

МЕТОД ОПЕРАТИВНОГО КОНТРОЛЮ ВІДПОВІДНОСТІ КОЛЬОРУ ДОРОЖНІХ ЗНАКІВ ДЕРЖАВНИМ СТАНДАРТАМ

Купко О.Д.

Національний науковий центр «Інститут метрології», Харків

Полярус О.В.

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Вступ

Безпека руху в епоху автомобілізації країни має надзвичайно велике значення. Вона в значній мірі залежить від стану автомобільних доріг та придорожного обладнання, зокрема від характеристик кольоровості дорожніх знаків і розмітки дороги. При цьому важливим є встановлення відповідності між фактичними кольорами дорожніх знаків і вимогами чинних нормативних документів щодо кольоровості. Невідповідність кольорів дорожніх знаків вимогам зазначених документів недопустима, оскільки знижує безпеку учасників дорожнього руху. Основні вимоги до кольору дорожніх знаків сформульовано в ДСТУ 4100-2002. В цьому документі приведені допустимі для кожного кольору області координат кольоровості. Визначення координат кольоровості здійснюється для джерела типу С, тобто вимоги стосуються кольору дорожнього знаку, а не кольору відбитого від нього випромінювання.

В процесі виготовлення характеристики кольоровості знаків контролюються виробником. Виробник повинен здійснювати приймально-здавальні та періодичні випробування. Вимоги до випробувань конкретизуються в технічних умовах. Реалізація такого контролю в сфері експлуатації являє собою достатньо складну технічну і організаційну задачу, яка на цей час ще неповністю розв'язана. Портативні закордонні колориметри спроможні оперативно вимірювати характеристики кольоровості, однак вартість кожного з них оцінюється в декілька тисяч євро. Виробники знаків зазначають термін, на протязі якого гарантується необхідна якість дорожніх знаків. Згідно з ДСТУ 4100-2002 гарантійний термін для знаків з зовнішнім освітленням повинен становити два роки, а для знаків з світловідбиттєвим покриттям – один рік з дня введення в експлуатацію. На стан дорожніх знаків негативно впливають температурні перепади, сонячна радіація і атмосферні умови (дощ, сніг, вітер, вихлопні гази автомобілів тощо). Обсяг і результати такої дії є індивідуальними для кожного дорожнього знаку. Тому відрізки часу, на протязі якого вони задовільняють вимоги нормативних документів, істотно відрізняються. Отже, наріла необхідність створення доступної методики оперативної оцінки якості дорожніх знаків безпосередньо на місці їх встановлення. Це дозволить суттєво знизити витрати на підтримання якості дорожніх знаків в ході експлуатації і не зменшити рівень безпеки руху.

1. Основи методики вимірювань

Перевіряльна схема для засобів вимірювань кольору і кольоровості припускає порівняння кольору зразків безпосередньо спостерігачем. Тренований спостерігач спроможний виявити навіть незначні відмінності в кольорі зразків, однак оцінити візуально відповідність кольору знаку вимогам стандартів [1] неможливо. Використання сучасних колориметрів в наших умовах обмежено, як зазначалось, економічними чинниками. Тому в статті пропонується методика вимірювань, що ґрунтується на порівнянні файлів зображення дорожнього знаку і міри кольору. Файл зображення міри на фоні дорожнього знаку отримують з допомогою звичайного цифрового фотоапарату. Міра кольору прикладається безпосередньо до відповідної

ділянки дорожнього знаку, для того щоб умови освітлення і реєстрації для міри та знаку збігалися.

Розрізнення кольорів звичайно здійснюють за параметрами: світлість, кольоровий тон і насиченість [2]. Світлість зв'язана з зоровим сприйняттям інтенсивності потоку променевої енергії. Кольоровий тон характеризує домінуючий колір, який еквівалентний тому чи іншому спектральному кольору. Насиченість кольору обумовлена наявністю в ньому білого кольору. Кольоровий тон і насиченість разом називаються кольоровістю.

Будь-який колір може бути представлений у вигляді суміші визначених частин синього, зеленого і червоного кольорів. Файл зображення містить інформацію про співвідношення часток синього, зеленого і червоного кольорів в кожній точці зображення. По кількісним характеристикам синього B (blue), зеленого G (green) та червоного R (red) кольорів можна розрахувати координати кольору X, Y, Z. Такий зв'язок добре відомий, якщо як червоний використовується монохроматичне випромінювання з довжиною хвилі 700 нм, як зелений – монохроматичне випромінювання з довжиною хвилі 546,1 нм і, нарешті, таке ж випромінювання для синього кольору з довжиною хвилі 435,8 нм.

$$\begin{aligned} X &= +0,4184 R & -0,1587 G & -0,0828 B, \\ Y &= -0,0912 R & +0,2524 G & +0,0157 B, \\ Z &= +0,0009 R & -0,0025 G & +0,1786 B. \end{aligned}$$

За координатами кольору легко розрахувати координати кольоровості x , y та z , з допомогою яких сформульовано вимоги до кольорів дорожніх знаків:

$$\begin{aligned} x &= X / (X + Y + Z), \\ y &= Y / (X + Y + Z), \\ z &= Z / (X + Y + Z). \end{aligned} \tag{1}$$

З співвідношення (1) випливає, що

$$x + y + z = 1. \tag{2}$$

Таким чином, з допомогою інформації про співвідношення кольорів, що міститься в файлі, можна одержати координати кольоровості випромінювання, яке потрапляє в фотоапарат. Однак умови освітленості можуть істотно змінюватись від знімання до знімання, і майже завжди відрізняються від освітлення, що створюється джерелом С. Крім того, характеристики всіх типів фотоапаратів також не ідеальні. Тому результати обчислень будуть відрізнятись від реальних кольоровостей.

Для того, щоб отримати більш точні результати вимірювань, використовується метод порівняння на основі міри з точно відомими координатами кольоровості $x^{et}_{міри}$, $y^{et}_{міри}$. З допомогою фотоапарата і розрахунків визначаються координати кольоровості x , y зображення дорожнього знаку, яке аналізується, і координати кольоровості x^{et} , y^{et} зображення міри. Остаточні координати кольоровості $x_{зразка}$, $y_{зразка}$ визначаються за формулами:

$$x_{зразка} = x - x^{em} + x_{міри}^{em},$$

$$y_{зразка} = y - y^{em} + y_{міри}^{em}.$$
(3)

Очевидно, що чим ближче будуть координати кольоровості зображення, яке аналізується, і координати кольоровості міри, тим точніше будуть результати вимірювання.

Оскільки для кожного кольору в фотоапараті є тільки 255 градацій, то для кожної окремої точки зображення точність визначення частки кожного кольору буде складати 1/255, а часто ще менше. Однак, якщо розглядати усереднені по великій кількості точок величини, цю проблему можна вважати несуттєвою. Детальніше метод обробки файлів і обговорення точності вимірювань приведено в [3].

2. Міри

Для практичного використання описаної методики вимірювань ключовим питанням є наявність якісних мір. В ДСТУ 4100-2002 зазначено, що зображення знаків треба наносити поліграфічними або іншими фарбами, які забезпечують необхідні колориметричні характеристики, тобто вибір є проблемою виробника. В цьому ж документі висуваються додаткові вимоги до стійкості фарби. Одним з найбільш поширених способів виготовлення знаків є використання плівок, що самоклеються. Широке поширення обумовлено хорошою стійкістю і якістю таких плівок, а також зручністю їх використання. Існує багато компаній, продукція яких використовується для виробництва дорожніх знаків. Була вибрана одна з них, що випускає повний набір кольорів. Були виготовлені пластини розміром 50x50 мм, на які наклеєні плівки. Для зручності використання була передбачена можливість кріплення мір.

Набір мір був досліджений на установці, схема якої зображена на рис. 1. Стабілізоване випромінювання компактної галогенної лампи КГМ 12-60 фокусувалось на вхідну щілину монохроматора МДР – 41. Вхідна і вихідна щілини монохроматора мали ширину 5 мм, що відповідає спектральній ширині 10 нм. Монохроматор виставлявся на довжину хвилі $\lambda_i = 380$ нм. Біля вихідної щілини монохроматора розміщувався опорний метрологічний фотодіод ФД 288. Сигнал цього фотодіоду (I_{oi}) реєструвався вольтметром В7-46/1 в режимі

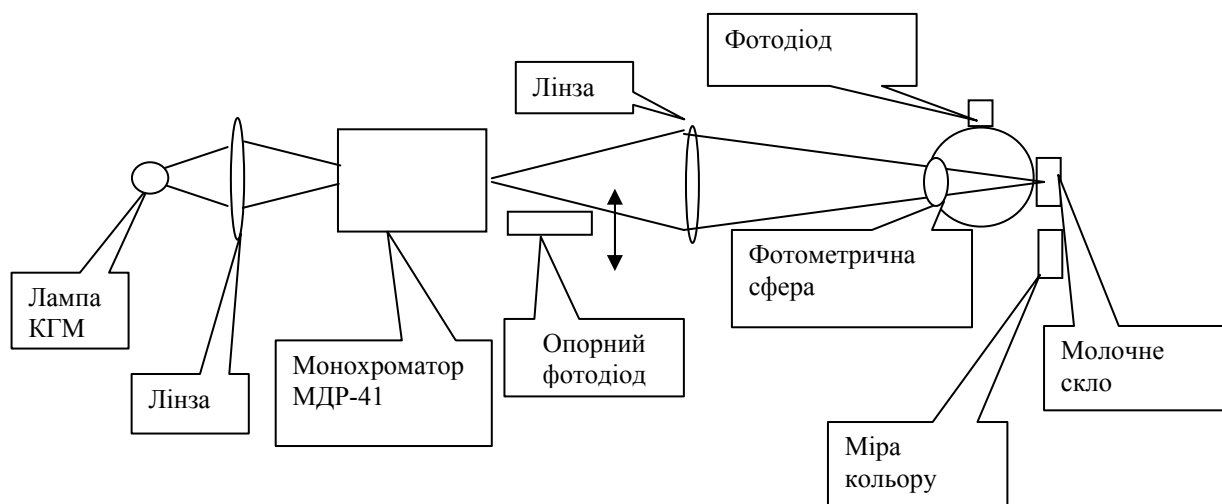


Рис. 1. Схема установки для вимірювання коефіцієнта відбиття

вимірювання струмів. Потім опорний фотодіод усувався і випромінювання з допомогою лінзи потрапляло в фотометричну сферу на молочне скло. Молочне скло було атестоване по коефіцієнту дифузного відбиття при геометрії 0/D, тобто для випадку, коли світловий потік спрямовувався під кутом $0 \pm 10^\circ$ відносно нормалі до поверхні зразка, а спостерігалось дифузне відбите світло. Вимірювався струм фотодіода (I_{ci}), що розміщувався на вихідному отворі фотометричної сфери. Вимірювання здійснювалось з допомогою іншого вольтметра В7-46/1. Процедура повторювалась на всіх довжинах хвиль до 760 нм включно з кроком 10 нм. Далі замість молочного скла на вихідному отворі фотометричної сфери встановлювалась виготовлена міра, після чого процедура повторювалась. На кожній довжині хвилі вимірювався струм опорного фотодіода ($I_{oi}^{\phi 1}$) і струм фотодіода на фотометричній сфері ($I_{ci}^{\phi 1}$). Коефіцієнт пропускання розраховувався за формулою

$$\rho^{\phi 1} = \rho_{mc} \frac{I_{ci}^{\phi 1} \cdot I_{oi}}{I_{ci} \cdot I_{oi}^{\phi 1}},$$

де ρ_{mc} – коефіцієнт відбиття молочного скла. Таким чином здійснювалось урахування довготривалої нестабільності випромінювання лампи. Похибка вимірювання коефіцієнта відбиття не перевищувала 0,5.

Результати вимірювання коефіцієнтів відбиття ρ_j представлено на рис. 2.

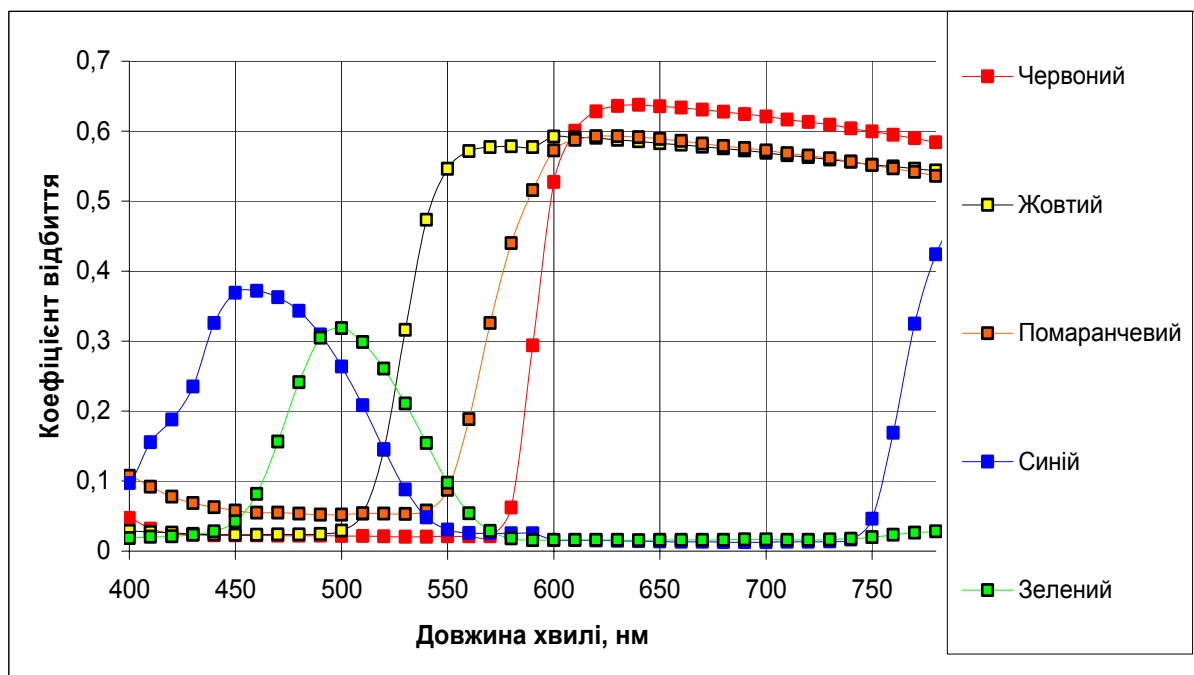


Рис. 2. Коефіцієнти відбиття мір кольору

За результатами вимірювання були розраховані координати кольору X, Y, Z за формулами

$$X = \int_{380}^{760} \rho_j(\lambda) B(\lambda) x(\lambda) d\lambda, \quad Y = \int_{380}^{760} \rho_j(\lambda) B(\lambda) y(\lambda) d\lambda, \quad Z = \int_{380}^{760} \rho_j(\lambda) B(\lambda) z(\lambda) d\lambda$$

і координати кольоровості x, y, z за формулами (1),

де $x(\lambda)$, $y(\lambda)$, $z(\lambda)$ – табульовані функції [3],

$V(\lambda)$ – спектральна щільність випромінювання джерела типу С,

$\rho_j(\lambda)$ – коефіцієнт відбиття міри.

Результати розрахунку приведені в таблиці 1.

Таблиця 1 – Координати кольоровості мір кольору

| Координати кольоровості | Червоний | Жовтий | Помаранчевий | Синій | Зелений |
|-------------------------|----------|--------|--------------|-------|---------|
| x | 0,611 | 0,508 | 0,530 | 0,151 | 0,183 |
| y | 0,311 | 0,455 | 0,344 | 0,183 | 0,506 |

В таблиці 1 відсутня координата кольоровості z. Справа в тому, що існує інший спосіб представлення кольору на основі діаграми кольоровості [2]. По горизонтальній осі відкладаються значення кольоровості x, які відповідають червоному кольору, а по осі y – ті ж значення, що відповідають зеленому кольору. Синій колір (координата z) зв'язаний з двома іншими співвідношенням (2).

Приведені в таблиці 1 координати позначені на рис. 3 квадратами без з'єднувальних ліній; там же приведений локус – геометричне місце точок спектрально чистих кольорів. Лінії з квадратами обмежують допустимі області координат кольоровості, лінії з рисками обмежують

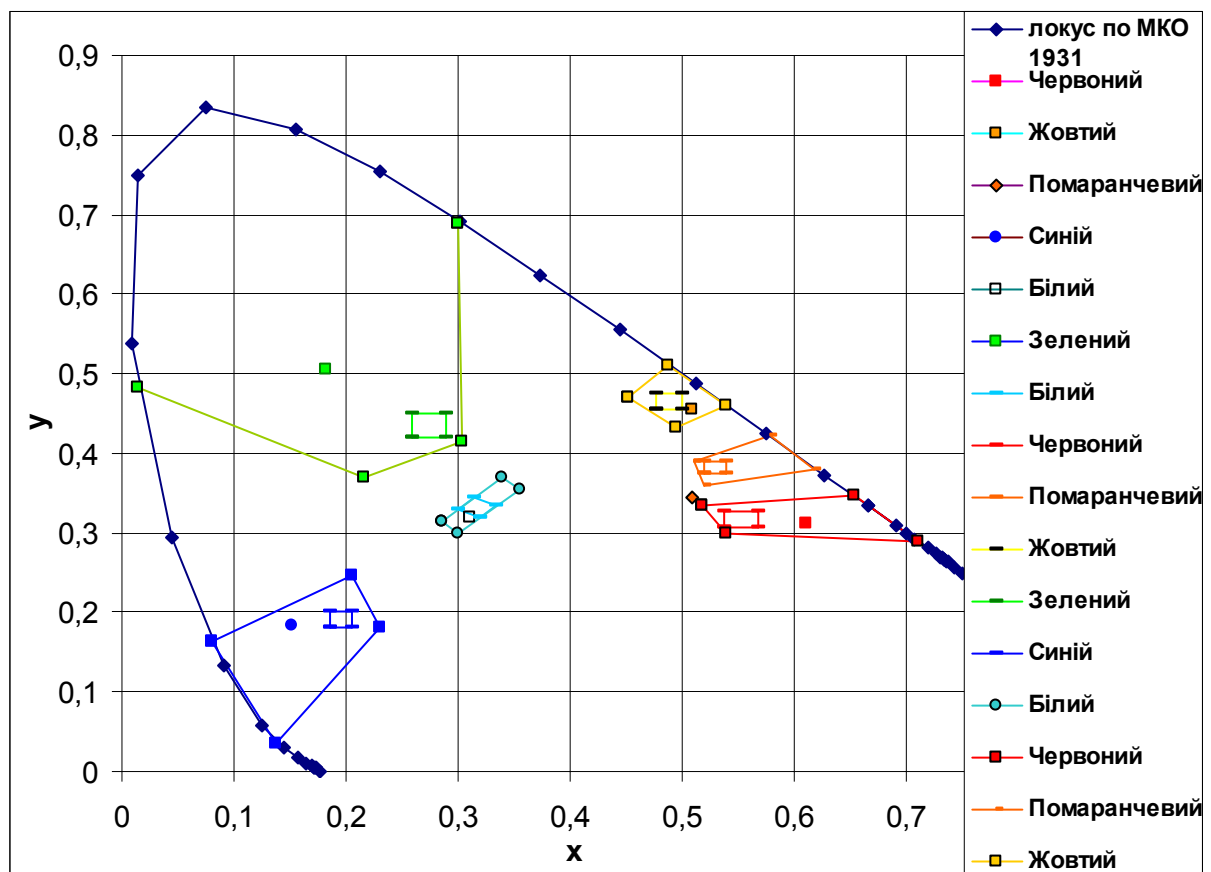


Рис. 3. Вимоги ДСТУ 4100-2002 і координати кольоровості виготовлених мір кольору

області, що рекомендуються. Видно, що виготовлені міри потрапляють в допустимі області для всіх кольорів, окрім помаранчевого. Для жовтого і білого кольорів вони знаходяться на границі областей, що рекомендуються.

Таким чином, можна стверджувати, що для синього, зеленого, жовтого, червоного і білого кольорів є міри, які придатні для використання в описаному методі визначення координат кольоровості дорожніх знаків. Це означає, що практично всі дорожні знаки можна контролювати в процесі експлуатації за показниками кольоровості, причому для оцінки відповідності кольору дорожніх знаків державним стандартам необхідне відносно просте обладнання.

3. Точність вимірювання

На точність вимірювання впливають похибки методу порівняння. Приведені в статті результати відносяться до фотоапарата SONY H5. Для інших фотоапаратів дослідження не проводились. В цю похибку входить нерівномірність пікселів фотоапарату. Для оцінки її впливу здійснювалось знімання однієї і тієї ж міри в різних частинах кадру. Результати представлені в таблиці 2.

Таблиця 2 – Координати кольоровості міри червоного кольору в залежності від положення в кадрі

| Положення в кадрі | x | y |
|--------------------------------|---------|---------|
| зліва зверху | 0,51750 | 0,36200 |
| зліва знизу | 0,53350 | 0,34890 |
| центр | 0,53390 | 0,35910 |
| справа зверху | 0,54870 | 0,35770 |
| справа знизу | 0,53690 | 0,36540 |
| зліва біля центру | 0,54770 | 0,34660 |
| справа біля центру | 0,53850 | 0,34910 |
| середнє | 0,53667 | 0,35554 |
| середньоквадратичне відхилення | 0,01044 | 0,00732 |
| мінімум-максимум | 0,03120 | 0,01880 |

В таблиці приведені середні по серії вимірювань, середньоквадратичні відхилення (СКВ) і максимальні різниці в вимірюваннях координат кольоровості. Як видно з таблиці, СКВ результатів становить приблизно 0,01.

Ці результати характеризують різницю чутливості при великих масштабах, які сумірні з розміром всього кадру. Різниці в чутливості між сусідніми пікселями не враховувались, оскільки вони усереднюються і не вносять істотного внеску в сумарну похибку. Слід враховувати, що фотоапарат реєструє колір як характеристику випромінювання, а не як характеристику зразка. Колір визначається характеристиками зразка при заданих кутах освітлення і спостереження та характеристиками освітлювача. Для того, щоб визначити похибку вимірювання, всі пластини набору мір фотографувались при різному освітленні під різними кутами при різних режимах фотоапарату. Результати вимірювань представлено в таблиці 3.

Таблиця 3 – Результати вимірювань координат кольоровості в залежності від кутів освітлення і спостереження

| | Координати кольоровості | | | | | | | | | | | | |
|------------|-------------------------|--------|--------|--------|---------|--------|--------------|--------|----------|--------|--------|--------|--------|
| | жовтий | | синій | | зелений | | помаранчевий | | червоний | | білий | | |
| Різні кути | х | у | х | у | х | у | х | у | х | у | х | у | |
| | | 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 |
| | середнє | 0,4428 | 0,5517 | 0,2107 | 0,2486 | 0,2279 | 0,4135 | 0,5117 | 0,4841 | 0,5923 | 0,3475 | 0,3270 | 0,3490 |
| СКВ | 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 | |

З таблиці 3 випливає, що середньоквадратичні відхилення результатів для всіх кольорів не перевищують 0,01.

Оскільки покриття дорожніх знаків повинно бути світловідбивним, тобто в бік джерела освітлення повинна відбиватись більша частина енергії випромінювання, ніж в бік інших напрямків, була експериментально досліджена і ця складова похибки. З такою метою зроблено фотографії під кутом спостереження близьким до кута освітлення і під великим кутом. Візуально наявність відбитого випромінювання добре контролюється – зовнішній вигляд зразка істотно змінюється. Результати вимірювань показують, що СКВ вимірювань становить 0,015...0,007.

З урахуванням всіх складових СКВ сумарної похибки методу порівняння координат кольоровості з допомогою фотоапарату не перевищує 0,02. Всі розглянуті складові були випадковими, а не систематичними, тому використання декількох вимірювань дозволяє суттєво знизити сумарну похибку.

4. Вимірювання кольоровості дорожніх знаків

Для апробації запропонованого методу в центральній частині міста Харків були досліджені декілька дорожніх знаків різних кольорів: синього, червоного і білого. Фотографування проводилось в умовах природного освітлення, режим знімання вибирався автоматично і був різним для різних кадрів. Приклад типової фотографії дорожнього знаку приведений на рис. 4.



Рис. 4. Фотографія міри синього кольору на фоні дорожнього знаку

На кожній фотографії виділялись дві області всередині міри і дві області по різні сторони від неї. Результат визначався як середнє двох вимірювань. Обробка фотографій здійснювалась засобами, які описано в [1]. Слід відзначити, що велика відмінність кольору міри і кольору дорожнього знаку не завжди означає велику відмінність по координатах кольоровості. Особливо це помітно для білого кольору. Покритий пилом дорожній знак сірого кольору, який явно відрізняється від міри, часто виявляється слабо відмінним від міри по координатах кольоровості. Це підкреслює перевагу об'єктивної реєстрації над візуальним порівнянням. Результати вимірювань представлено на рис. 5, 6, 7.

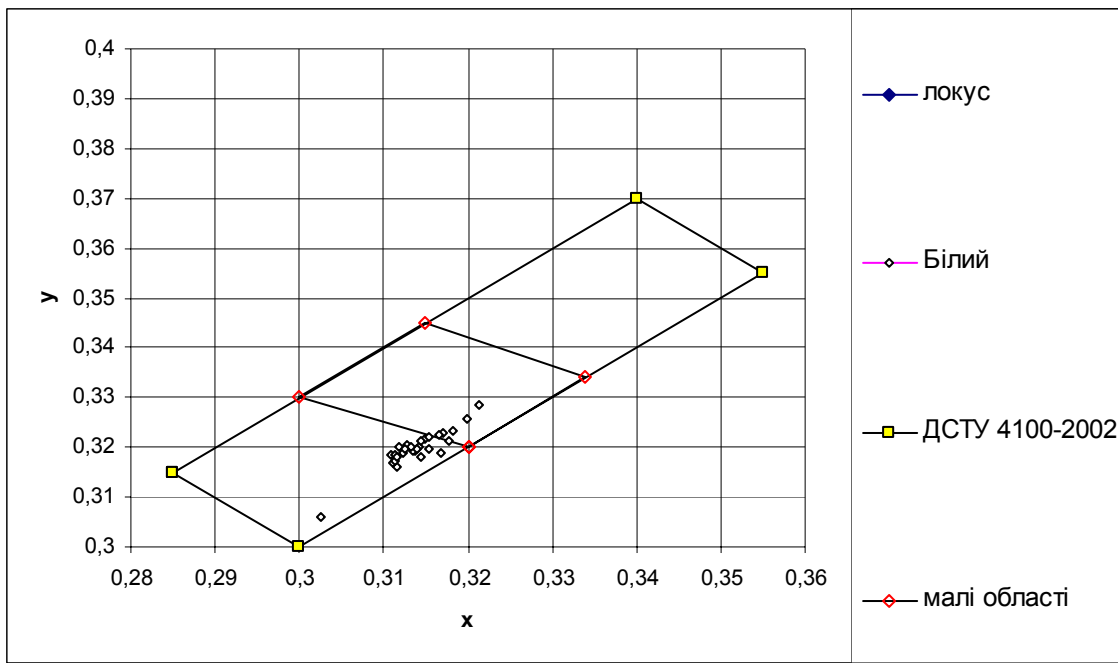


Рис. 5. Результати вимірювань координат кольоровості білого кольору на дорожніх знаках на фоні допустимої по ДСТУ 4100-2002 області

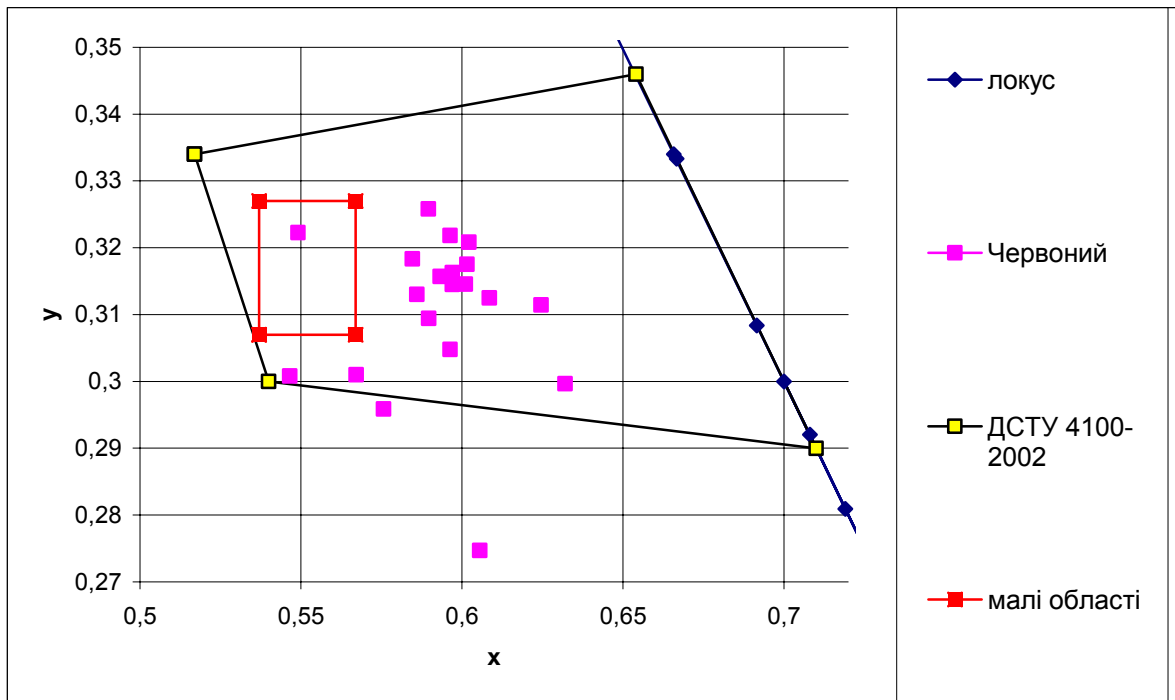


Рис. 6. Результати вимірювань координат кольоровості червоного кольору на дорожніх знаках на фоні допустимої по ДСТУ 4100-2002 області

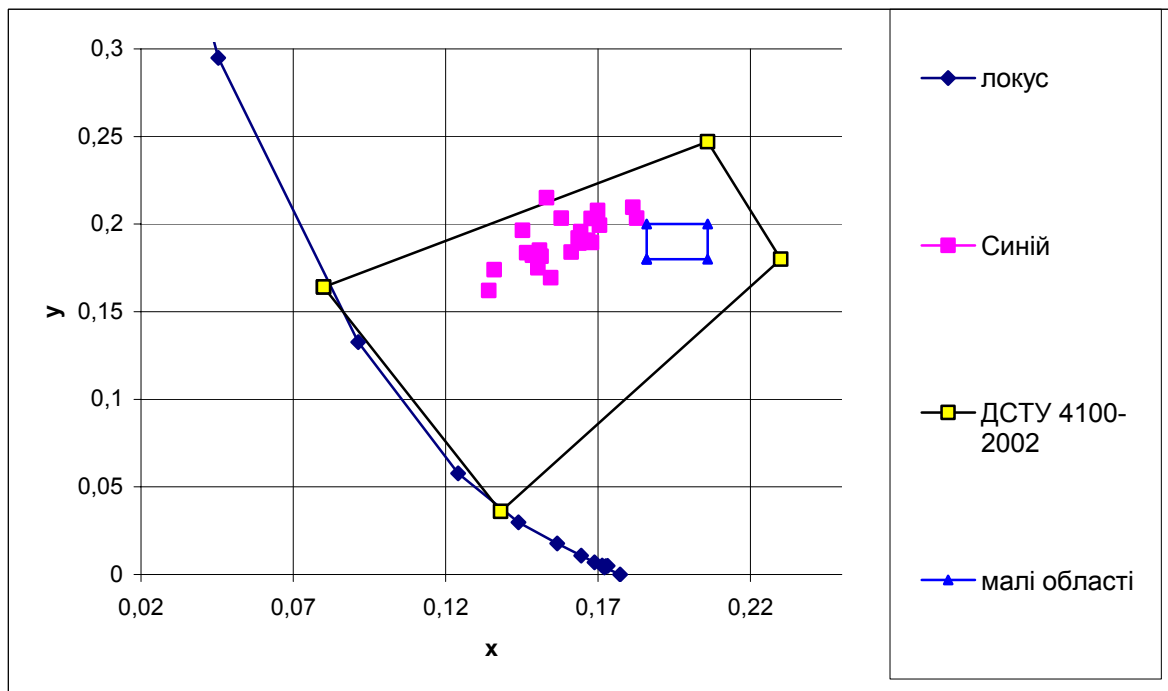


Рис. 7. Результати вимірювань координат кольоровості синього кольору на дорожніх знаках на фоні допустимої по ДСТУ 4100-2002 області

З рис. 5, 6, 7 видно, що для всіх кольорів більша частина знаків, які були досліджені в експериментах, відповідає вимогам ДСТУ 4100-2002 стосовно координат кольоровості. Координати кольоровості окремих знаків, особливо червоного кольору, виходять за межі окреслених областей і тому повинні замінюватись.

Висновки

Проведені дослідження дозволяють стверджувати, що метод порівняння з мірою на основі обробки файлів зображення дає можливість оперативно контролювати кольори дорожніх знаків на місці їх розташування. Метод забезпечує отримання чисельних характеристик кольору покриття дорожніх знаків з допомогою відносно простого і дешевого обладнання. Робота на місцевості не вимагає високої кваліфікації обслужного персоналу. Обробка результатів вимірювання здійснюється за вже розробленими програмами і може бути посиленою для пересічного користувача персонального комп'ютера. Міри кольору повинні бути попередньо атестовані і періодично проходити перевірку. Сам фотоапарат не потребує ні перевірки, ні метрологічної атестації.

Все викладене вище дозволяє сподіватись, що метод контролю кольоровості дорожніх знаків знайде достойне місце в практичній роботі дорожніх фахівців.

Література

1. ДСТУ 4100-2002. Знаки дорожні. Загальні технічні умови. Правила застосування
2. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений. – Москва: Техносфера, 2005. – 1072 с.
3. Волошин М.В., Купко А.Д. Контроль цвета источников света цифровым фотоапаратом. – Світло люкс, 2007, № 6, С. 62-65.