



**В. Баранов**, провідний інженер,

**А. Купко**, кандидат технічних наук, провідний науковий співробітник,  
ННЦ «Інститут метрології»,

**Л. Редько**, директор,  
ПП «РЕМЕКО», м. Харків

*Розглянуто актуальну проблему світлотехнічних вимірювань на транспорті. Метою роботи є розроблення апаратури і методів оперативного вимірювання сили світла й координат кольоровості сигнальних вогнів світлофорів. Представлений пристрій може використовуватися для оперативного контролю останніх.*

*The article is devoted the actual problem of the lighting technologies measurement on a transport. The purpose of work is development of apparatus and methods of the operative measuring of luminous intensity and chromaticity coordinates of traffic lights. Presented equipment can be use for their operative control of the traffic lights.*



*В. Баранов*



*А. Купко*



*Л. Редько*

Істотне підвищення безпеки руху розглядається як одне з основних завдань процесу реформування залізничного транспорту України. Поставлена мета передбачає більш жорсткий контроль характеристик експлуатованого світлосигнального устаткування, зокрема, колірних характеристик світлофорів. При цьому метою контролю є встановлення відповідності фактичних кольорів сигнальних вогнів світлофорів вимогам чинних нормативних документів. Здійснення такого контролю у сфері експлуатації представляє достатньо складну технічну й організаційну задачу, яка на сьогодні не вирішена повною мірою. Істотно знизити трудомісткість і підвищити достовірність контролю розглянутих вище оптичних параметрів можна за рахунок оснащення підрозділів залізниці, відповідальних за експлуатацію світлосигнальних пристроїв, відповідною мобільною контрольною апаратурою. Така апаратура повинна дозволити проводити вимірювання безпосередньо на експлуатованому об'єкті, без його демонтажу й заміни. Основними характеристиками сигнальних вогнів світлофора є сила світла в осьовому напрямку та їх координати кольоровості.

Вимірювання сили світла вимагає спеціальних світлозахисних стендів із розмірами понад 18 м відповідно до ГОСТ 11946-78. Вимірювання координат кольоровості вимагають спектральної апаратури. Це вкрай ускладнює оперативний контроль. Існують закордонні колориметри, наприклад НСТ-99, однак їхня вартість складає від 3000 до 6000 євро, й вони не пристосовані для оперативного контролю світлофорів відповідно до чинних документів.

*Метою цієї роботи було розроблення апаратури і методів оперативного вимірювання сили світла й координат кольоровості сигнальних вогнів світлофорів.*

Розроблений пристрій дозволяє вирішити зазначені проблеми. Він являє собою переносний тубус із діафрагмами, загальною довжиною близько 0,5 м, який кріпиться на переносному штативі. Задня частина тубуса виконана із прозорого матеріалу, що дозволяє точно направити вісь бленди на джерело випромінювання. Важливою умовою успішної роботи таких апаратів є можливість роботи в умовах суттєвих засвіток, обумовлених наявністю як істотного розсіяного сонячного випромінювання, так і випромінювання сусідніх вогнів світлофора. Наявність проміжних діафрагм дозволяє ефективно подавити випромінювання, що заважає. З відстані 5 м бленда успішно відтинає випромінювання від джерела, розташованого на відстані 30 см від світлофора. Реєстрація випромінювання виконується малогабаритним колориметром, призначеним для вимірювання координат кольоровості й сили світла.

### ОСНОВИ МЕТОДУ

Сила світла й освітленість — величини, пов'язані з особливостями людського зору. Для спектрального розподілу освітленості  $B(\lambda)$  на площині освітленість  $E$  на цій площині пропорційна величині

$$E = k \int_{380}^{760} B(\lambda) V(\lambda) d\lambda,$$

де  $V(\lambda)$  — відносна спектральна чутливість людського ока за ГОСТ 8.332-78. Сила світла джерела  $I$ , що створює на площині, розташованій на відстані  $L$ , освітленість  $E$  дорівнює:

$$I = E L^2.$$

Координати кольоровості випромінювання визначаються за формулами

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

де  $X, Y, Z$  — координати кольору. Координати кольору визначаються за формулами

$$X = k \int_{360}^{780} S(\lambda) \bar{x}(\lambda) d\lambda,$$

$$Y = k \int_{360}^{780} S(\lambda) \bar{y}(\lambda) d\lambda, \quad Z = k \int_{360}^{780} S(\lambda) \bar{z}(\lambda) d\lambda,$$

де  $S(\lambda)$  — відносна спектральна потужність джерела випромінювання;

$\bar{x}(\lambda), \bar{y}(\lambda), \bar{z}(\lambda)$  — функції порівняння кольорів з еталонними кольорами стандартного спостерігача.

Колориметр у складі розробленого пристрою має три різновиди приймачів в одному корпусі й три відповідних їм канали. Відносні спектральні чутливості приймачів приблизно збігаються з кривими  $x(\lambda), y(\lambda), z(\lambda)$  МКО 1931 року. Криві МКО 1931 року ( $x, y, z$ ) і відносні спектральні чутливості приймачів ( $X, Y, Z$ ) представлено на рис. 1.

Сигнали приймачів  $X_{\text{колорим}}, Y_{\text{колорим}}, Z_{\text{колорим}}$  приблизно пропорційні координатам кольорів випромінювання. За цими сигналами розраховуються координати кольоровості  $x_{\text{колорим}}, y_{\text{колорим}}$ . Отримані у такий спосіб координати лише приблизно збігаються з істинними координатами. Тому колориметр, в основному, працює у режимі колориметра порівняння, тобто для більш точних вимірів координат кольоровості, освітленості й сили світла використовується порівняння вимічених колориметром величин із точно відомими величинами (еталоном кольорів). Як такий еталон використовується світлофор, у якого в лабораторних умовах визначені координати кольоровості  $x^{\text{ет}}, y^{\text{ет}}$ . Визначається реакція колориметра на цей світлофор у лабораторних умовах —  $x^{\text{ет}}_{\text{колорим}}$  й  $y^{\text{ет}}_{\text{колорим}}$ . Після цього колориметр може використовуватися у польових умовах для визначення координат кольоровості випробуваного світлофора за формулами

$$x_{\text{точн}} = x_{\text{колорим}} - x^{\text{ет}}_{\text{колорим}} + x^{\text{ет}},$$

$$y_{\text{точн}} = y_{\text{колорим}} - y^{\text{ет}}_{\text{колорим}} + y^{\text{ет}},$$

де  $x_{\text{колорим}}, y_{\text{колорим}}$  — приблизні координати кольоровості, визначені за сигналами колориметра під час вимірювання у польових умовах.

Освітленість також обчислюється порівняно з освітленістю, створюваною еталоном кольору, за формулами

$$E_{\text{точн}} = E^{\text{ет}} Y_{\text{колорим}} / Y^{\text{ет}}_{\text{колорим}}$$

де  $Y^{\text{ет}}_{\text{колорим}}$  — реакція каналу  $Y$  на випромінювання, створюване еталоном кольору,  $Y_{\text{колорим}}$  — реакція каналу  $Y$  на випромінювання світлофора у польових умовах. За освітленістю обчислюється сила світла. Метод добре працює для подібних спектрів еталонного джерела й того, що перевіряється.

### БУДОВА КОЛОРИМЕТРА Й ІНТЕРФЕЙС

Колориметр (рис. 2) являє собою циліндр діаме-

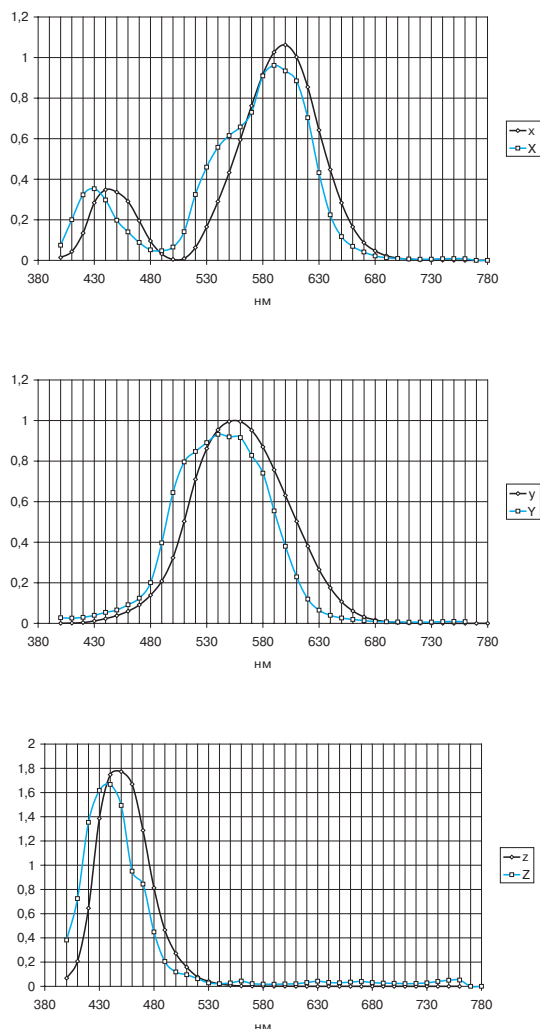


Рис. 1. Експериментально вимірені ( $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ ) і теоретичні ( $x(\lambda)$ ,  $y(\lambda)$ ,  $z(\lambda)$ ) відносні спектральні чутливості приймачів колориметра

тром 12 мм і довжиною 40 мм. Він має чутливий елемент із трьома приймачами. Кожний приймач має 8 діапазонів, найчутливіший у 800 разів чутливіший від найгрубішого. У кожному з діапазонів є АЦП на 1024 одиниці. Вимірвання відбувається за чергою кожним із каналів. Спочатку відбувається вимірвання каналом  $X$ , після цього починається вимірвання каналом  $Y$ , а потім — каналом  $Z$ . На кожному каналі із частотою 9000 Гц відбувається близько 400 вимірень. Частота достатньо велика, щоб спостерігати коливання освітленості, пов'язані зі змінною напругою 50 Гц. Колориметр зв'язаний із ноутбуком кабелем USB.

Інтерфейс колориметра має чотири сторінки:

- *оцінювання* — призначена для попереднього налаштування колориметра й попереднього оцінювання результатів;
- *вимірвання* — призначена для точних

вимірень;

- *бібліотека* — призначена для створення й використання набору еталонів;
- *калібрування* — призначена для налаштування приладу виготовлювачем.

Сторінка *оцінювання* (рис. 3) у лівому верхньому куті має п'ять вікон, у яких відображаються результати поточних вимірень. Маленьке віконце під кожним вікном показує результат усереднення за кожним із параметрів. Відображаються сигнали каналів  $X_{\text{коліорим}}$ ,  $Y_{\text{коліорим}}$ ,  $Z_{\text{коліорим}}$  і координати кольорості  $x_{\text{коліорим}}$ ,  $y_{\text{коліорим}}$ . Результати вимірень  $X_{\text{коліорим}}$ ,  $Y_{\text{коліорим}}$ ,  $Z_{\text{коліорим}}$  відображаються на графіку праворуч від вікон в одиницях АЦП. Крайній праворуч графік відображає усереднені величини  $X_{\text{коліорим}}$ ,  $Y_{\text{коліорим}}$ ,  $Z_{\text{коліорим}}$  за кожним із 400 вимірень. На рисунку видно, наскільки ефективно усереднення за 400 виміреннями зменшує шуми, у цьому випадку обумовлені пульсаціями випромінювання джерела через змінну напругу мережі. Ліворуч унизу розташовані стовпчики з коефіцієнтами підсилення від 1 до 800. Під ними кнопка *автовизначення діапазонів*. У нижній правій частині сторінки розташовані кнопки *внести у бібліотеку*, *урахувати ФОН*, *ПУСК*, *ПОКАЗАТИ ПАНЕЛЬ КОЛЬОРУ*, у рамці COM-порт змінити. Там же розташовані віконця — *чистити вікна*, *автоповтор вимірення*, *число вимірень у серії*, *Com-порт*, *увести відстань у метрах*.

У віконце *увести відстань у метрах* слід вручну увести відстань у метрах між колориметром і джерелом світла. Натискання кнопки *ПОКАЗАТИ ПАНЕЛЬ КОЛЬОРУ* приведе до появи додаткової панелі із зображенням кольорового трикутника.

На панелі відображається крапка з поточними координатами  $x_{\text{коліорим}}$ ,  $y_{\text{коліорим}}$ . Кольори на кольоровому трикутнику умовні, приблизні, як і самі ве-

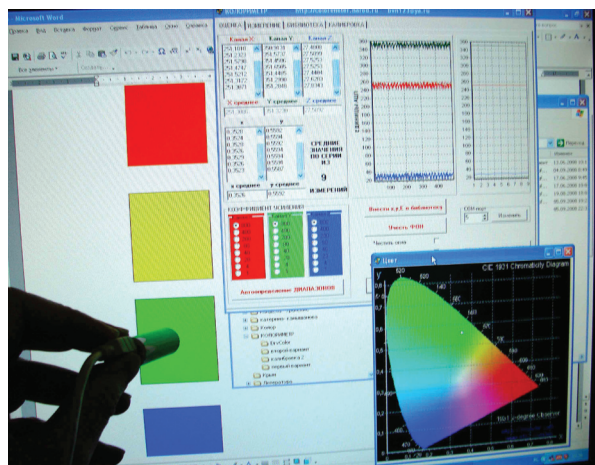


Рис. 2. Зовнішній вигляд колориметра на фоні екрана ПК з інтерфейсом

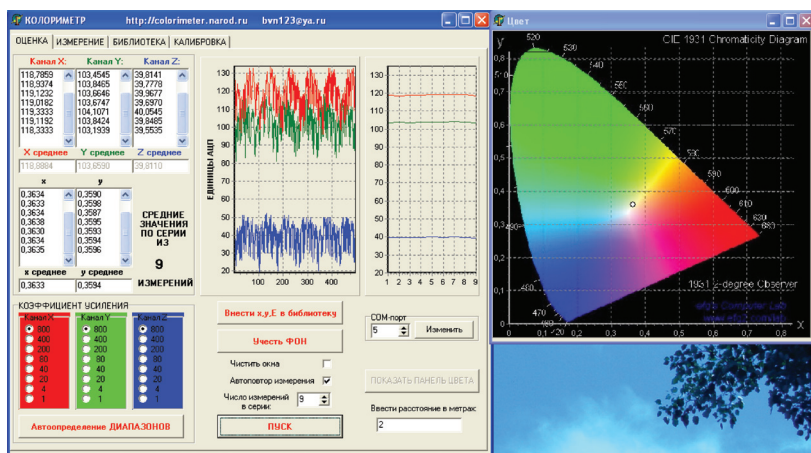


Рис. 3. Зовнішній вигляд першої сторінки інтерфейсу колориметра

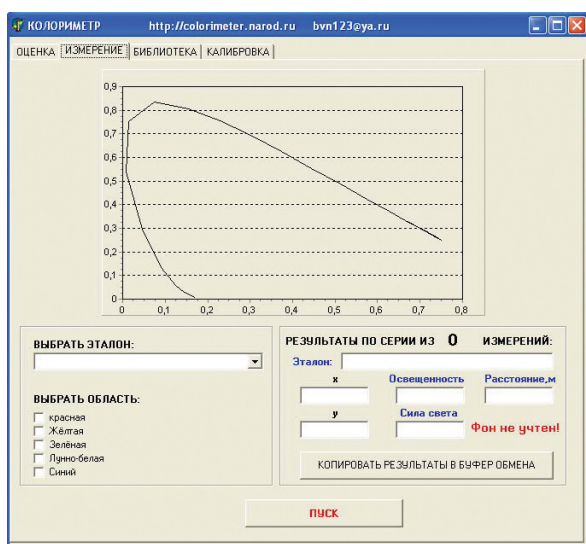


Рис. 4. Зовнішній вигляд другої сторінки інтерфейсу колориметра

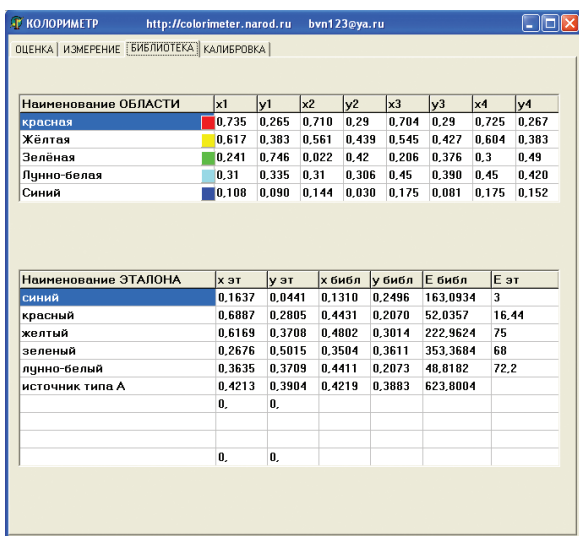


Рис. 5. Зовнішній вигляд третьої сторінки інтерфейсу колориметра

личини хколорим, уколорим. Натискання кнопки ПУСК приведе до початку вимірювань. Натискання кнопки УРАХУВАТИ ФОН приведе до того, що середні показання за кожним із каналів  $X_{\text{колорим}}$ ,  $Y_{\text{колорим}}$ ,  $Z_{\text{колорим}}$  уважатимуться стосовними до випромінювання, що заважає, і відніматимуться із результатів подальших вимірень.

Сторінка Вимірення (рис. 4) у верхній частині має графік кольорного трикутника. На ньому відображаються

результати вимірень  $x_{\text{точн}}$ ,  $u_{\text{точн}}$ . Унизу ліворуч є вікно вибрати еталон, де можна вибрати еталон із числа занесених у бібліотеку. Саме за допомогою обраного еталона обчислюються  $x_{\text{точн}}$ ,  $u_{\text{точн}}$  освітленість колориметра й сила світла джерела. Під вікном вибрати еталон містяться 5 віконців, кожне з них можна позначити, це приведе до появи на графіку області координат кольоровості світлофора, дозволеної за ГОСТ 24179-80.

Усі результати вимірень можна передавати для зберігання й оформлення протоколу в Excel.

Сторінка бібліотека (рис. 5) призначена для калібрування колориметра й установлення дозволених для світлофора координат кольоровості. Це дозволяє у випадку потреби використати колориметр не лише для вимірювань на залізниці, але й в інших галузях, де необхідне використання джерел випромінювання із точно заданими координатами кольорів. Відповідні координати й назви областей (синя, червона, жовта, зелена, місячно-біла, джерело типу А) заносяться у верхнє вікно. У нижнє вікно вручну заносяться координати кольоровості  $x^{\text{ет}}$ ,  $y^{\text{ет}}$  й освітленість колориметра для кожного із кольорів  $Y_{\text{колорим}}^{\text{ет}}$  колориметр установлюється перед джерелом із цими координатами кольоровості, виконується вимірення і заносяться показання приладу  $Y_{\text{колорим}}$ ,  $x^{\text{ет}}$  колорим,  $y^{\text{ет}}$  колорим.

Сторінка калібрування (рис. 6) призначена для встановлення співвідношення чутливостей усіх діапазонів колориметра для кожного каналу й між чутливостями каналів X, Y, Z.

Калібрування виконується на джерелі типу А. Установлюються максимальна чутливість (діапазон 1) і вибирається така відстань до джерела, щоб сигнал на цьому діапазоні становив близько 1000 одиниць АЦП. Зміряється сигнал, виробляється перемикання на менш чутливий діапазон, виміряється

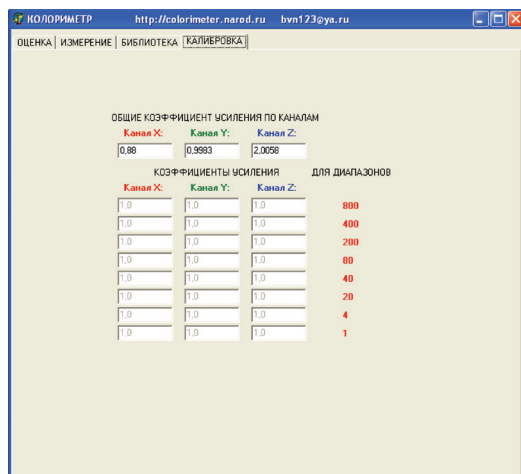


Рис. 6. Зовнішній вигляд четвертої сторінки інтерфейсу колориметра

ся сигнал від того ж джерела. Обчислюється коефіцієнт зв'язку чутливостей на цих двох каналах. Сигнал збільшують до показання 1000 одиниць АЦП на цьому, менш чутливому каналі й повторюють процедуру. У такий спосіб установлюються коефіцієнти зв'язку чутливостей для всіх діапазонів. Після уведення всіх коефіцієнтів зв'язку діапазонів колориметр розміщується перед джерелом типу А, реєструються сигнали усіх каналів й обчислюється співвідношення між чутливостями каналів, таке, щоб колориметр показував координати кольоровості джерела типу А.

Якщо використати колориметр не у режимі колориметра, порівняння стає важливою процедура калібрування. Очевидно, що співвідношення між чутливостями каналів можна з'ясувати для випромінювання будь-якого виду спектра (не обов'язково джерела типу А). Тоді максимальна точність колориметра спостерігатиметься для випромінювання з подібними спектрами. Чим більше різняться спектри випромінювання під час калібрування й вимірювання, тим більшими є похибки. Використання режиму колориметра порівняння знімає цю проблему.



Рис. 7. Характерна реєстрограма сигналу, результати серії з 10 вимірювань для кожного з каналів і координат x та y та їх статистичне опрацювання

Колориметр пристосовано для проведення серій вимірювань. Однак це не істотно позначається на точності вимірювань, оскільки заміри й так проводяться серіями із 400 вимірювань. Наприклад, для сигналу на рівні 750 одиниць АЦП для каналу X й 550 одиниць АЦП для каналів Y й Z (рис. 7) з істотною змінною складовою відносна похибка вимірювань за кожним каналом і за координатами x та y становить десять відсотка, що цілком достатньо для надійних вимірювань.

## ВИСНОВКИ

Отже, розроблено пристрій, який дозволяє контролювати основні параметри сигнальних вогнів світлофорів. Використаний метод передбачає, що спектральні характеристики випромінювання світлофорів подібні. Це означає, що необхідно мати еталонні світлофори для кожного типу світлофорів. Зрозуміло, існує перспектива використання подібного пристрою й для контролю світлофорів і сигнальних вогнів автотранспорту. Для успішного застосування розробленого пристрою потрібно мати відповідне метрологічне забезпечення. Необхідно провести випробування розробленої апаратури у реальній експлуатаційній обстановці. У випадку їх успішних результатів будуть забезпечені умови для оперативного контролю вогнів залізничних світлофорів і тим самим для підвищення безпеки перевезень.