

## Особенности алгоритма работы прибора контроля цветности сахара

*А.В. Тихонюк, Институт технической теплофизики НАН Украины*

*А.В. Ковальчук, ПрАТ «ДКТБ ТЕП»*

*Л.И. Дадеко, ПрАТ «ДКТБ ТЕП»*

*Л.И. Чернявская, заведующая отделом УкрНИИСП*

*Л.М. Хомичак, Институт пищевых ресурсов ААНУ*

*Показана важность проблемы контроля цветности белого сахара каждой вари и предложен экспресс-анализатор для ее решения.*

*Ключевые слова: показатели качества сахара, экспресс-анализатор, измерение цветности, точность.*

Для сахарных заводов нашей страны характерным является нестабильное качество сахарной свеклы, поступающей в переработку, обусловленное как почвенно-климатическими условиями выращивания фабричной свеклы, так и условиями и длительностью хранения корнеплодов в полевых и заводских кагатах. Получаемый готовый продукт в результате переработки такого сырья также отличается по показателям качества. С целью исключения рекламаций от потребителей белого сахара необходимо жестко контролировать качество сахара каждой вари и распределять его по точкам складирования и отпуска в зависимости от показателей качества.

Учитывая реальные возможности и перспективы экспорта сахара из Украины в страны Евросоюза, возрастает необходимость автоматического экспресс-контроля каждой вари вырабатываемого на заводе сахара по основным параметрам в соответствии с ДСТУ 4623:2006 – цветности сахара по международным шкалам – в единицах ICUMSA и Брауншвейгских единицах, а также зольности [1-4, 7].

Контроль цветности сахара в современных автоматических анализаторах основывается на анализе отраженного от исследуемого образца излучения специально выбранных длин волн [5, 6]. Производимые в Украине анализаторы цветности сахара ЦУ ТЕП-С, СМ в отличие от дорогостоящих зарубежных приборов характеризуются сравнительно простотой конструкции, высокой надежностью, удобством эксплуатации и приемлемыми ценовыми характеристиками. Кроме того, при автоматическом экспресс-контроле цветности сахара-песка значительно снижается время и трудоемкость определения цветности: с 2-3 часов при определении цветности сахара-песка в растворе до 5-10 минут при экспресс-контроле [5].

Базовая модель экспресс-анализатора ЦУ ТЕП-С [5, 9, 10] имеет диапазон определения

цветности сахара-песка от 0 до 250 ед. ICUMSA со сходимостью результатов определений (допускаемое расхождение между результатами двух параллельных определений [4]) в соответствии с ДСТУ 2075-92 не выше 10% при доверительной вероятности  $P=0,95$ . Реально для сахара-песка с цветностью в диапазоне 0-250 ед. ICUMSA сходимость результатов определений приведенных в таблице 1 изменяется в пределах 0-3,8%.

Для контроля цветности сахара со значениями цветности более 250 ед. ICUMSA, а также контроля цветности сахара-сырца разработана и изготовлена модель автоматического экспресс-анализатора ЦУ ТЕП-СМ2 с диапазоном определения цветности сахара до 4500 ед. ICUMSA.

Учитывая неоднородность мелкокристаллической структуры образцов сахара – разброс размеров кристаллов согласно ДСТУ 4623-2006, ГОСТ 12579-2013 от 0,2 до 2,5 мм и различное расположение кристаллов при формировании исследуемого образца, повышение стабильности результатов определения цветности и снижение расхождения параллельных определений является актуальным.

Блок-схема базовой модели анализатора ЦУ ТЕП-С для определения цветности сахара-песка (рис. 1) содержит аналого-цифровой преобразователь (АЦП), цифровой процессор управления, который посылает сигналы управления на мультиплексор для управления светодиодами излучателями, выполняет коррекцию цветовых данных, производит пересчет цветовой модели в необходимую измерительную шкалу и управляет выводом результатов определений цветности. Широкополосный фотоприемник передает по синхронизирующим сигналам от мультиплексора аналоговые данные на АЦП, где происходит их преобразование в данные о цветности с определенной разрядностью. Как правило, используется 12, 16 (или более) разрядное преобразование, благодаря кото-

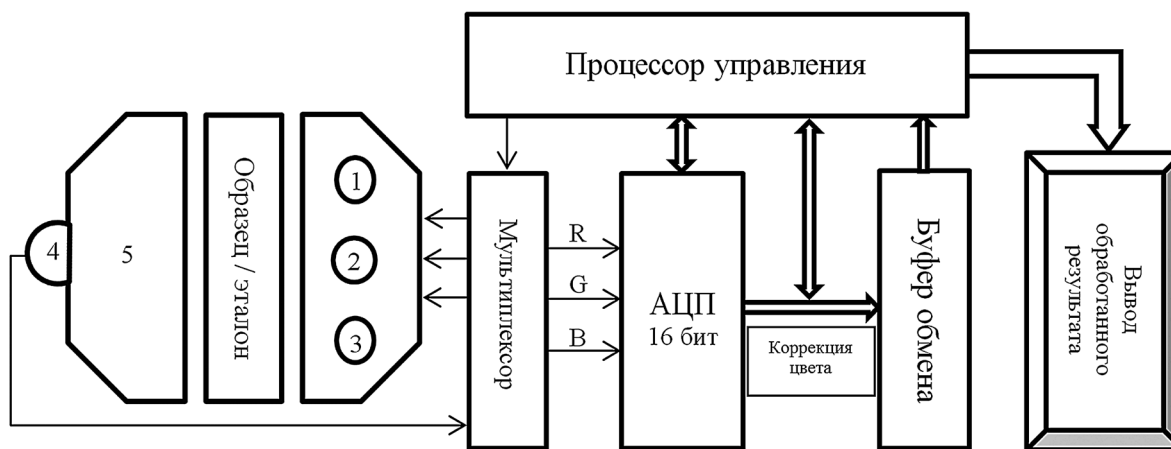


Рис. 1. Блок-схема измерительной части анализатора.  
 1, 2, 3 – светодиодные излучатели информативных длин волн (ИДВ);  
 4 – широкополосный фотоприемник (фотодетектор).

рому на выходе появляются цифровые данные о цветности на каждый канал.

При анализе цветности образцов сахара-песка используется последовательное включение светодиодных излучателей трех информативных длин волн (ИДВ), в результате один цикл работы алгоритма позволяет передать данные о цвете всего поля кюветы измеряемого образца.

Время, необходимое для определения цветности образца, зависит от количества циклов последовательной засветки и циклов усреднения полученных данных, что составляет около 250 мс на обработку данных одного канала.

Для трех циклов усреднения по трем каналам (ИДВ) время обработки данных составляет приблизительно 2250 мс.

Общее время выполнения программного цикла измерения цветности образца, с коррекцией, усреднением и выводом на дисплей не превышает 10 секунд.

Первичная инициализация и установка всех заданных параметров функционирования аппаратной части анализатора состоит в следующем. После установки времени свечения светодиодных излучателей каждого канала, необходимо определить «эталонный черный» и «эталонный белый»

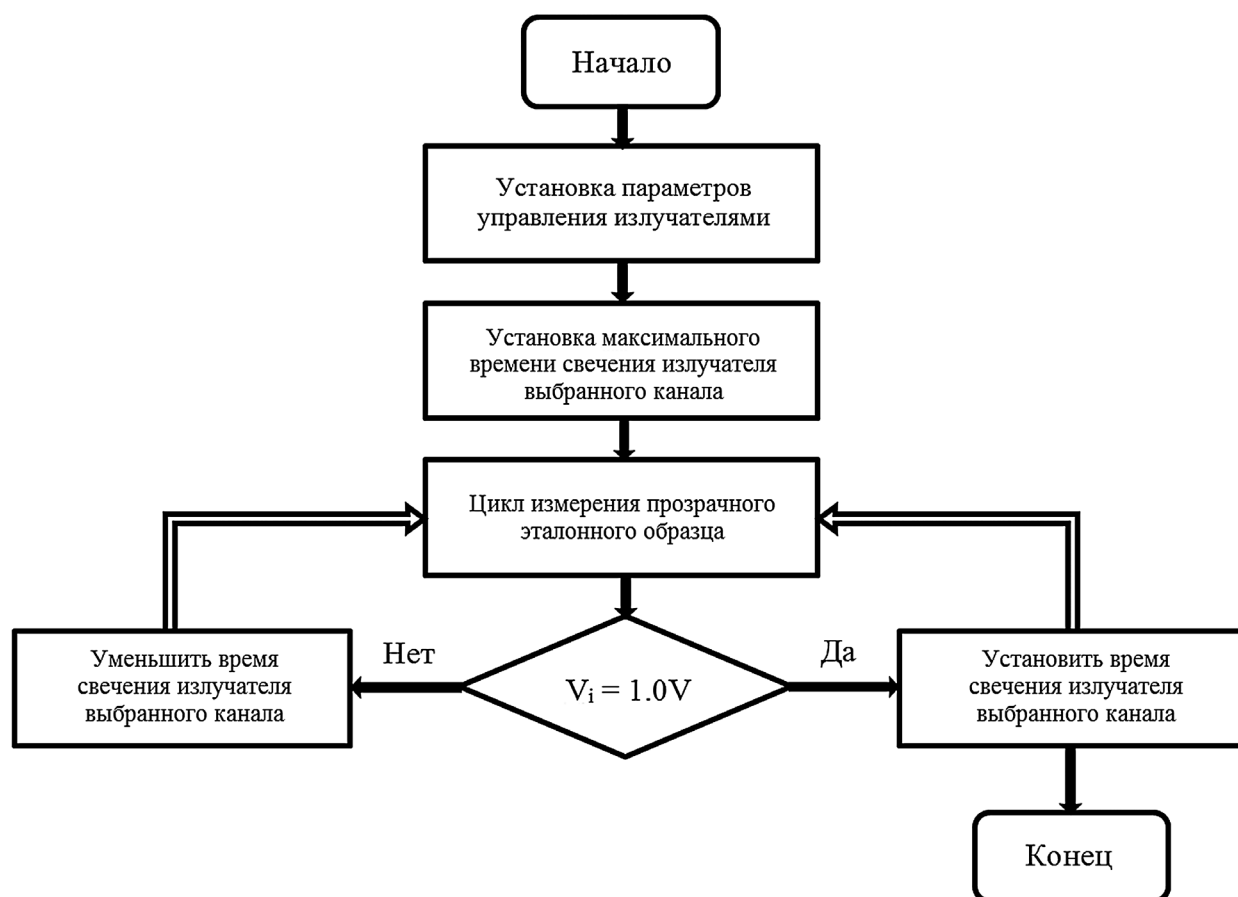


Рис. 2. Алгоритм калибровки каналов излучателей

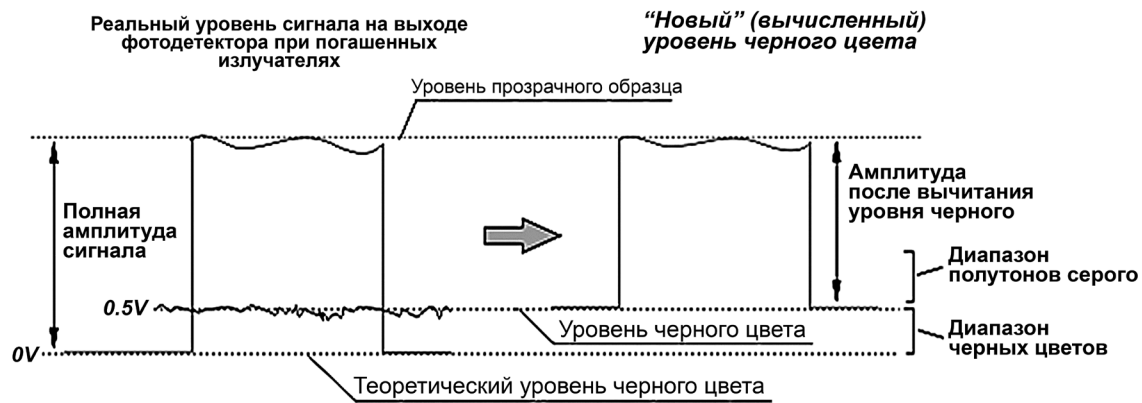


Рис. 3. Первичная обработка – вычитание из сигнала «уровня черного»

цвет. Для получения данных о первом, выключают все светодиодные излучатели и считывают информацию, повторяют процедуру несколько раз и запоминают средние значения. Для получения данных об «эталонном белом» последовательно измеряют белый эталон при освещении каждым из трех цветов, повторяя процедуру несколько раз и беря среднее значение, из которого вычитают данные «эталонного черного». Полученное значение и есть «эталонный белый» для каждого цвета. Эти «эталонные» цвета используют для процедуры коррекции цвета на аппаратном уровне.

Для обработки «эталонного черного» произво-

дят код [1111111]. Все сигналы, величина которых больше установленного порога, будут восприниматься как белый цвет, а все, что меньше порога, является уже изменением интенсивности цвета.

По полученным данным эталонных сигналов определяются два параметра:

- базовое смещение – **BIAS** (вычисляется на основе сигнала уровня черного);
- коэффициент усиления – **GAIN** (вычисляется на основе сигнала уровня белого).

Из полученного от фотодетектора сигнала каждого излучателя вычитается уровень BIAS, после чего проводится усиление этого сигнала на

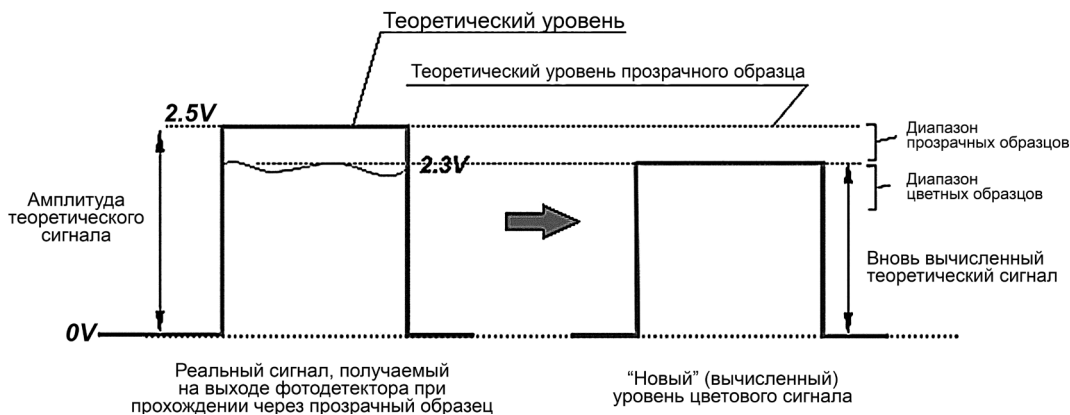


Рис. 4. Первичная обработка – определение сигнала «уровня белого»

дится считывание данных при выключенных светодиодных излучателях, величина сигнала на выходе фотодетектора в этот момент времени, какой бы она ни была (например, 0,5В), принимается за уровень черного цвета, т.е. этому сигналу соответствует двоичный цифровой код [00000000], и все сигналы величиной менее 0,5В также интерпретируются как абсолютно черный цвет (рис. 3). Сигналы, величина которых будет больше заданного порога (в нашем примере больше 0,5В), являются полезными и принимаются в расчеты.

Если же свет отражается от белого эталона, то величина сигнала на выходе фотодетектора в этот момент времени (опять же, при любом его значении) принимается за уровень белого цвета, т.е. этому сигналу присваивается двоичный цифровой

индивидуальный коэффициент усиления GAIN для каждого канала. Таким образом, каждая партия данных от излучателей подвергается индивидуальной цифровой обработке, в результате которой достигается высокая точность определения цветности. Кроме того, такой алгоритм обработки позволяет компенсировать такие явления, накапливаемые со временем, как загрязнение элементов оптической системы и изменение яркости свечения излучателей.

Для автоматической нормализации каналов вначале рассчитывают средние значения интенсивностей излучения ИДВ по всем трем каналам, а заключительным этапом обработки является масштабирование интенсивностей цветовых компонентов каждого канала в соответствии с формулами:

$$R_{рез} = R_n \frac{C}{R}, G_{рез} = G_n \frac{C}{G}, B_{рез} = B_n \frac{C}{B},$$

Где  $R_n, G_n, B_n$  – корректируемые значения интенсивностей излучения каналов,  $R_{рез}, G_{рез}, B_{рез}$  – результирующие (скорректированные) значения интенсивностей излучения каналов.

$C$  – постоянный для всех трех каналов коэффициент. Значения интенсивностей излучения каналов обычно выражаются соответствующими им номерами уровней квантования, при этом интервал, в котором они лежат, как правило (но не обязательно) составляет 0...255 или 0...65535.

При измерениях, вначале находят максимумы интенсивностей излучения в каждом из цветовых каналов:  $R_{макс}, G_{макс}, B_{макс}$ , после чего масштабируют интенсивности цветовых компонентов в соответствии с формулами

$$R_{рез} = R_n \frac{255}{R_{макс}}, G_{рез} = G_n \frac{255}{G_{макс}}, B_{рез} = B_n \frac{255}{B_{макс}}.$$

Таким образом, при автоматическом способе нормализации каналов, непрерывно отслеживается изменение спектрального состава излучения и выполняется соответствующая коррекция.

Сходимость результатов параллельных определений цветности сахара-песка в ед. ICUMSA и процентах приведена в **таблице 1**.

**Список использованных источников:**

1. ДСТУ 4623:2006. Сахар белый. Технические условия.
2. ДСТУ 2075-92 Сахар-песок и сахар-рафинад. Методы определения цветности.
3. ГОСТ 12572-93 Сахар-песок и сахар-рафинад. Методы определения цветности.
4. ГОСТ 31361-2008. Межгосударственный стандарт (взамен ГОСТ 12572-93) Сахар. Метод определения цветности. – Минск, Евразийский Совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 2014.
5. Автоматический колориметр для экспресс-контроля цветности сахара-песка / [В. В. Платонов, Л.И. Чернявская, Л. И. Дадеко, и др.]. // Сахар. – 2006. – №6. – С. 20–21.
6. Деклараційний патент на корисну модель №7487, GOIJ 3/46, Бюллетень №6, 2005. Спосіб визначення кольору об'єкта. Долінський А.А., Платонов В.В. та ін.
7. Чернявская Л. И. Сахар. Методы определения показателей качества / Л. И. Чернявская, В. П. Адамович, Ю. А. Зотова. – Киев: Фитосоциоцентр, 2007. – 268 с.
8. Sucroflex, функциональное описание. Каталог № 0104-Д-230.
9. Тихонюк А.В. Автоматизация контроля цветности кристаллического сахара оптическим

**Таблица 1**

Образец сахара-песка	Цветность, ед. ICUMSA	Среднее значение цветности, ед. ICUMSA	Сходимость, ед. ICUMSA	Сходимость, %
№1	18,9	19,2	0,3	1,6
	19,2		0,0	0,0
	19,5		0,3	1,6
№6	67,0	69,4	2,4	3,5
	71,5		2,1	3,0
	69,6		0,2	0,3
№2	73,2	72,7	0,5	0,7
	72,9		0,2	0,3
	72,0		0,7	0,9
№10	97,0	94,9	2,1	2,2
	95,1		0,2	0,2
	92,5		2,4	2,5
№13	128,8	132,1	3,3	2,5
	133,9		1,8	1,3
	133,7		1,6	1,2

Результаты исследования значений цветности сахара-песка экспресс-методом анализатором ЦУ ТЕП-С-2 отличаются высокой стабильностью и сходимость между двумя параллельными определениями цветности сахара-песка в диапазоне значений цветности 19,2-133,7 ед. ICUMSA находится в пределах 0,2-3,5%, т.е. не превышает допустимое по ДСТУ 2075-92, ГОСТ 12572-93 значение (10%) при доверительной вероятности 0,95.

электронным анализатором ЦУ ТЕП-С / Л.И. Дадеко, Л.С. Клименко // Achivmentofhighschool-2011:науч.трудыVII Международной науч.-техн. конференции (София, 17-21 ноября 2011 г.), том 30.- С.: Бял ГРАД-БГ и ООД, 2011.-С.58-61.

10. Chernyavskaya L. Modifications of automatic analyzer for sugar colour control / L. Chernyavskaya, A. Tuhonyuk, L. Dadeko. // News of science and education. – 2014. – №15. – С. 9–13.