

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, что сыпавшееся монослоем зерно регистрируется быстродействующими 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-

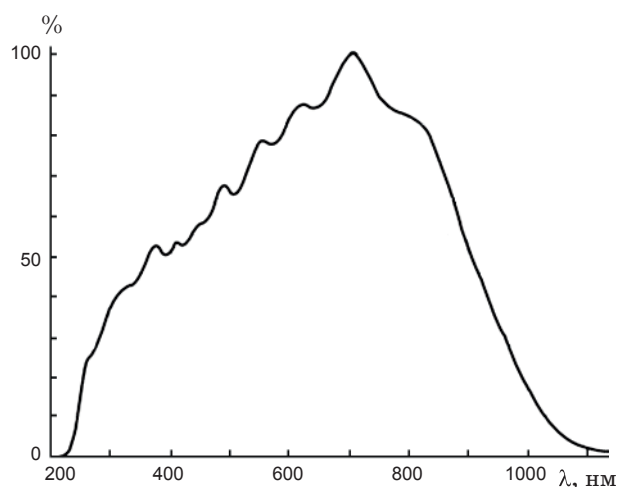


Рис. 1. Спектральная чувствительность линейного ПЗС-сенсора камеры AVIIVA SM2 CL 2014.

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 некоей 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

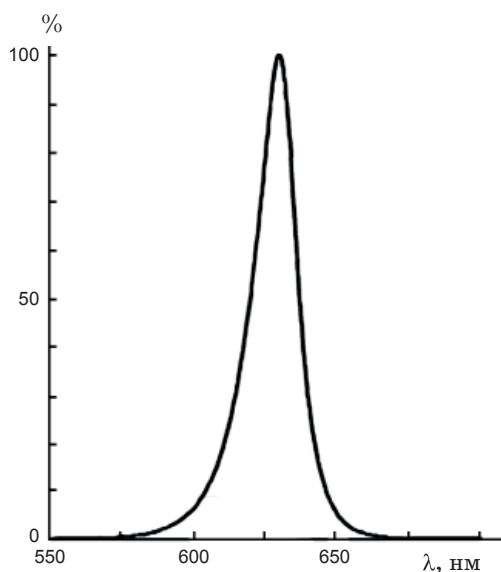


Рис. 2. Спектральная плотность мощности источника излучения (светодиодная лампа Cree XLamp™ XR7090RO, red-orange).

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-

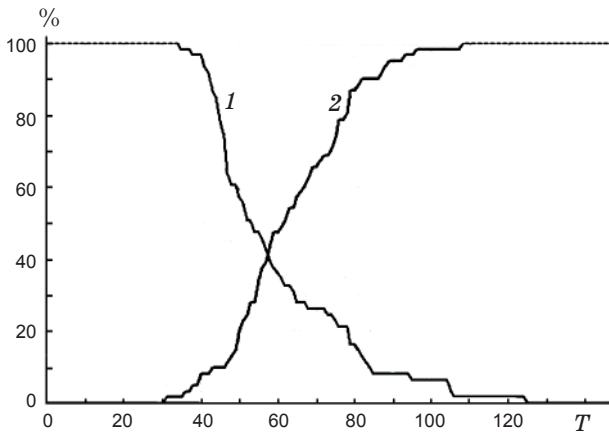


Рис. 3. Разделение зерен пшеницы по оттенку красного цвета в зависимости от порога T интенсивности отраженного света, измеряемой по 8-разрядной шкале монохромной видеокамеры. Пояснения в тексте.

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” ворохе 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 ворох содержит N_a зерен пшеницы с клейковиной a и N_b зерен с клейковиной b , причем считаем $a > b$. Тогда средняя клейковина исходного вороха равна

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

После сортировки ворох “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 вороха “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 ворох содержит одинаковые количества $N_a = N_b = n$ зерен пшеницы с клейковиной $a = 23\%$ и $b = 17\%$, тогда средняя клейковина исходного вороха, 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 вороха на фракции, различающиеся содержанием клейковины.

В таблице представлены результаты измерения среднего содержания клейковины в “хорошем” и “плохом” ворохах 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 вороха по клейковине: среднее содержание клейковины в ворохе “хорошего” зерна составляет 23% против 19% в исходном ворохе по данным анализа, выполненного в соответствии с требованиями [5]. Следует отметить, что указанные значения справедливы только по отношению к сортировке данного конкретного вороха 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 ворох	“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. P. 223–228.
5. ГОСТ 13586.1-68. Зерно. Методы определения количества и качества клейковины.