

## ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ГОТОВОГО ПРОДУКТА ПРИ СУШКЕ ЖИДКИХ ДИСПЕРСНЫХ ВЕЩЕСТВ

Ю.В. Пахомова, В.И. Коновалов

*ГОУ ВПО «Тамбовский государственный технический университет», г. Тамбов*

*Рецензент д-р техн. наук, профессор Н.Ц. Гапанова*

**Ключевые слова и фразы:** алгоритм; качество продукта; поверхность; послеспиртовая барда; сушка; цвет.

**Аннотация:** Описана взаимосвязь качества высушиваемого жидкого дисперсного продукта и цвета его поверхности. Приведен алгоритм оценки качества высушиваемого жидкого дисперсного продукта, изменяющего цвета поверхности в процессе сушки. Представлена шкала оценки качества высушенного продукта на примере высушенной послеспиртовой барды.

У многих высушиваемых продуктов в процессе обезвоживания формируются на поверхности определенные структуры: пленки, корки и т.п. [1]. При этом в процессе сушки эти структуры могут менять цвет. Изменение цвета поверхности, как правило, связано с определенными физико-химическими изменениями (химические реакции, термодеструкция, усадка, коробление, образование трещин) на поверхности или в толще материала. Если рассматривать сушку жидких продуктов, то изменение цвета поверхности связано также с изменением формы и размеров элементов высушиваемого продукта [2–11]. Нами проводились исследования сушки жидкой послеспиртовой барды в виде капель, нанесенных на твердую диффузионно-непроницаемую подложку [1]. Оценка качества готового продукта натуральными показателями (химический состав, биохимические, питательные, реологические и прочие свойства) обычно весьма трудоемка. Для экспрессной оценки часто используется изменение цветовых показателей (см., напр., [12,13]).

В процессе сушки барды помимо изменения формы и толщины капли, связанных с постоянным уменьшением веса капли, наблюдается явление образования на поверхности тонкой пленки, в дальнейшем приводящее к

---

Пахомова Юлия Владимировна – аспирант кафедры «Технологические процессы и аппараты»; Коновалов Виктор Иванович – доктор технических наук, профессор кафедры «Технологические процессы и аппараты», e-mail: kvipri@ce.tstu.ru, ТамбГТУ, г. Тамбов.

формированию твердой структуры по всему объему высушиваемого материала – корки.

Сформировавшаяся корка в процессе высыхания капли меняет цвет и твердость. При этом, в зависимости от режима сушки, свойства и характер корки по толщине существенно различаются. Толщина высушиваемой капли при этом меняется и уменьшается в течение процесса до определенного значения.

Характерной особенностью процесса сушки капли жидкой после-спиртовой барды на твердой подложке является изменение цвета поверхности высыхающей капли.

Определение характеристик цвета несветящихся тел может проводиться различными способами, в том числе:

- 1) расчетным путем по кривым спектрального отражения или пропускания света;
- 2) с помощью колориметрических приборов;
- 3) с использованием атласов цветов.

Наиболее простым и в то же время достаточно эффективным способом является использование атласа цветов. Атлас цветов представляет собой набор цветовых образцов, расположенных по определенной системе, в котором каждый образец обозначен тремя величинами, характеризующими его цвет.

Первые атласы цветов появились в то время, когда еще не существовало Международной колориметрической системы и цветоизмерительных приборов, поэтому они выполняли роль визуального цветоизмерительного инструмента.

Методика характеристики цвета с помощью атласа очень проста. Она состоит в том, что непосредственным визуальным сравнением цвета измеряемого образца с образцами атласа наблюдатель устанавливает ближайший по цвету образец или указывает «вилку» соседних цветов и, используя обозначения цветов в атласе, характеризует измеряемый цвет.

В связи с простотой метода атласы цветов не потеряли своего значения до настоящего времени.

Для характеристики цвета мы использовали полные колористические таблицы RAL с использованием компьютеризованного атласа RAL C1 DIGITAL 4.0 [14].

Особенностью идентификации цвета высыхающей барды является неоднородность окрашенной поверхности, обусловленная наличием как мелкодисперсных, так и крупнодисперсных частиц, которые в процессе формирования пленки и корки высыхают с разной скоростью и соответственно приобретают свой цвет (например, при сушке капли барды на подложке при температуре 60 °С на поверхности остатка могут наблюдаться сильно различающиеся по цвету отдельные частицы). Поэтому для анализа цвета использовался применяемый в программе RAL C1 DIGITAL 4.0 интегральный захват, размер которого можно настраивать в зависимости от размера исследуемого образца.

На всех исследуемых нами режимах сушки цвет высыхающей капли менялся от зеленовато-бежевого (по классификации RAL 1000 Grunbeige)

при самых мягких режимах сушки до черно-коричневого (по классификации RAL 8022 Schwarzbraun) при жестких режимах сушки.

При этом наблюдались следующие особенности. Длительный нагрев сухого остатка на поверхности подложки при температуре сушильного агента менее 80 °С не приводит к изменению сформировавшегося цвета поверхности сухого остатка. Однако длительный нагрев сухого остатка на поверхности подложки при температуре сушильного агента более 80 °С (особенно ярко выражено при температурах более 120 °С) приводит к изменению цвета поверхности – она темнеет. Это указывает на термическое разложение сухой барды (предположительно сахаров) под действием температуры.

Таким образом, длительная выдержка (нахождение в зоне сушки) высушенного материала в сушилке должна быть исключена, так как это ведет к получению продукта ненадлежащего качества.

Результаты идентификации цветов с использованием компьютеризованного атласа RAL C1 DIGITAL 4.0 представлены в таблице.

Анализ данных, полученных в таблице, показывает, что до температуры 90–100 °С твердая фаза не претерпевает существенных разрушений (так как базовый цвет не меняется, а изменение цвета идет по одной линейке за счет изменения яркости и контраста). Увеличение температуры выше 100 °С приводит к значительному изменению цвета поверхности (изменился базовый цвет), что указывает на наличие существенных разрушений, происходящих в структурах на поверхности высушенной капли.

Изменение цвета поверхности связано со следующими явлениями:

1) загустение (то есть увеличение концентрации твердой фазы) поверхности, в связи с миграцией к поверхности раздела фаз мелкодисперсных частиц твердой фазы и образования в результате определенной упорядоченной структуры на поверхности;

2) термодеструкция твердой фазы в процессе высушивания.

#### **Идентификация цвета поверхности высушенной послеспиртовой барды при выбранных температурных режимах**

Температура, °С	Цвет
60	RAL 1000 Grunbeige (зеленовато-бежевый)
70	RAL 1027 Currygelb (имбирно-желтый)
80	RAL 1036 Pergold (золотистый)
90	RAL 8000 Grunbroun (зеленовато-коричневый)
100	RAL 8007 Rehbraun (рыжеватый)
120	RAL 8015 Kastanienbraun (каштановый)
140	RAL 8011 Nubbraun (орехово-коричневый)
160	RAL 8017 Schokoladenbraun (шоколадно-коричневый)
180	RAL 8022 Schwarzbraun (черно-коричневый)

Исследования срезов высушиваемой капли в различные моменты времени сушки (когда срез в процессе сушки имеет различный цвет: от темного на поверхности до светлого к подложке) позволяют сделать предположение о росте толщины корки и углублении зоны испарения. Это предположение косвенно доказывается тем, что только что высушенная капля в горячем состоянии имеет определенную пластичность, однако, при охлаждении остаток капли быстро твердеет и становится хрупким.

*Алгоритм прогноза качества высушенного продукта.*

1. Для заданного режима сушки, рассчитать толщину полученной корки.

2. Совместно со знанием общего и текущего времени сушки и количеством нанесенной на подложку жидкости анализировать качество полученного продукта (в заданный момент времени) следующим образом:

а) текущее время сушки меньше общего времени сушки, рассчитанная толщина корки меньше толщины остатка – капля не досохла;

б) текущее время сушки меньше общего времени сушки, рассчитанная толщина корки примерно равна толщине остатка – капля практически досохла, качество удовлетворительное;

в) текущее время сушки примерно равно общему времени сушки, рассчитанная толщина корки примерно равна толщине остатка – капля сухая, качество хорошее;

г) текущее время сушки больше общего времени сушки, рассчитанная толщина корки примерно равна толщине остатка – капля пересохла, качество удовлетворительное, стремящееся к неудовлетворительному. В этом случае вывод о качестве необходимо уточнить в зависимости от длительности процесса и цвета поверхности. Если цвет темнее шоколадно-коричневого (RAL 8017 Schokoladenbraun), то качество неудовлетворительное. Капля «сгорела».

Соответственно можно косвенно оценить качество высушенной послеспиртовой барды по цвету высушенного продукта. Исходя из определения цвета и анализа качества сухой барды, можно предложить следующую **шкалу оценки качества сухого продукта** (рисунок).

Недосохла		Оптимальное		хуже →					
RAL 1000 Grünbeige (зеленовато-бежевый)	RAL 1027 Currygelb (имбирно-желтый)	RAL 1036 Pergold (золотистый)	RAL 8000 Grünbroun (зеленовато-коричневый)	RAL 8007 Rehbroun (рыжеватый)	RAL 8015 Kastanienbraun (каштановый)	RAL 8011 Nubbraun (орехово-коричневый)	RAL 8017 Schokoladenbraun (шоколадно-коричневый)	RAL 8022 Schwarzbroun (черно-коричневый)	
				← лучше		Пересохла		Сгорела	

**Шкала цветовой оценки качества высушенной послеспиртовой барды**

### Список литературы

1. Пахомова, Ю.В. Особенности механизма и кинетики сушки капель дисперсий (на примере сушки послеспиртовой барды) / Ю.В. Пахомова, В.И. Коновалов, А.Н. Пахомов // Вест. Тамб. гос. техн. ун-та. – 2011. – Т. 17, № 1. – С. 70–82.
2. Лыков, А.В. Теория сушки / А.В. Лыков. – 2-е изд. – М. : Энергия, 1968. – 472 с. (1-е изд. 1950 г., 416 с.).
3. Сажин, Б.С. Научные основы техники сушки / Б.С. Сажин, В.Б. Сажин. – М. : Наука, 1997. – 448 с.
4. Фролов, В.Ф. Моделирование сушки дисперсных материалов / В.Ф. Фролов. – Л. : Химия, 1987. – 208 с.
5. Муштаев, В.И. Сушка дисперсных материалов / В.И. Муштаев, В.М. Ульянов. – М. : Химия, 1988. – 352 с.
6. Гагапова, Н.Ц. Кинетика и моделирование процессов сушки растворителей, покрытий, дисперсий, растворов и волокнистых материалов: единый подход : дис. ... д-ра техн. наук : 05.17.08 : защищена 10.06.2005 / Гагапова Наталия Цибиковна. – Тамбов, 2005. – 554 с.
7. Пахомов, А.Н. Кинетика сушки дисперсий на твердых подложках : дис. ... канд. техн. наук : 05.17.08 : защищена 16.03.2001 / Пахомов Андрей Николаевич. – Тамбов, 2000. – 225 с.
8. Konovalov, V.I. Guest Editorial. Drying R&D Needs: Basic Research in Drying of Capillary-Porous Materials / V.I. Konovalov // Drying Technology – an Intern. Journal. – 2005. – Vol. 23, No. 12. – P. 2307–2311.
9. Konovalov, V.I. Some Generalized and Particular Issues on Modeling of Complex Drying Processes Based on Temperature-Moisture Relationships / V.I. Konovalov, T. Kudra, N.Z. Gatapova // 17<sup>th</sup> Intern. Drying Symposium (IDS-2010). – Magdeburg, Germany, 3–6 October 2010. – In 3 Parts : 1. General Statements. – Vol. A. – P. 478–485 ; 2. Specific Targets. Thermally-Thin Bodies. – Vol. A. – P. 248–256 ; 3. Specific Targets. Drying With Essential Temperature Kinetics. – Vol. B. – P. 786–794.
10. Гагапова, Н.Ц. Единый подход к кинетике и моделированию сушки растворителей, покрытий, жидких дисперсий, кристаллообразующих растворов и волокнистых материалов / Н.Ц. Гагапова, В.И. Коновалов. – Тамбов : Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2004. – (Препринт Вест. Тамб. гос. техн. ун-та / Тамбов. Гос. техн. ун-т. – Препринт № 09. Рубрика 02. – 2004. – Т. 10, № 1. – 64 с.).
11. Konovalov, V.I. Drying of Liquid Dispersions – a Unified Approach to Kinetics and Modeling / V.I. Konovalov, N.Z. Gatapova, T. Kudra // Drying Technology – an Intern. Journal. – 2003. – Vol. 21, No. 6. – P. 1029–1047.
12. Kudra, T. Strumillo C. (Eds). Thermal Processing of Bio-Materials / T. Kudra, C. Strumillo (Eds). – Amsterdam : Gordon & Breach, 1998. – XV. – 669 p.
13. Boxler, C. Color Quality Control of Chocolate Beverage Powder / C. Boxler // Proc.17<sup>th</sup> Intern. Drying Symposium (IDS-2010). – Magdeburg, Germany, 3–6 October 2010. – 2010. – Vol. A. – P. 700–706.
14. RAL C1 DIGITAL 4.0 (RAL German Institute for Quality Assurance and Certification) / Компьютеризированный атлас цветов.

## **Assessment of the Quality of Finished Product in Drying Liquid Disperse Substances**

**Yu.V. Pakhomova, V.I. Konovalov**

*Tambov State Technical University, Tambov*

**Key words and phrases:** after alcohol stillage; algorithm; color; drying; product quality; surface.

**Abstract:** The paper describes the interrelation between the quality of dried liquid dispersed product and the color of its surface. It presents the algorithm for assessing the quality of the dried liquid disperse product, which changes the colors of the surface in the process of drying. The scale of assessing the quality of the dried product is illustrated by the dried after alcohol stillage.

---

© Ю.В. Пахомова, В.И. Коновалов, 2011