

ПОИСК И ВНЕДРЕНИЕ НОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В КОНСТРУИРОВАНИЕ ЦВЕТОИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ

Латипова Н.Х., Марышева Л.Т.

¹ д.т.н. доц. Ташкентский университет информационных технологий Мухаммада аль-Хорезми, meer.nata@bk.ru

² д.т.н. доц. Ташкентский университет информационных технологий Мухаммада аль-Хорезми, latipova23@rambler.ru

Аннотация: В данной статье рассматриваются современные тенденции в развитии технологий, применяемых при конструировании цветоизмерительных приборов. Особое внимание уделено анализу инновационных технических решений, направленных на повышение точности, стабильности и быстродействия измерений цвета. Проведен обзор новых оптических, электронных и программных компонентов, используемых в современных цветоизмерительных системах. Отмечена роль цифровых технологий, искусственного интеллекта и автоматизированных калибровочных алгоритмов в совершенствовании работы приборов. Результаты исследования могут быть использованы при разработке новых поколений цветоизмерительных устройств, обеспечивающих более высокий уровень метрологической надежности и функциональности.

Ключевые слова: Цветоизмерительные приборы, инновационные технологии, проектирование, оптические системы, цифровая обработка, калибровка, искусственный интеллект, метрологическая надежность.

ВВЕДЕНИЕ

Для осуществления поиска новых технических решений при проектировании цветоизмерительных систем необходимо провести структурный анализ объекта проектирования, то есть самого цветоизмерительного прибора. Такой подход позволяет выявить ключевые функциональные узлы, определить их роль в общем процессе измерения цвета и целенаправленно искать пути совершенствования каждой составляющей.

МЕТОДОЛОГИЯ

Методология исследования направлена на комплексное изучение, анализ и внедрение новых технологий в конструкцию цветоизмерительных приборов с целью повышения точности, надёжности и функциональности оборудования. Она сочетает теоретический анализ, экспериментальное моделирование, метрологическую оценку и системный подход к разработке инновационных приборов.

На первом этапе выполнен детальный обзор современных цветоизмерительных приборов и технологий их конструирования, включая:

- типы датчиков и детекторов (фотодиоды, ПЗС, ФЭУ);
- оптические схемы (спектрофотометрические, трихроматические, многоканальные системы);
- способы калибровки и метрологического обеспечения;
- цифровую обработку сигналов и алгоритмы интерпретации данных.

Цель этапа — выявление сильных и слабых сторон существующих конструкций, определение направлений для внедрения новых технологий.

Исследование инновационных материалов и компонентов

Метод включает подбор и тестирование новых оптических, электронных и программных компонентов:

- новые фоточувствительные материалы и сенсоры;
- миниатюрные и энергоэффективные электронные блоки;
- современные источники света (LED, лазеры, широкополосные источники);
- новые покрытия и оптические элементы для повышения стабильности измерений.

АНАЛИЗ И РЕЗУЛЬТАТЫ

Для оценки компонентов применяются лабораторные испытания по стандартным методикам ISO и ГОСТ. На первом уровне разбиения цветоизмерительный прибор целесообразно разделить на четыре основные конструктивные части, представленные на рисунке 1.



Рис 1. Конструкция цветоизмерительного прибора

1. Осветительная система. Осветительная система является исходным звеном процесса измерения. От её стабильности, спектральных характеристик и равномерности освещения зависит точность и воспроизводимость результатов. На данном этапе разработки особое внимание уделяется использованию светодиодных источников с регулируемым спектром, которые позволяют имитировать различные стандартные условия освещения (D65, A, F11 и др.). Кроме того, перспективным направлением является применение лазерных и квазимонохроматических источников света, обеспечивающих узкополосное и

стабильное излучение. Важным аспектом также является температурная стабилизация осветителя и его энергоэффективность.

2. Диспергирующее устройство. Основная функция диспергирующей системы заключается в разделении излучения на спектральные компоненты. Современные технологии позволяют использовать дифракционные решетки с наноразмерной структурой, интерференционные фильтры переменной толщины и миниатюрные спектральные микромодули, основанные на фотонных кристаллах. Такие решения способствуют уменьшению габаритов прибора и повышению его оптического разрешения. Перспективным направлением является внедрение гибридных оптических систем, объединяющих традиционные диспергирующие элементы с цифровыми модулями коррекции спектра.

3. Электронно-регистрирующий блок. Эта часть прибора отвечает за преобразование оптического сигнала в электрический. Современные разработки ориентированы на использование ПЗС- и КМОП-матриц высокой чувствительности, а также квантовых фотоприемников, обеспечивающих широкий динамический диапазон регистрации. Внедрение технологий встроенной аналогово-цифровой обработки и микроэлектронных систем управления позволяет сократить уровень шумов и повысить быстродействие измерений.

4. Вычислительное устройство. Завершающим звеном является блок обработки данных, в котором осуществляется спектральный анализ, пересчет в цветовые координаты и коррекция результатов. В современных приборах все чаще применяются встроенные микроконтроллеры и процессоры с элементами искусственного интеллекта, способные выполнять автоматическую калибровку, самодиагностику и адаптацию алгоритмов под условия измерения. Использование нейросетевых методов анализа данных обеспечивает более точную интерпретацию спектральных характеристик и позволяет компенсировать погрешности, вызванные нестабильностью источников света или дрейфом сенсоров.

На рисунке 2 нами предоставлена структурные схемы ЭРУ (электронно-регистрирующего устройства) спектрофотометров.

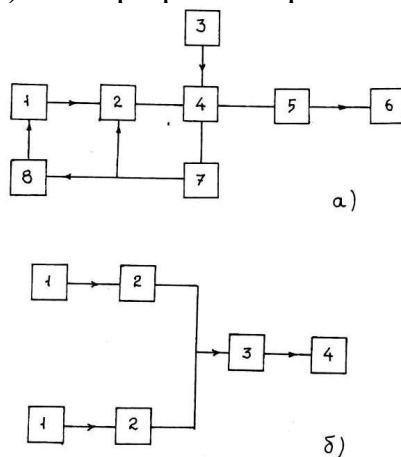


Рис 2. Схема ЭРУ спектрофотометров

Таким образом, системный подход к разбиению прибора на функциональные фрагменты позволяет не только локализовать направления поиска инновационных решений, но и сформировать модульную архитектуру цветоизмерительных систем нового поколения. Это открывает возможности для гибкой модернизации приборов, повышения их метрологической надежности, расширения диапазона измерений и интеграции с цифровыми средствами обработки и передачи данных.

Структурная схема электронно-регистрирующего устройства (ЭРУ) спектрофотометра описывает путь прохождения сигнала от оптической системы прибора до вычислительного блока, где производится обработка и интерпретация результатов измерений. Рассмотрим типовую схему и функции её основных элементов:

Структурная схема ЭРУ спектрофотометра

1. Фотоприемник (детектор излучения)

Основной элемент, преобразующий падающий поток света в электрический сигнал.

- В современных спектрофотометрах используются фотодиоды, ПЗС-матрицы (CCD) или КМОП-матрицы (CMOS).

- Ключевые параметры: чувствительность, шум, линейность и динамический диапазон.

2. Предусилитель (усилитель сигнала)

Электрический сигнал от фотоприемника имеет очень малую амплитуду, поэтому он усиливается с помощью низкошумящего предусилителя.

3. Аналого-цифровой преобразователь (АЦП)

После усиления сигнал преобразуется из аналогового в цифровой вид для последующей обработки микропроцессором.

- Разрядность АЦП (обычно 12–24 бита) определяет разрешающую способность по интенсивности.

- Частота дискретизации влияет на быстродействие прибора.

4. Микропроцессорный блок (контроллер или микрокомпьютер)

- Управляет процессом регистрации, калибровкой и синхронизацией с другими узлами спектрофотометра (например, со сканирующим механизмом или источником света).

- Проводит цифровую фильтрацию, усреднение данных и коррекцию фона.

- Вычисляет спектральные характеристики и преобразует их в цветовые координаты или оптические плотности.

5. Интерфейс связи (USB, Bluetooth, Wi-Fi, RS-232)

Обеспечивает обмен данными между спектрофотометром и внешним устройством — компьютером или сетью.

6. Память и программное обеспечение

- Хранит результаты измерений, калибровочные коэффициенты и параметры пользователя.

Остановимся на основных характеристиках призмы, которые нужно учитывать при проектировании прибора. Спектральная призма представляет собой многогранник, выполненный из прозрачного материала, показатель преломления которого зависит от длины волны, т.е. обладает дисперсией, характеризующей скорость изменения показателя преломления при изменении длины волны. Для изготовления призм используют материалы с большой дисперсией, прозрачные для исследуемой области спектра, с высокой оптической однородностью и изотропностью. Основным материалом для производства призм, используемых в видимой области спектра - оптическое стекло типа флинт (марки ТФ-1, ТФ-3), обладающее большой дисперсией.

Исходными данными для формирования технических требований к цветоизмерительным приборам являются погрешности измерения координат цвета:

Через них можно определить случайную погрешность измерения спектральных коэффициентов отражения $\rho(\lambda)$ или спектральных коэффициентов пропускания $\tau(\lambda)$

Для чего рассмотрим один из методов оценивания результатов косвенных измерений и их погрешностей.

При линейной зависимости уравнение измерений имеет вид

$$A = b_1 a_1 + b_m a_m \quad (1)$$

где $b_1, \dots, b_m$ - постоянные коэффициенты при аргументах соответственно.

Результат косвенного измерения $\tilde{A}$ вычисляют по формуле

$$\tilde{A} = \sum_{i=1}^m b_i \tilde{a}_i \quad (2)$$

где $\tilde{a}_i$ - результат измерения i -го аргумента;

m - число аргументов.

Случайную косвенную ошибку (СКО) результата косвенного измерения $S(\tilde{A})$ находят по формуле:

$$S(\tilde{A}) = \sqrt{\sum_{i=1}^m b_i^2 S^2(\tilde{a}_i)} \quad (3)$$

где $S(\tilde{a}_i)$ - СКО результата измерения i -го аргумента. Вынесем в формуле (2) $S(\tilde{a}_i)$ из - под корня, получим

$$S(\tilde{A}) = S(\tilde{a}_i) \sqrt{\sum_{i=1}^m b_i^2} \quad (4)$$

По формуле (3) можно вычислять случайную погрешность координат цвета X, Y, Z , которые в свою очередь определяются по формулам:

$$X = \sum_{\lambda=380}^{750} \varphi(\lambda) x(\lambda) \rho(\lambda) \Delta(\lambda) \quad (5)$$

$$Y = \sum_{\lambda=380}^{750} \varphi(\lambda) y(\lambda) \rho(\lambda) \Delta(\lambda) \quad (6)$$

$$Z = \sum_{\lambda=380}^{750} \varphi(\lambda) z(\lambda) \rho(\lambda) \Delta(\lambda) \quad (7)$$

где $\varphi(\lambda)$ - относительное спектральное распределение потока излучения стандартного источника;

$\bar{x}(\lambda), \bar{y}(\lambda), \bar{z}(\lambda)$ - функции сложения цветов стандартного наблюдателя (ФСЦН);

$\rho(\lambda)$ - коэффициент отражения;

$\Delta\lambda$ - погрешность по шкале длин волн.

Приведем в соответствие формулы (6) и (7).

$$\begin{aligned} \text{Здесь} \quad \varphi(\lambda) x(\lambda) \Delta(\lambda) &= b i^{(x)}; \quad \varphi(\lambda) y(\lambda) \Delta(\lambda) = b i^{(y)}; \\ \varphi(\lambda) z(\lambda) \Delta(\lambda) &= b i^{(z)}; \quad \rho(\lambda) = a i \end{aligned} \quad (8)$$

Таким образом случайная погрешность координат цвета примет вид:

$$\begin{aligned} S(x) &= S(P_i(\lambda)) \sqrt{\sum_{i=1}^m b_i^{(x)2}} = S(P_i(\lambda)) K^{(x)}, \\ S(y) &= S(P_i(\lambda)) \sqrt{\sum_{i=1}^m b_i^{(y)2}} = S(P_i(\lambda)) K^{(y)}, \\ S(z) &= S(\rho i(\lambda)) \sqrt{\sum_{i=1}^m b i^{(z)2}} = S(\rho i(\lambda)) k^{(z)}, \end{aligned} \quad (9)$$

Если распределение погрешностей результатов измерений аргументов не противоречат нормальному распределению, доверительные границы вычисляют по формуле

$$E(p) = t * S(\tilde{A}), \quad (10)$$

где t - коэффициент Стьюдента, соответствующий доверительной вероятности P и числу степеней свободы f

$$f_{\text{эф}} = \frac{(\sum_{i=1}^m b_i * S^2(\tilde{a}_i))^2 - 2(\sum_{i=1}^m \frac{b_i^4 * S^4(\tilde{a}_i)}{n_i + 1})}{\sum_{i=1}^m \frac{b_i^4 * S^4(\tilde{a}_i)}{n_i + 1}} \quad (11)$$

где n_i - число измерений при определении $\tilde{a}_i$ -го аргумента:

Для координат цвета доверительные границы вычисляются следующим образом:

$$\begin{aligned} E(P_x) &= t * S(x) \\ E(P_y) &= t * S(y) \\ E(P_z) &= t * S(z) \end{aligned} \quad (12)$$

При наличии корреляционной зависимости между погрешностями измеряемых аргументов СКО результата косвенного измерения $S(A)$ вычисляют по формуле:

$$S(\tilde{A}) = \sqrt{\sum_{i=1}^m b i^2 \cdot S^2(\tilde{a}i) + 2 \sum_{h,l} b h \cdot b e \cdot S(\tilde{a}h) \cdot S(\tilde{a}e) \cdot r_{hl}} \quad (13)$$

где r_{hl} - оценка коэффициента корреляции между погрешностями измерения h -го и l -го аргументов.

Падающее излучение после прохождения через диспергирующую систему поступает на фотоприемник, где преобразуется в электрический сигнал. Далее этот сигнал усиливается, оцифровывается и обрабатывается микропроцессором. После коррекции и нормализации данных на выходе формируется спектр или цветовая координата исследуемого образца, отображаемая на экране или передаваемая во внешнее устройство.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведённое исследование показало, что поиск и внедрение новых технологий в область конструирования цветоизмерительных приборов является ключевым направлением развития современного приборостроения, опирающегося на стремительный рост требований к точности измерений, стабильности контроля и цифровой обработке данных. Анализ тенденций демонстрирует, что традиционные методы колориметрии уже не обеспечивают

необходимого уровня воспроизводимости в условиях усложняющихся задач промышленности, медицины, материаловедения, аграрного сектора и высокотехнологичных производств, где цветовые характеристики становятся важной частью оценки качества продукта или технологического процесса.

Комплексное изучение инновационных решений позволило выявить, что переход к гибридным оптико-цифровым системам, использующим высокочувствительные сенсоры, спектральные алгоритмы декомпозиции и интеллектуальную обработку сигналов, формирует совершенно новый уровень метрологической надёжности цветоизмерительных приборов. Внедрение алгоритмических платформ на основе машинного обучения усиливает точность системы за счёт адаптивного распознавания спектральных и цветовых аномалий, что особенно значимо для задач автоматизированного контроля, где требуется минимизация человеческого фактора и повышение стабильности диагностики.

Отдельно следует подчеркнуть роль цифровых технологий, обеспечивающих высокоскоростную передачу данных, их облачное хранение и возможность включения приборов в распределённые интеллектуальные сети. Такой подход расширяет границы применения цветоизмерительных устройств, превращая их из автономных измерителей в элементы больших аналитических комплексов, работающих в режиме реального времени. В совокупности это усиливает аналитический потенциал промышленных линий, лабораторий и автоматизированных систем управления качеством.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Гаврилов М.А. Интегрирование системы - современная тенденция в развитии систем автоматизированного проектирования // Приборы и системы управления. - 1979. - № 1. - С.3-7.
2. Гафт М.Т. Принятие решений при многих критериях. - М.:Знание, 1979.
3. Гличев А.В., Робинович Г.О., Примаков М.И., Синицин М.М. Прикладные вопросы квалитрии.-М.:Изд-во Стандартов, 1983.
4. Глатов Б.А., Павельев В.В. Экспертные методы определения весовых коэффициентов // Автоматизация и телемеханика. - 1976.-№ 12.- С.95-107.
5. Л.Т. Марышева Монография. Математическое обеспечение проектирования цветоизмерительных приборов. Министерство цифровых технологий Республики Узбекистан, ТУИТ, 2022г.
6. ГОСТ 31913–2011. Техника фотометрическая. Термины и определения.
7. Бергер Р. Основы спектроскопии. М.: Мир, 2002.
8. Хант Р.У. Измерение цвета. СПб.: Профессия, 2013.
9. Wyszecki G., Stiles W.S. Color Science: Concepts and Methods, Quantitative Data and Formulae. New York: John Wiley & Sons, 2000.
10. Berns R. Billmeyer and Saltzman's Principles of Color Technology. John Wiley & Sons, 2019.
11. Lim J. Spectrophotometry and Colorimetry Measurement Techniques. CRC Press, 2020.