

ОПТИЧЕСКИЙ МЕТОД СОРТИРОВКИ ТОВАРНОГО ЗЕРНА ПО СОДЕРЖАНИЮ КЛЕЙКОВИНЫ

© 2010 г. Е. Ю. Буслов*, Б. А. Зон**, доктор физ.-мат. наук;
А. В. Корниенко***, чл.-корр. РАСХН; А. А. Спиваков****

* Воронежский государственный университет, г. Воронеж

** Белгородский государственный университет, г. Белгород

*** Всероссийский НИИ сахарной свеклы и сахара им. А.Л. Мазлумова, Воронежская обл.

**** Администрация Воронежской области, г. Воронеж

E-mail: zon@niif.vsu.ru

Установлено, что содержание клейковины в зерне коррелирует с его цветом. Этот факт позволяет проводить сортировку зерна по содержанию клейковины с помощью цветосепараторов.

Ключевые слова: машинное зрение, промышленный контроль, автоматизированный контроль цвета, цветосепарация.

Коды OCIS: 150.3040, 150.0150.

Поступила в редакцию 09.11.2009.

1. Хорошо известно, что качество товарного зерна в значительной степени определяется содержанием в нем клейковины. Поэтому сортировка зерна по этому признаку представляет большой практический интерес. Авторами [1] предложено использовать для этой цели высокопроизводительные цветосепараторы, которые серийно выпускаются промышленностью, в том числе в России (ОАО “Воронежсельмаш”) [2].

Принцип работы цветосепаратора [3, 4] состоит в том, чтосыпающееся монослоем зерно регистрируется быстroredействующими видеокамерами, а изображение передается в компьютерный блок обработки. Если заранее задаваемые параметры каждого отдельного зерна (цвет, размер, форма и др.) не соответствуют стандарту, подается команда на пневмоклапан, расположенный на траектории падения нестандартного зерна, и оно выдувается сжатым воздухом из общего потока в специальную емкость для сбора “отходов”.

В данной работе экспериментально установлено, что содержание клейковины в зерне коррелирует с его цветом как при естественном освещении, что при некоторой тренировке может быть обнаружено визуально, так и при освещении с помощью светодиодов, что используется в цветосепараторах. Для проведения измерений использовался отечественный цветосепа-

ратор Ф-5.1 производства ОАО “Воронежсельмаш” [2]. Цветосепаратор комплектуется ПЗС-камерами AVIIVA SM2 CL2014 с линейным сенсором, график относительной спектральной чувствительности которого показан на рис. 1. Для подсветки зерен, проходящих в поле зрения камеры, установлены красно-оранжевые светодиодные лампы Cree XLamp XR7090RO, спектральные характеристики которых представ-

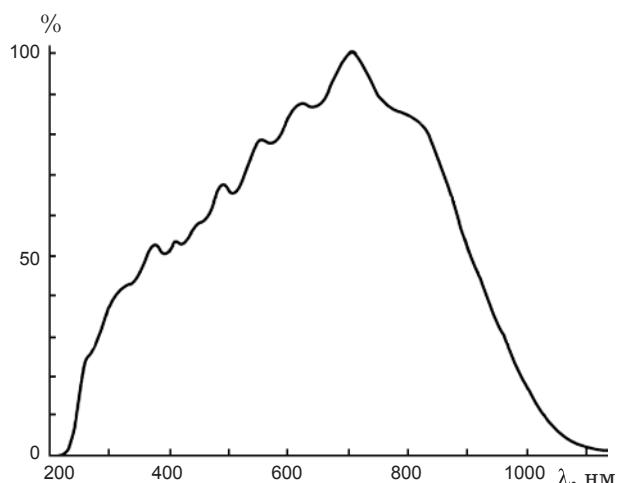


Рис. 1. Спектральная чувствительность линейного ПЗС-сенсора камеры AVIIVA SM2 CL 2014.

лены на рис. 2. Как видно из рис. 1 и рис. 2, максимум спектрального распределения излучателей практически попадает в интервал максимальной чувствительности приемника.

2. Как правило, алгоритмы сепарации гранулированных веществ, в том числе и зерна, основаны на задании порогового значения некой физической величины, по которой осуществляется разделение продукта. Тогда все частицы вещества, у которых регистрируемое значение этой физической величины ниже порога, можно отнести к одному классу, а частицы, имеющие значение выше порога – к другому. При оценке содержания клейковины в зернах пшеницы на цветосепараторе, оборудованном монохромной видеокамерой, регистрируется интенсивность отраженного от зерна света. Таким образом, в этом методе измеряемой физической величиной является интенсивность света, отраженного поверхностью зерна. Соответственно, пороговое значение устанавливается по интенсивности отраженного света. В данном случае зерна, отражающие свет выше порога, считаются принадлежащими к классу “плохие”, а зерна, дающие отраженный свет ниже порога, относятся к классу “хорошие”. Поскольку цвет зерен пшеницы варьируется от светло-желтого до темно-серого в зависимости от сорта, качества, места произрастания, условий хранения и т. д., при обработке каждой конкретной партии зерна необходимо первоначально определить, по оттенкам какого цвета

выбирается пороговое значение интенсивности отраженного света.

Для оценки эффективности работы данного порогового алгоритма вначале было проведено “ручное” разделение небольшой массы зерен исходного вороха пшеницы сорта “Московская-39”, урожая 2008 г., на два класса по оттенкам красного цвета при естественном освещении. Анализ, проведенный по стандартной методике [5], показал, что светло-красные зерна характеризуются относительно низким содержанием клейковины, а темно-красные – относительно высоким. Таким образом, содержание клейковины в зерне пшеницы приводит к вариации оттенка одного основного цвета – красного, что и позволяет в качестве детектора цвета использовать монохромную видеокамеру. Так как определяются только оттенки основного (априорно задаваемого) цвета, то используемую методику нельзя считать колориметрической в традиционном понимании. Зерна, прошедшие “ручное” разделение по низкому и высокому содержанию в них клейковины, далее считаются принадлежащими к классам “низкая клейковина” и “высокая клейковина” соответственно.

На следующем этапе с помощью видеокамеры цветосепаратора были получены изображения зерен из двух вышеуказанных классов. После этого с помощью специальной компьютерной программы для каждого возможного порогового значения T алгоритма был проведен анализ всех отснятых изображений зерен. Пороговое значение задается по 8-разрядной шкале монохромной видеокамеры, позволяющей получать 255 градаций заданного цвета, в данном случае красного. Результатом выполненного анализа является график, показанный на рис. 3. Кривая 1 показывает, какая доля k_1 зерен из класса “высокая клейковина” была отнесена алгоритмом к классу “плохие” при заданном T ; кривая 2 – какая доля k_2 зерен из класса “низкая клейковина” была пропущена алгоритмом в класс “хорошие” при заданном T .

В идеальном случае данный алгоритм должен был бы отнести все зерна из класса “низкая клейковина” в класс “плохие”, а зерна из класса “высокая клейковина” – в “хорошие”, т. е. k_1 и k_2 должны быть равными нулю. В реальном же случае в классах “хорошие” и “плохие” образуется некоторая смесь зерен из первоначальных классов “высокая клейковина” и “низкая клейковина”.

Первоначальный ворох, поступающий на вход цветосепаратора, представляет собой смесь зе-

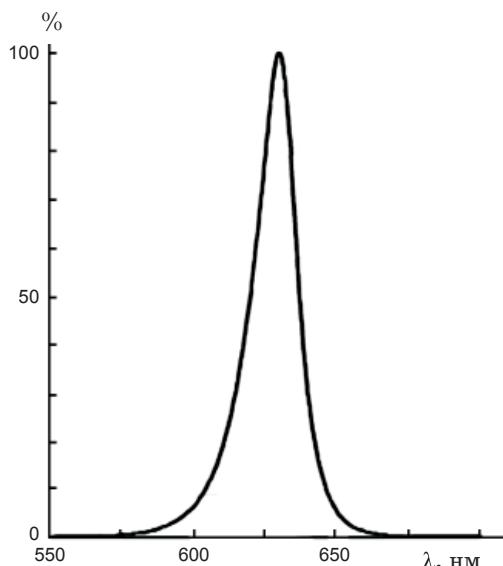


Рис. 2. Спектральная плотность мощности источника излучения (светодиодная лампа Cree X Lamp™ XR7090RO, red-orange).

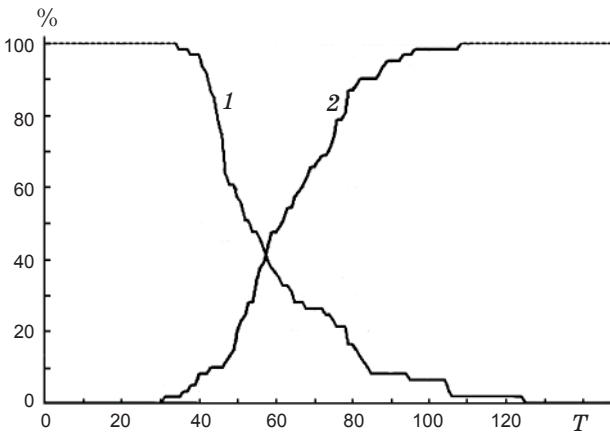


Рис. 3. Разделение зерен пшеницы по оттенку красного цвета в зависимости от порога T интенсивности отраженного света, измеряемой по 8-разрядной шкале монохромной видеокамеры. Пояснения в тексте.

рен пшеницы с высоким и низким содержанием клейковины. На выходе цветосепаратора получаются два типа вороха: один состоит из зерен, отнесенных алгоритмом к классу “хорошие”, другой – из зерен, отнесенных к классу “плохие”. Целью цветосепарации является такое перераспределение зерен из входного потока между классами “хорошие” и “плохие” на выходе, чтобы среднее содержание клейковины в “хорошем” вороне было выше, чем в исходном.

Оценим, как зависит содержание клейковины в “хорошем” зерне от характеристик алгоритма k_1 , k_2 . Для этого предположим, что исходный ворон содержит N_a зерен пшеницы с клейковиной a и N_b зерен с клейковиной b , причем считаем $a > b$. Тогда средняя клейковина исходного ворон равна

$$(N_a a + N_b b)/(N_a + N_b). \quad (1)$$

После сортировки ворон “хорошего” зерна будет содержать N'_a зерен пшеницы с клейковиной a и N'_b зерен с клейковиной b , где

$$\begin{aligned} N'_a &= N_a - k_1 N_a = (1 - k_1) N_a, \\ N'_b &= k_2 N_b. \end{aligned} \quad (2)$$

Таким образом, средняя клейковина ворона “хорошего” зерна на выходе цветосепаратора составит

$$((1 - k_1)N_a a + k_2 N_b b)/((1 - k_1)N_a + k_2 N_b). \quad (3)$$

Аналогично получается выражение для средней клейковины “плохого” зерна

$$(k_1 N_a a + (1 - k_2) N_b b)/(k_1 N_a + (1 - k_2) N_b). \quad (4)$$

Рассмотрим численный пример. Пусть исходный ворон содержит одинаковые количества $N_a = N_b = n$ зерен пшеницы с клейковиной $a = 23\%$ и $b = 17\%$, тогда средняя клейковина исходного ворона, вычисленная по формуле (1), составит 20%. Пусть также при некотором заданном пороге T параметры алгоритма цветосепарации таковы, что $k_1 = 0,30$, а $k_2 = 0,10$. Тогда в соответствии с выражениями (3), (4) средние значения клейковины “хорошего” и “плохого” зерна на выходе цветосепаратора составят 22,3% и 18,5% соответственно. Таким образом, видно, что цветосепарация действительно приводит к разделению исходного ворона на фракции, различающиеся содержанием клейковины.

В таблице представлены результаты измерения среднего содержания клейковины в “хорошем” и “плохом” воронах в зависимости от порогового значения T интенсивности отраженного от зерна света в реальном эксперименте, который проводился на пшенице сорта “Московская-39”. Была проведена сепарация 10 кг зерна, содержащего примерно 2×10^5 зерен пшеницы. Согласно [5] погрешность определения клейковины стандартным методом составляет 1,0%.

Как следует из таблицы, при пороговом значении $T = 50$ достигается наилучшее разделение исходного ворона по клейковине: среднее содержание клейковины в вороне “хорошего” зерна составляет 23% против 19% в исходном вороне по данным анализа, выполненного в соответствии с требованиями [5]. Следует отметить, что указанные значения справедливы только по отношению к сортировке данного конкретного ворона пшеницы сорта “Московская-39” урожая 2008 г. Для пшеницы других сортов, мест произрастания и т. д. будут получены другие количественные параметры разделения. Тем не менее, используя приведенную выше методику

Результаты измерения среднего содержания клейковины в эксперименте на пшенице сорта “Московская-39”

T	Среднее содержание клейковины, %		
	Исходный ворон	“Хорошее” зерно	“Плохое” зерно
30	19	0	19
40	19	23	18
50	19	23	17
60	19	21	17
70	19	20	17
80	19	19	18
90	19	19	15

для каждого исходного вороха, всегда можно подобрать такой оптимальный порог T , который даст наилучшее разделение по клейковине при цветосепарации. Приведенные в таблице данные по сортировке пшеницы сорта “Московская-39” урожая 2008 г. позволяют надеяться, что и на других ворохах пшеницы ожидаемое улучшение содержания клейковины будет порядка 1–3%.

3. Таким образом, результаты цветосепарации позволяют получать разделение исходного потока зерен пшеницы на 2 потока с различным содержанием клейковины, что свидетельствует о наличии корреляции между цветом зерна пшеницы и содержанием в нем клейковины. Предложенный метод разделения пшеницы по клейковине в зависимости от цвета зерен позволяет улучшать качество товарного зерна в промышленных масштабах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Буслов Е.Ю., Зон Б.А., Корниенко А.В., Спиваков А.А. Способ разделения зерна по содержанию белков // Заявка на патент РФ № 2009110527 от 25.03.2009.
2. Каталог выставки “Русское поле”. Белгород, 2008.
3. Ikeda N. Color sorting apparatus for granular object with optical detection device consisting of CCD linear sensor // Патент США US6784996B2. 2004.
4. Riise B.L., Allen L.E., Biddle M.B., Fisher M.M. Value added color sorting of recycled plastic flake from end-of-life electrical and electronic equipment // Proc. of the 2001 IEEE International Symposium on Electronics and the Environment. Р. 223–228.
5. ГОСТ 13586.1-68. Зерно. Методы определения количества и качества клейковины.