

УДК 621.753.38: 535.65

А.Д. Купко<sup>1</sup>, В.М. Полищук<sup>2</sup>, О.Ю. Волкова<sup>2</sup><sup>1</sup> ННЦ «Институт метрологии»<sup>2</sup> Харківський національний університет міського господарства ім. О.М. Бекетова

## ИЗМЕРЕНИЕ КООРДИНАТ ЦВЕТНОСТИ ПОВЕРХНОСТИ ДОРОЖНЫХ ЗНАКОВ

*Предлагается метод оперативного контроля координат цветности дорожных знаков. Метод позволяет получать численные характеристики цвета покрытия дорожных знаков и не требует применения дорогостоящего оборудования. Рассмотрены погрешности метода и представлены результаты обследования дорожных знаков в центре г.Харькова*

**Ключевые слова:** колориметрия, дорожные знаки, координаты цветности, контроль качества.

### Введение

Существенное повышение безопасности движения рассматривается в качестве одной из основных целей при развитии автомобильного транспорта Украины. Поставленная цель предполагает ужесточение контроля характеристик эксплуатируемого оборудования, в частности, цветовых характеристик дорожных знаков. При этом целью контроля является установление соответствия фактических цветов дорожных знаков требованиям действующих нормативных документов. Несоответствие цветов дорожных знаков требованиям нормативных документов недопустимо, т.к. отрицательно сказывается на безопасности участников дорожно-транспортного движения. Основные требования к цвету дорожных знаков сформулированы в ДСТУ 4100-2002. В этом документе указаны допустимые для каждого цвета области координат цветности. Определение координат цветности производится для источника типа С, т.е. требования касаются цвета именно дорожного знака, а не цвета отраженного от него излучения.

В процессе изготовления цветовые характеристики знаков контролируются производителем. Производитель обязан производить приемно-сдаточные и периодические испытания. Требования к испытаниям конкретизируются в технических условиях. Осуществление такого контроля в сфере эксплуатации представляет достаточно сложную техническую и организационную задачу, которая в настоящее время не решена в полной мере. Портативные зарубежные колориметры способны выполнять оперативные измерения цвета, однако их стоимость составляет несколько тысяч евро. Производители знаков указывают срок, в течение которого гарантируется необходимое качество дорожных знаков. По ДСТУ 4100-2002 гарантийный срок для знаков с внешним освещением должен составлять два года, а для знаков со световозвращающим по-

крытием – один год со дня ввода в эксплуатацию. Дорожные знаки постоянно находятся в достаточно тяжелых условиях, подвергаются воздействию температурных изменений, солнечной радиации и атмосферной среды. Степень и результаты такого воздействия индивидуальны для каждого дорожного знака. Поэтому отрезки времени, в течение которого они удовлетворяют требованиям нормативных документов, существенно отличаются. Разработав доступную методику оперативной оценки качества дорожных знаков непосредственно на месте их установки, можно существенно сократить расходы на поддержание качества дорожных знаков, а значит и безопасности движения, на необходимом уровне.

### Основы методики измерений

Поверочная схема для средств измерений цвета [1] и цветности допускает сравнение цвета образцов непосредственно наблюдателем. Тренированный наблюдатель способен уловить даже незначительные отличия в цвете образцов, однако определить на глаз соответствуют ли координаты цветности требованиям [2] невозможно. Предлагаемая методика измерений базируется на использовании ПК в качестве компаратора файлов изображения дорожного знака и меры цвета. Файл изображения меры на фоне дорожного знака получается при помощи цифрового фотоаппарата. [3] Мера цвета прикладывается непосредственно к соответствующему участку дорожного знака. Благодаря этому условия освещения и регистрации для меры и знака совпадают.

При помощи ретрорефлектометра измеряют коэффициент световозвращения участков измеряемого образца пленки.

Измерения проводятся один раз в каждой из трех равномерно распределенных точках контролируемой поверхности одного цвета. [4,5,6] В момент определения прибором коэффициента световозвращения

нення необхідно исключить влияние внешних источников освещения на показания прибора. Коэффициент световозвращения определяют по формуле

$$R' = \frac{I}{E \cdot A}, \quad (1)$$

где - коэффициент световозвращения, кд·лк·м;  
 - сила света, отраженного образцом, кд;  
 - освещенность, создаваемая осветителем в точке, лк;  
 - освещаемая площадь образца, определяемая размерами диафрагмы, м.

За результат измерения коэффициента световозвращения принимают среднее арифметическое значение полученных результатов измерений, выраженное в кд·лк·м и округленное до целого числа.

Измерения должны проводиться в соответствии с требованиями, указанными в паспорте на измерительный прибор, и руководством по эксплуатации.

Сущность метода заключается в измерении координат цветности угловых точек цветовых областей для элементов изображения знаков по колориметрической системе МКО 1931 г. при спектральном распределении излучения стандартного источника света типа D65 по ГОСТ 7721-89.

Спектрофотометр (колориметр), работающий при углах освещения  $(45 \pm 5)^\circ$  и наблюдения  $(90 \pm 5)^\circ$ , когда источник света расположен под углом  $(45 \pm 5)^\circ$ , а фотоприемник измерительного прибора - перпендикулярно к поверхности испытуемого образца (рисунок 1). Для измерения коэффициента яркости возможно применение яркомера с аналогичными параметрами.

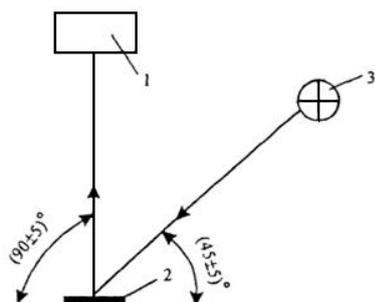


Рисунок 1. Схема измерения координат цветности и коэффициента яркости поверхности дорожного знака : 1 - спектрофотометр (колориметр или яркомер); 2 - испытуемый образец; 3 - источник света

При помощи спектрофотометра (колориметра) измеряют координаты цветности участков измеряемого образца пленки.

Измерения проводятся не менее чем в трех равномерно распределенных точках контролируемой поверхности одного цвета. В момент измерения

прибором координат цветности необходимо исключить влияние внешних источников освещения на показания прибора.

За результат измерения координат принимают среднее арифметическое значение полученных результатов измерений, округленное до одной десятичной тысячной числа.

Любой цвет может быть представлен в виде смеси определенных частей синего, зеленого и красного цвета. Файл изображения содержит информацию о соотношении долей синего, зеленого и красного цветов в каждой точке изображения. По количеству синего (B), зеленого (G) и красного (R) можно рассчитать координаты цвета X, Y, Z. Такая связь хорошо известна, если в качестве красного используется монохроматическое излучение с длиной волны 700 нм, в качестве зеленого - монохроматическое излучение с длиной волны 546,1 нм и синего с длиной волны 435,8 нм.

$$X = +0,4184 R - 0,1587 G - 0,0828 B$$

$$Y = -0,0912 R + 0,2524 G + 0,0157 B$$

$$Z = +0,0009 R - 0,0025 G + 0,1786 B$$

По координатам цвета легко рассчитать координаты цветности x и y, при помощи которых сформулированы требования к цветам дорожных знаков.

$$x = X / (X + Y + Z) \quad (2)$$

$$y = Y / (X + Y + Z) \quad (3)$$

Таким образом, используя информацию о соотношении цветов, содержащуюся в файле, можно получить координаты цветности попадающего в фотоаппарат излучения. Однако, условия освещения могут существенно меняться от съемки к съемке и почти всегда отличаются от освещения при помощи источника С, характеристики фотоаппаратов также не идеальны. Поэтому результаты вычислений будут существенно отличаться от реальных цветностей. [7,8,9]

Для того, что бы получить более точные результаты измерений используется метод сравнения при помощи меры с точно измеренными координатами цветности хэтмеры, уэтмеры. С помощью фотоаппарата и вычислений измеряются координаты цветности x, y изображения дорожного знака, которое анализируется и координаты цветности хэт, уэт изображения меры. Конечные координаты цветности хобразца, уобразца определяются по формулам:

$$X_{\text{образца}} = X - X^{\text{эт}} + X_{\text{меры}}^{\text{эт}} \quad (4)$$

$$Y_{\text{образца}} = Y - Y^{\text{эт}} + Y_{\text{меры}}^{\text{эт}}$$

Очевидно, что чем ближе будут координаты цветности изображения, которое анализируется и

координаты цветности меры, тем точнее будет результат измерения.

Поскольку для каждого цвета в фотоаппарате имеется только 255 градаций, то следует отметить, что для одной точки изображения точность определения доли каждого цвета будет составлять  $1/255$ , а чаще еще меньше. Однако, если рассматривать усредненные по большому количеству точек величины, эту проблему можно считать несущественной. Подробно метод обработки файлов и обсуждение точности измерений изложены в работе [3].

### Стандарты и величины

Для практического использования описанной методики измерений ключевым вопросом является наличие качественных мер. В ДСТУ 4100-2002 указано, что изображения знаков следует наносить полиграфическими или иными красками, которые обеспечивают необходимые колориметрические характеристики, т.е. выбор является проблемой производителя. Наложены дополнительные требования к стойкости краски. Одним из наиболее распространенных способов изготовления знаков является использование самоклеющихся пленок. Широкое распространение обусловлено хорошей стойкостью и качеством таких пленок, а так же удобством их использования. Существует множество компаний, продукция которых используется для производства дорожных знаков. Была выбрана одна из них, выпускающая полный набор цветов. Были изготовлены пластины размером 50x50мм, на них наклеены пленки. Для удобства использования была предусмотрена возможность крепления мер.

Набор мер был исследован на установке, схема которой представлена на рисунке 1. Стабилизированное излучение компактной галогенной лампы КГМ 12-60 фокусировалось на входную щель монохроматора МДР-41. Входная и

выходная щели монохроматора имели ширину 5 мм, что соответствует спектральной ширине 10 нм. Монохроматор выставлялся на длину волны  $\lambda_i = 380$  нм. Вблизи выходной щели монохроматора располагался опорный метрологический фотодиод ФД 288. Сигнал этого фотодиода ( $I_{oi}$ ) регистрировался вольтметром В7-46/1 в режиме измерения токов. Затем опорный фотодиод убирался, и излучение при помощи линзы попадало в фотометрическую сферу на молочное стекло. Молочное стекло было аттестовано по коэффициенту диффузного отражения при геометрии 0/D. Измерялся ток фотодиода, расположенного на выходном отверстии фотометрической сферы ( $I_{ci}$ ). Измерения проводилось при помощи второго вольтметра В7-46/1. Процедура повторялась на всех длинах волн до 760 нм включительно с шагом 10 нм. Далее вместо молочного стекла на выходном отверстии фотометрической сферы устанавливалась изготовленная мера, после чего процедура повторялась. Измерялся на каждой длине волны ток опорного фотодиода ( $I_{oi}^{\phi 1}$ ) и ток фотодиода на фотометрической сфере ( $I_{ci}^{\phi 1}$ ). Коэффициентом пропускания считалось отношение

$$\rho^{\phi 1} = \rho_{mc} \frac{I_{ci}^{\phi 1} \cdot I_{oi}}{I_{ci} \cdot I_{oi}^{\phi 1}} \quad (5)$$

где  $\rho_{mc}$  – коэффициент отражения молочного стекла. Таким образом производился учет долговременной нестабильности излучения лампы. Погрешность измерения коэффициента отражения не превышала 0,5. Результаты измерения коэффициентов отражения  $\rho_j$  представлены на рисунке 3.

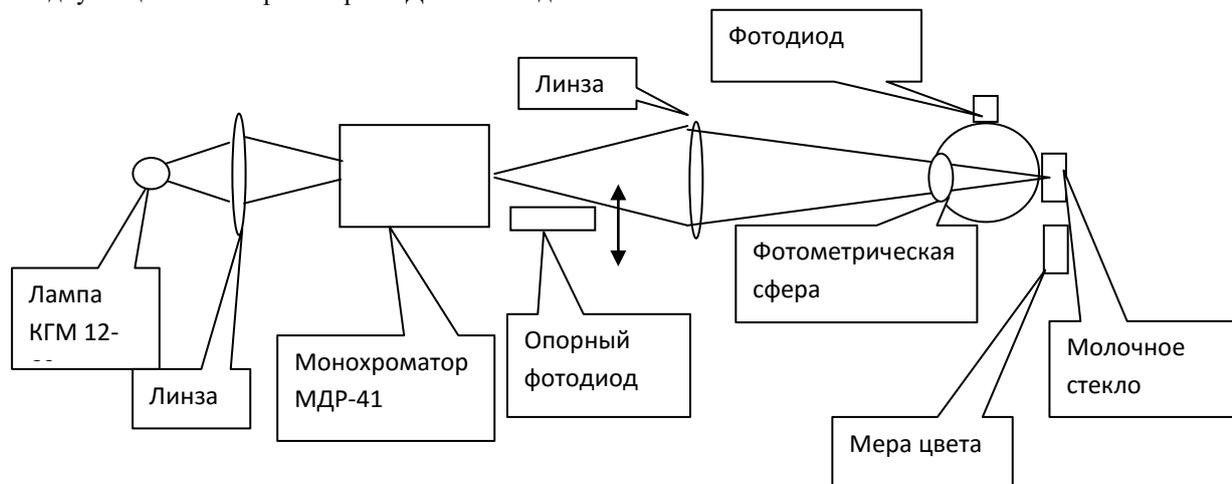


Рисунок 2. Схема установки для измерения коэффициента отражения.

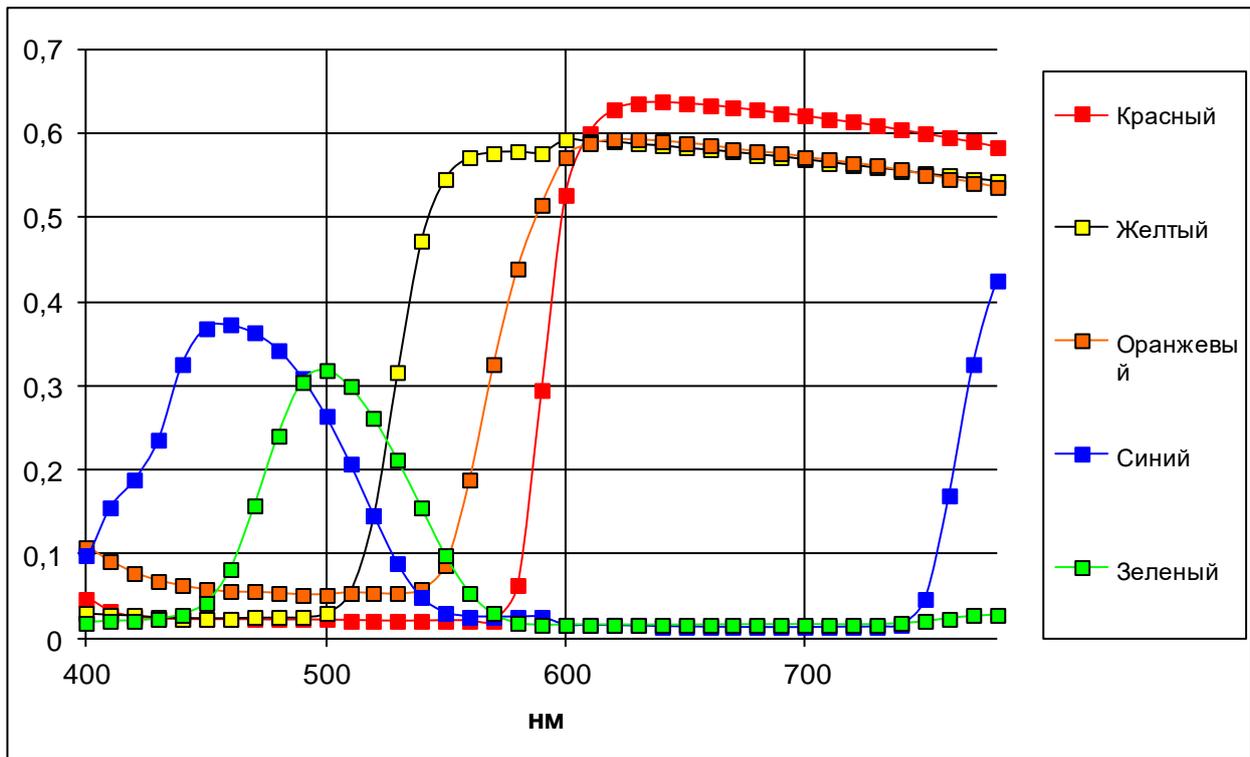


Рисунок 3. Коефіцієнти відбиття мер цвета

По результатам измерений были рассчитаны координаты цвета X,Y,Z по формулам

$$\begin{aligned}
 X &= \int_{380}^{760} \rho_j(\lambda) B(\lambda) x(\lambda) d\lambda, \\
 Y &= \int_{380}^{760} \rho_j(\lambda) B(\lambda) y(\lambda) d\lambda, \\
 Z &= \int_{380}^{760} \rho_j(\lambda) B(\lambda) z(\lambda) d\lambda
 \end{aligned}
 \tag{6}$$

и координаты цветности x,y по формулам

$$x = X/(X + Y + Z), y = Y/(X + Y + Z).$$

где  $x(\lambda)$   $y(\lambda)$   $z(\lambda)$  – табулированные функции [4],  $B(\lambda)$  – спектральная плотность излучения источника типа С,

$\rho_j(\lambda)$  – коэффициент отражения меры.

Результаты расчета приведены в табл. 1.

Таблица 1. Координаты цветности мер цвета.

Координаты цветности	Красный	Желтый	Оранжевый	Синий	Зеленый
x	0,611	0,508	0,530	0,151	0,183
y	0,311	0,455	0,344	0,183	0,506

Приведенные в таблице координаты обозначены на рисунке 3 квадратами без соединительных линий, там же приведены локус – геометрическое место точек спектрально чистых цветов, линии с квадратами ограничивают допустимые области координат цветности, линии с черточками ограничивают рекомендуемые области. Видно, что изготовленные меры попадают в допустимые области для

всех цветов, кроме оранжевого. Для желтого и белого они находятся на границе рекомендуемых областей. Таким образом, можно утверждать, что для синего, зеленого, желтого, красного и белого цветов имеются меры, пригодные для использования в описанном методе определения координат цветности дорожных знаков.

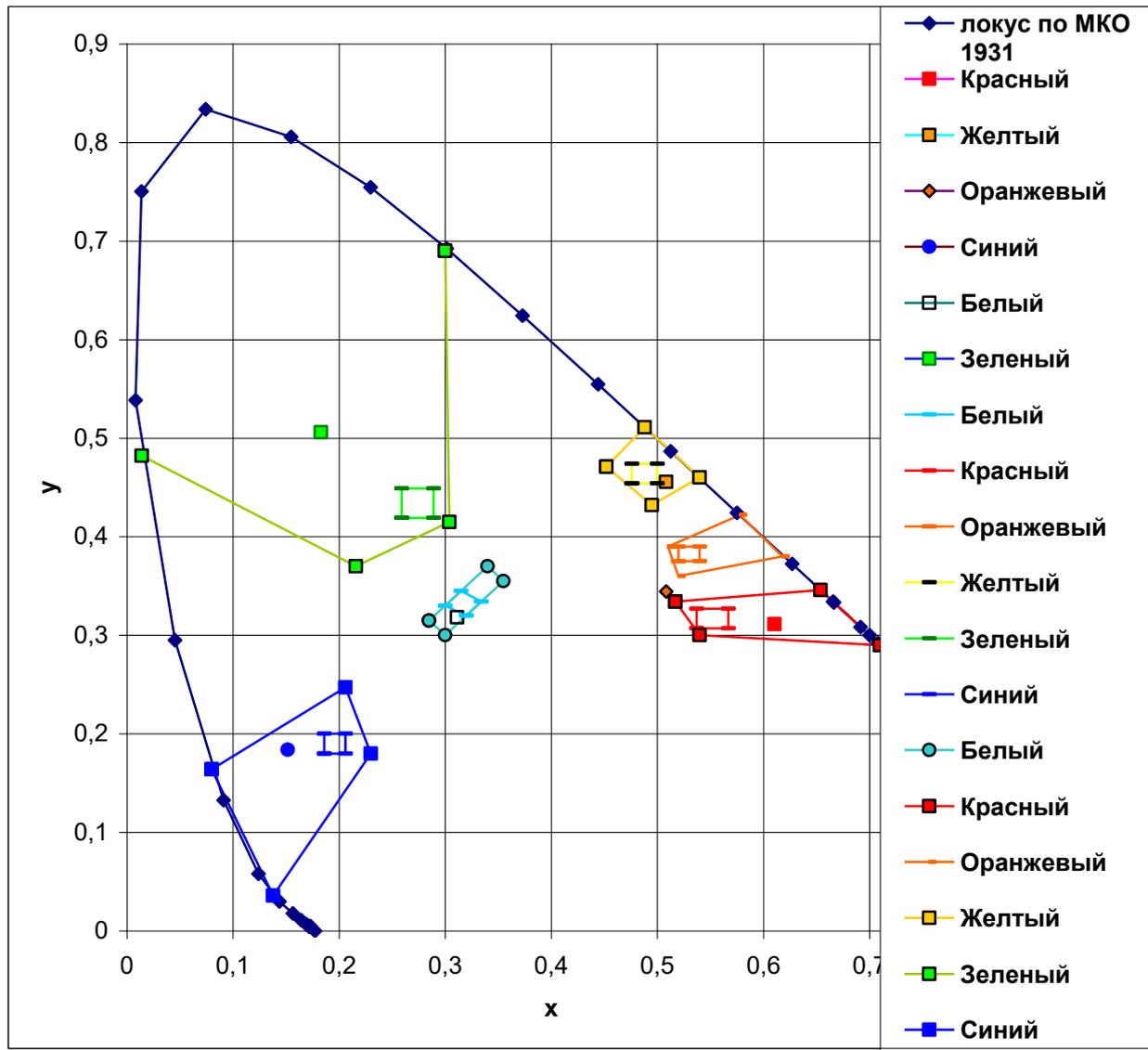


Рисунок 4. Требования ДСТУ 4100-2002 и координаты цветности изготовленных мер цвета.

### Точность измерения

На точность измерения влияет погрешность метода сравнения. Приведенные результаты относятся к фотоаппарату SONY H5, для других фотоаппаратов исследований не проводилось. В эту погрешность входит неравномерность чувствительности пикселей фотоаппарата. Для оценки ее влияния производились съемки одной и той же меры в разных частях кадра. Результаты представлены в табл.2.

Представлены средние по серии измерений, среднеквадратичные отклонения и максимальные различия в измерениях координатах цветности.

Видно, что СКО результатов порядка 0,01.

Таблица 2. Координаты цветности меры красного цвета в зависимости от положения в кадре.

Положение в кадре	x	y
лево верх	0,5175	0,362
лево низ	0,5335	0,3489
центр	0,5339	0,3591
право верх	0,5487	0,3577
право низ	0,5369	0,3654
лево центр	0,5477	0,3466
право центр	0,5385	0,3491
среднее	0,53667	0,35554
СКО	0,01044	0,00732
минимум-максимум	0,0312	0,0188

Эти результаты характеризуют различия чувствительности при больших масштабах, сравнимых с размером всего кадра. Различия в чувствительности между соседними пикселями не учитывались, так, как они усредняются и не вносят существенного вклада в суммарную погрешность. Следует учитывать, что фотоаппарат регистрирует цвет как характеристику излучения, а не характеристику образца.

Цвет определяется как характеристиками образца при используемых углах освещения и наблюдения, так и характеристиками осветителя. Для того, что бы определить погрешность измерения все пластины набора мер фотографировались при различном освещении, под различными углами, при различных режимах фотоаппарата.

Результаты измерений представлены в табл. 3

Таблица 3. Результаты измерений координат цветности в зависимости от углов освещения и наблюдения.

Цвет	Координаты цветности											
	желтый		синий		зеленый		оранжевый		красный		белый	
	x	y	x	y	x	y	x	y	x	y	x	y
Различные углы	0,442	0,552	0,211	0,258	0,229	0,418	0,508	0,488	0,589	0,352	0,325	0,347
	0,442	0,553	0,212	0,258	0,227	0,41	0,5091	0,487	0,59	0,351	0,327	0,35
	0,444	0,551	0,21	0,24	0,228	0,413	0,5154	0,481	0,588	0,34	0,326	0,349
	0,443	0,551	0,213	0,243	0,228	0,41	0,5147	0,481	0,585	0,343	0,325	0,349
	0,443	0,552	0,207	0,243	0,229	0,419	0,5153	0,481	0,602	0,341	0,335	0,349
	0,443	0,552	0,211	0,248	0,228	0,415	0,5135	0,482	0,591	0,341	0,325	0,35
	0,442	0,552	0,209	0,25	0,228	0,412	0,5093	0,487	0,593	0,361	0,327	0,348
	0,443	0,552	0,213	0,249	0,228	0,411	0,5083	0,487	0,601	0,352	0,327	0,35
среднее	0,4428	0,5517	0,2107	0,2486	0,2279	0,4135	0,5117	0,4841	0,5923	0,3475	0,3270	0,3490
СКО	0,0006	0,0007	0,0019	0,0067	0,0005	0,0034	0,0033	0,0032	0,0061	0,0073	0,0032	0,0010
min-max	0,002	0,002	0,005	0,018	0,001	0,009	0,0074	0,007	0,017	0,02	0,01	0,003

Видно, что СКО результатов для всех цветов менее чем 0,01.

Поскольку покрытие дорожных знаков должно быть световозвращающим, т.е. в сторону источника освещения должна отражаться большая доля излучения, чем для других направлений, была исследована и эта составляющая погрешности. Были сделаны фотографии под углом наблюдения близким к углу освещения и под большим углом. Визуально наличие отраженного назад излучения хорошо контролируется – внешний вид образца существенно меняется. Результаты измерений показывают, что СКО измерений составляет 0,015-0,007.

Учитывая все составляющие, можно утверждать, что СКО суммарной погрешности метода сравнения координат цветности при помощи фотоаппарата не превышает 0,02. Все рассмотренные составляющие были случайными, а не систематическими, поэтому использование нескольких измерений позволит существенно снизить суммарную погрешность.

### Измерения

Для апробации предложенного метода в центральной части г.Харькова были обследованы несколько дорожных знаков. Фотографирование проводилось при условиях естественного освещения, режим съемок выбирался автоматически и был разным для разных кадров. Исследовалось только три

самых распространенных цвета: синий, красный и белый. Типичная фотография представлена на рис. 4.



Рисунок 5. Фотография меры синего цвета на фоне дорожного знака.

На каждой фотографии выделялись две области внутри меры и две области по разные стороны от нее. Результатом считалось среднее из двух измерений. Обработка фотографий проводилась средствами, описанными в [3]. Следует отметить, что явное отличие цвета меры и цвета дорожного знака на фотографии не всегда означает большое отличие по координатам цветности. Особенно явно это видно для белого цвета. Серый, покрытый пылью дорожный знак, явно отличающийся от меры, часто несущественно отличается от меры по координатам цветности. Это подчеркивает преимущество объек-

тивной регистрации по сравнению с визуальным сравнением.

Результаты измерений представлены на рисунках 5,6,7.

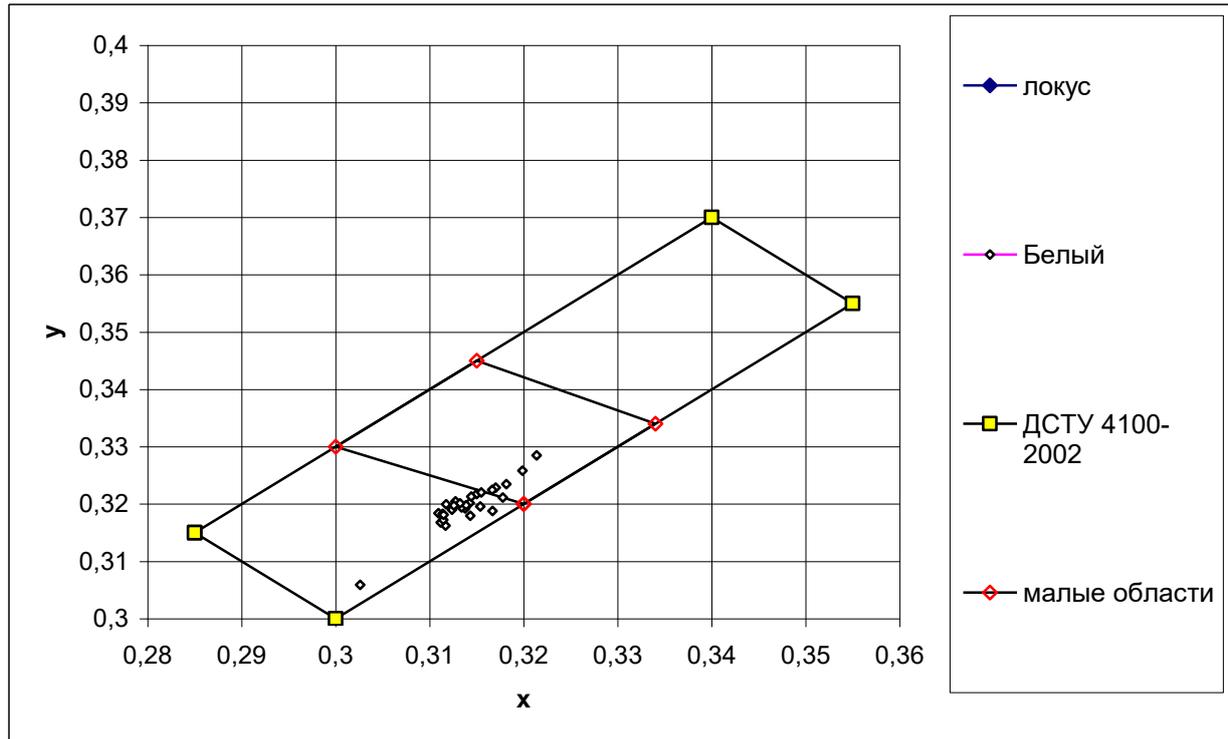


Рисунок 6. Результаты измерений координат цветности белого цвета на дорожных знаках на фоне допустимой по ДСТУ 4100-2002 области.

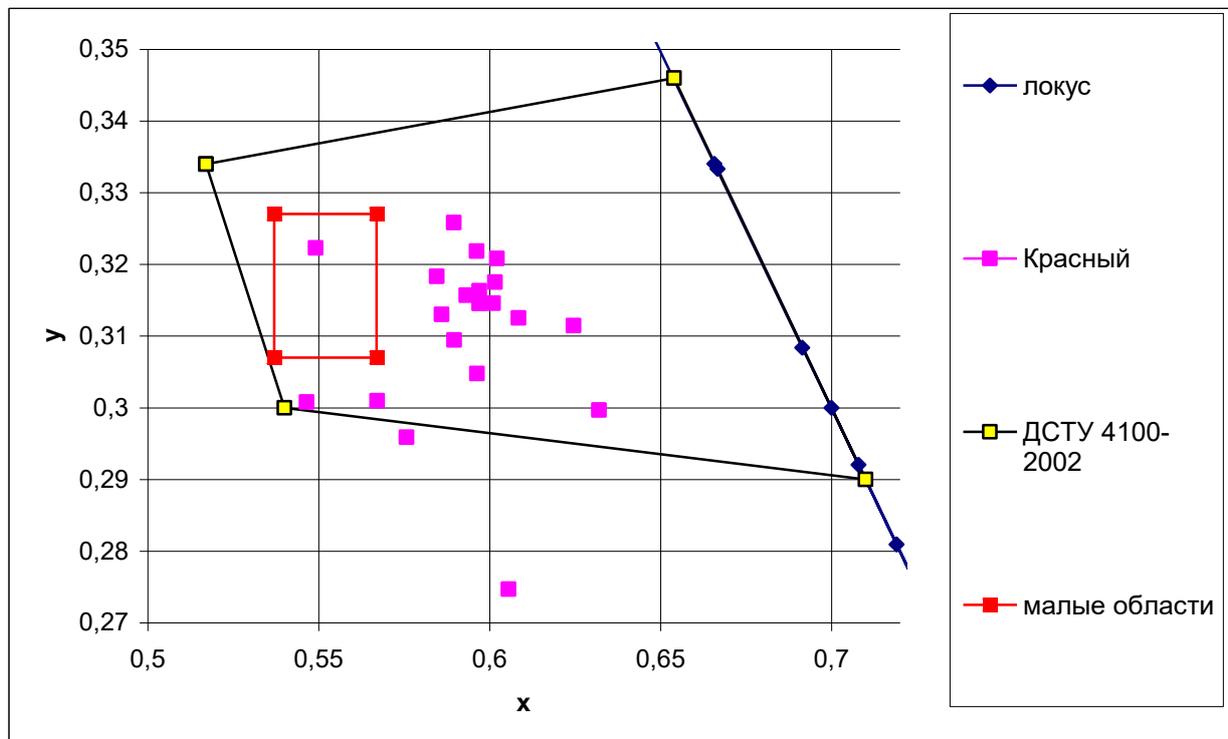


Рисунок 7. Результаты измерений координат цветности красного цвета на дорожных знаках на фоне допустимой по ДСТУ 4100-2002 области.

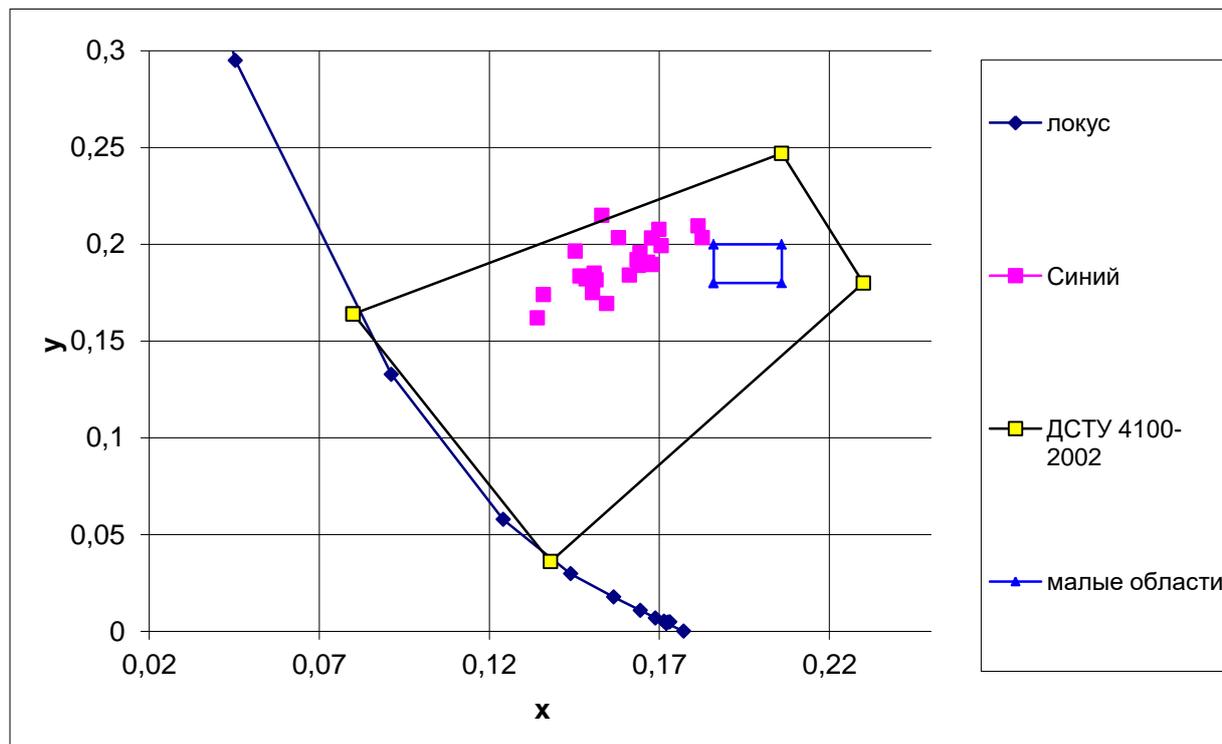


Рисунок 8. Результаты измерений координат цветности синего цвета на дорожных знаках на фоне допустимой по ДСТУ 4100-2002 области.

Видно, что для всех цветов большая часть знаков соответствует требованиям ДСТУ 4100-2002 в части координат цветности.

### Выводы

Проведенные исследования позволяют утверждать, что метод сравнения с мерой при помощи обработки файлов изображения позволяют достаточно оперативно контролировать качество цвета дорожных знаков на месте их расположения. Метод позволяет получать численные характеристики цвета покрытия дорожных знаков и не требует применения дорогостоящего оборудования. Работа на местности не требует высокой квалификации персонала. Обработка результатов посильна для рядового пользователя ПК. Меры цвета должны быть предварительно аттестованы и нуждаются в периодической проверке. Сам фотоаппарат не требует ни проверки, ни метрологической аттестации.

Все это позволяет надеяться на широкое применение метода контроля цветности дорожных знаков в практической работе.

### Литература

1. Державна повірочна схема для засобів вимірювань координат кольору та координат кольоровості.
2. ДСТУ 4100-2002. Знаки дорожні. Загальні технічні умови. Правила застосування. Київ. Держстандарт України. 2002 р.

3. Волошин М.В., Купко А.Д. Контроль цвета источников света цифровым фотоаппаратом. *Світло люкс*, №6, 2007, стр. 62-65.
4. Метрологія. *КООРДИНАТИ КОЛЬОРУ ТА КОЛЬОРОВОСТІ. Метод розрахунку. РМУ 11-054-2007.*
5. Гуревич М. М., *Цвет и его измерение*, М. — Л., 1950
6. Нюберг Н. Д., *Измерение цвета и цветовые стандарты*, М., 1933;
7. Wright W. D., *The measurement of colour*, 3 ed., L., 1964;
8. Wyszecky G., Stiles W. S., *Color science*, N. Y., 1967.
9. [http://www.az-print.com /index. shtml? FAQ&He idelberg/H D004](http://www.az-print.com/index.shtml?FAQ&He idelberg/H D004)

### Reference

1. *Derzhavna povirochna skhema dlya zasobiv vimiryuvan koordinat koloru ta koordinat kolorovosti.*
2. *DSTU 4100-2002. Znaki dorozhni. Zagalni tekhnichni umovi. Pravila zastosuvannya. Kiiv. Derzhstan-dart Ukraïni. 2002 r.*
3. *Voloshin M.V.. Kupko A.D. Kontrol tsveta is-tochnikov sveta tsifrovym fotoapparatom. Svitlo lyuks. №6. 2007. str. 62-65.*
4. *Metrologiya. KOORDINATI KOLORU TA KOLOROVOSTI. Metod rozrakhunku. RMU 11-054-2007.*
5. *Gurevich M. M.. Tsvet i ego izmereniye. M. — L.. 1950*
6. *Nyuberg N. D.. Izmereniye tsveta i tsvetovyye standarty. M.. 1933;*
7. *Wright W. D., The measurement of colour, 3 ed., L., 1964;*
8. *Wyszecky G., Stiles W. S., Color science, N. Y., 1967.*
9. [http://www.az-print.com /index. shtml? FAQ&He idelberg/H D004](http://www.az-print.com/index.shtml?FAQ&He idelberg/H D004)

**Автор:** ВОЛКОВА Оксана Юрьевна  
Кандидат технических наук, доцент кафедры систем электроснабжения и электропотребления городов  
Харьковский национальный университет городского хозяйства имени А.Н. Бекетова  
E-mail – kasya\_polish@mail.ru

**Автор:** ПОЛИЩУК Валентина Николаевна  
Кандидат технических наук, доцент кафедры Светотехники и источников света  
Харьковский национальный университет городского хозяйства имени А.Н. Бекетова

**Автор:** КУПКО Александр Данилович  
Доктор технических наук, ННЦ «Институт метрологии»  
E-mail – kupkoad@metrology.kharkov.ua

### ВИМІРЮВАННЯ КООРДИНАТ КОЛЬОРНОСТІ ПОВЕРХНІ ДОРОЖНИХ ЗНАКІВ

А.Д. Купко, О.Ю. Волкова, В.М. Поліщук

*Пропонується метод оперативного контролю координат кольорності дорожніх знаків. Метод дозволяє отримувати числові характеристики кольору покриття дорожніх знаків і не потребує застосування дорогого обладнання. Розглянуті похибки методу і представлені результати дослідження дорожніх знаків в центрі м. Харкова.*

**Ключові слова:** колориметрія, дорожні знаки, координати кольорності, контроль якості.

### MEASUREMENT OF COORDINATES OF A COLOURED OF SURFACE OF SIGN-BOARDS

O. Kupko, O. Volkova, V. Polishchuk

*The purpose is toughening of control of lighting characteristics of the operated equipment, in particular, of color characteristics of road signs by establishment of compliance of the actual flowers of road signs to requirements of the existing normative documents. Similar discrepancy has an adverse effect on safety of participants of the road and transport movement. Producers of signs specify the term during which necessary quality of road signs is guaranteed. Road signs constantly are in rather severe conditions, are affected by temperature changes, solar radiation and the atmospheric environment. Degree and results of such influence are individual for each road sign. Having developed an available technique of an operational assessment of quality of road signs directly on a place of their installation, it is possible to cut down significantly expenses on maintenance of quality of road signs, so and traffic safety, at the necessary level. The offered measurement technique is based on use of the personal computer as the comparator of files of the image of a road sign and a measure of color. The file of the image of a measure against a road sign turns out by means of the digital camera. The measure of color is put directly to the corresponding site of a road sign. Thanks to it conditions of lighting and registration for a measure and a sign coincide. The accuracy of measurement is influenced by a comparison method error. The method allows receiving numerical characteristics of color of a covering of road signs and doesn't demand use of the expensive equipment. All this allows hoping for broad application of a control method of chromaticity of road signs in practical work.*

**Keywords:** colorimetry, road signs, chromaticity coordinates, quality control.