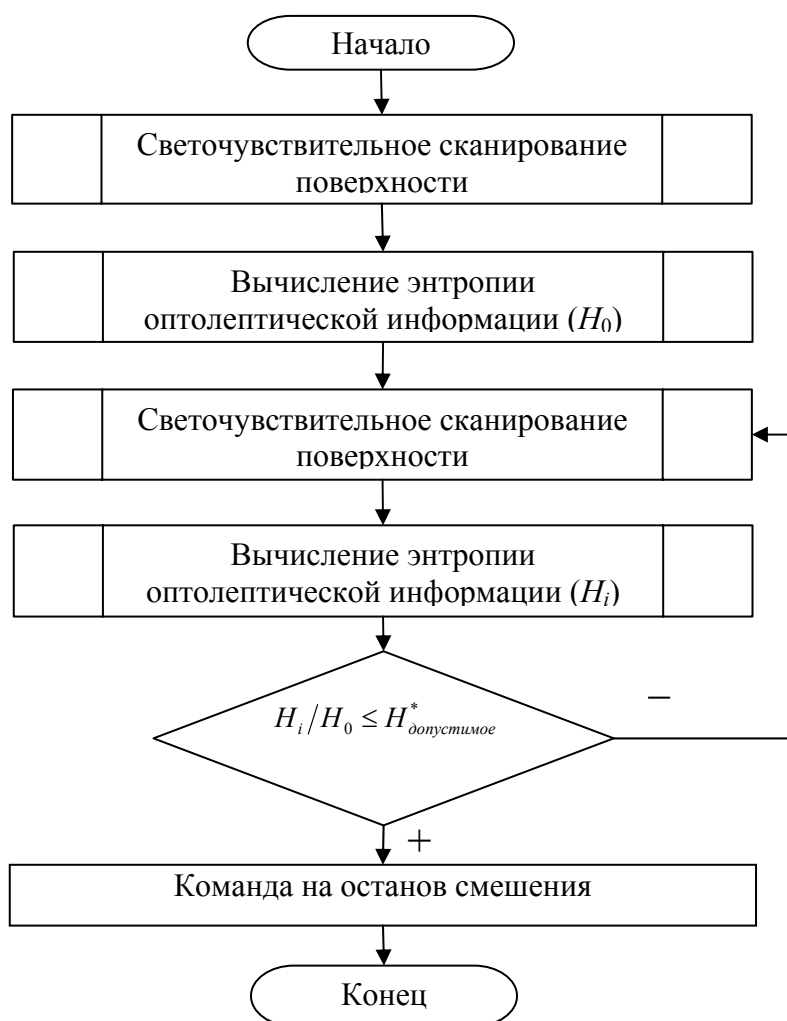


Рис. 2. – Блок-схема алгоритма принятия решения о достижении однородности смеси

Рассмотренные метод и алгоритм можно применять к разным производствам, выпускающим смесевые гетерогенные композиции в которых компоненты рецептуры имеют различные оптические показатели в

отраженном свете, а одним из оцениваемых показателей качества готового продукта или полуфабриката является степень однородности.

Литература

1. Гельфанд Я. Е., Яковис Л. М., Дороганич С. К. и др.; под ред. Я. Е. Гельфанда Управление химико-технологическими процессами приготовления многокомпонентных смесей. Л.: Химия, 1988. 288 с.
2. Moussaceb K., Merabet D. Homogenization and Management of Cement Quality from Raw Materials to the Finished Product Using a Numerical Method of Mixture Calculation // Arabian Journal for Science and Engineering. 2012. pp. 41-57.
3. Merabet D., Moussaceb K., Arkoub H., Haddad S., Benabdeslam N. Homogenization and calculation of mixtures of the materials for cements // Annales de Chimie: Science des Materiaux. 2005. С. 193-206.
4. Смирнова П. В. Влияние продолжительности перемешивания на параметры воздухововлечения при изготовлении бетонных смесей // Инженерный вестник Дона, 2008, №3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2008/89
5. Кравченко Е. И., Петров В. В., Варезников А. С. Разработка методики распознавания образцов газовых смесей с помощью мультисенсорной системы мониторинга // Инженерный вестник Дона, 2012, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4p2y2012/1346
6. Захлебин А. А., Сокольчик П. Ю., Шумихин А. Г. Определение степени однородности гетерогенных смесей по оптолептической информации об их поверхности // Научные исследования и инновации. 2008. Т. 2, №2. С. 130-135.
7. Шумихин А. Г., Сокольчик П. Ю., Сташков С. И. Оперативный контроль качества в процессах приготовления многокомпонентных смесей на

основе оптолептической информации об их поверхности // Актуальные проблемы науки и техники. Уфа: УГНТУ, 2014, Т.1. С. 200-201.

8. Шумихин А. Г., Сокольчик П. Ю., Сташков С. И., Поповцева Л. Е. Способ и алгоритмы оперативного контроля и управления качеством в процессах приготовления многокомпонентных смесей // Труды XII международной конференции «Актуальные проблемы электронного приборостроения». Новосибирск, 2014, Т.2. С. 150-156.

9. Шумихин А. Г., Сокольчик П. Ю., Сташков С. И. Способ определения степени гомогенизации гетерогенных смесей по оптолептической информации об их поверхности. Патент РФ на изобретение № 2489705, опубл. 10.08.2013.

10. Шумихин А. Г., Сокольчик П. Ю., Сташков С. И., Малимон М. В. Способ определения качества гомогенизации гетерогенных смесей. Патент РФ на изобретение № 2544290, опубл. 20.03.2015.

11. Шумихин А. Г., Сокольчик П. Ю., Сташков С. И. Способ определения степени гомогенизации многокомпонентных гетерогенных смесей. Патент РФ на изобретение № 2564455, опубл. 10.10.2015.

References

1. Gel'fand Ja. E., Jakovis L. M., Doroganich S. K. Upravlenie himiko-tehnologicheskimi processami prigotovlenija mnogokomponentnyh smesej [Chemical process control of multi-component mixtures preparation]. L.: Himija, 1988. 288 p.

2. Moussaceb K., Merabet D. Arabian Journal for Science and Engineering. 2012. pp. 41-57.

3. Merabet D., Moussaceb K., Arkoub H., Haddad S., Benabdeslam N. Annales de Chimie: Science des Materiaux. 2005. pp. 193-206.

4. Smirnova P. V. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2008, №3. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/ archive/n3y2008/89](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2008/89).



5. Kravchenko E. I., Petrov V. V., Varezchnikov A. S. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2012, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4p2y2012/1346

6. Zahlebin A. A., Sokol'chik P. Ju., Shumihin A. G. Nauchnye issledovanija i innovacii. 2008, T.2, №2. pp. 130-135.

7. Shumihin A. G., Sokol'chik P. Ju., Stashkov S. I. Aktual'nye problemy nauki i tehniki. Ufa: UGNTU, 2014, T.1. pp. 200-201.

8. Shumihin A. G., Sokol'chik P. Ju., Stashkov S. I., Popovceva L. E. Trudy XII mezhdunarodnoj konferencii «Aktual'nye problemy jelektronnogo priborostroenija». Novosibirsk, 2014, T.2. pp. 150-156.

9. Shumihin A. G., Sokol'chik P. Ju., Stashkov S. I. Sposob opredelenija stepeni gomogenizacii geterogennyh smesej po optolepticheskoj informacii ob ih poverhnosti [Method of determining degree of homogenization of heterogeneus mixtures based on visual information on surface thereof]. Patent №2489705 from 10.08.2013 (in Russian).

10. Shumihin A. G., Sokol'chik P. Ju., Stashkov S. I., Malimon M. V. Sposob opredelenija kachestva gomogenizacii geterogennyh smesej [Method for evaluating quality of homonisation of heterogenous mixtures]. Patent №2544290 from 20.03.2015 (in Russian).

11. Shumihin A. G., Sokol'chik P. Ju., Stashkov S. I. Sposob opredelenija stepeni gomogenizacii mnogokomponentnyh geterogennyh smesej [Method of determing degree of homogenisation of multicomponent heterogeneous mixtures]. Patent №2564455 from 10.10.2015 (in Russian).