

УДК 621.753.38: 535.24

О.В. ПОЛЯРУС, докт. техн. наук.

Харківський національний автомобільно – дорожній університет

О.Д. КУПКО, канд. техн. наук.

Національний науковий центр « Інститут метрології»

Ю.А. ЧЕРНЯК, інж.

Харківська обласна державна автомобільна інспекція

ПОХИБКИ ВИМІРЮВАННЯ СИЛИ СВІТЛА АВТОМОБІЛЬНИХ ФАР ТА ДОРОЖНІХ СВІТЛОФОРІВ

Вступ. Забезпечення безпеки руху є першочерговим завданням для автомобільного транспорту. Для дорожніх світлофорів і автомобільних фар важливою характеристикою є сила світла в канделах (вимірювання яскравості дорожнього об'єкту в канделах на метр квадратний зводиться до вимірювання сили світла) в заданному напрямку [1]. Без забезпечення необхідної по документації сили світла автомобільних фар та світлофорів можуть не прийматись водієм необхідні заходи по запобіганню небезпечної дорожньо-транспортної ситуації. Враховуючи велику швидкість руху автомобіля, відповідна дорожня інформація повинна бути отримана водієм при максимально можливій великій відстані.

Стан питання. Методи контролю світлових приладів регламентовані в [2, 3]. Вимірювання сили світла можна проводити або методом вимірювання освітленості та розрахунку сили світла з залученням закону зворотніх квадратів (наибільш поширений спосіб) або телецентричним методом [4]. Вимоги норм ЕСЕ/ОНУ для ближнього и дальнього світла фар сформульовані для відстані 25 м. Можливо, ця відстань являє собою своєрідний компроміс між практичними можливостями (мала відстань) і теоретичними потребами (велика відстань). В ДСТУ 3649-97 передбачено вимірювання сили світла на відстані 3 і 5 м. Ці відстані є типовими і для інших документів [5]. Слід відзначити, що конкретизація типу світловимірювального приладу в документах, що регламентують методи вимірювання сили світла, є тільки в документації конкретних приладів, наприклад, в [6, 7]. В загальних документах конкретизації немає, наприклад, в ДСТУ 4100-2002 пропонується використовувати фотометр фотоелектричний (фотометр – загальна назва приладу для вимірювання фотометричних величин). Між тим, відомо, що похибки вимірювань

суттєво залежать від методики вимірювань та від характеристик приладу, що використовується.

Мета і постановка задачі. Метою даної статті є аналіз похибок, обумовлених вибором відстані між джерелом і приймачем та аналіз спектральних похибок вимірювання сили світла.

Закон зворотніх квадратів є справедливим для точкового джерела. Автомобільна фара і головка світлофора не є точковими джерелами випромінювання. Діаграма спрямованості випромінювання цих пристроїв спеціально підбирається. Щоб забезпечити можливість освітлення на великих відстанях для фари дальнього світла кутова ширина діаграми спрямованості повинна бути вузькою. Діаграма спрямованості випромінювання світлофора повинна забезпечувати можливість його спостереження зацікавленими учасниками дорожнього руху і не заважати іншим. Точковими їх можна вважати при дуже великих відстанях. Тому вибір відстані для вимірювання є важливим чинником.

Питання вимірювання сили світла світлофорів з лампою накалювання і фільтрами з кольорового скла були розглянуті в [8]. В останні роки розширилось застосування світлодіодних світлофорів, а також світлодіодів для автомобільних фар. Для світлодіодів також існують проблеми вимірювання сили світла, що обумовлені їх вузькою діаграмою спрямованості. Метод вимірювання сили світла світлодіодів описаний в [9]. В статті розглядаються узагальнені результати вимірювання сили світла автомобільних фар та світлофорів.

Похибки вимірювання сили світла, що обумовлені відстанню. Вимірювання проводились силами співробітників Харківського національного автомобільно – дорожнього університету. Використовувався люксметр Тайваньського виробництва DE – 3351. Люксметр був повірений в ННЦ «Інститут метрології» безпосередньо перед вимірюваннями. Для того, щоб усунути вплив завадового випромінювання, вимірювання проводились за межами міста в темний час доби за схемою, яка представлена на рис. 1.

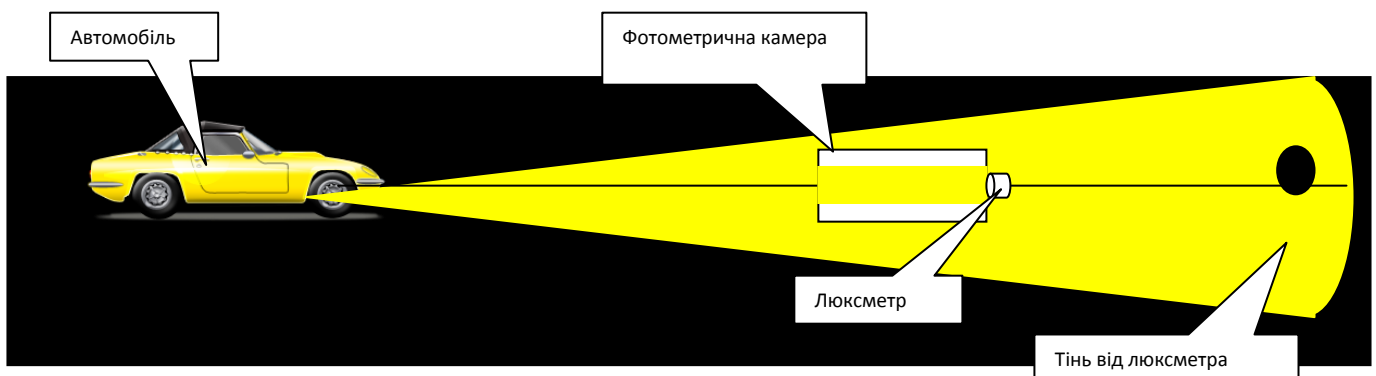


Рис. 1. Схема вимірювань сили світла фар.

Для зменшення впливу відбитого від оператора випромінювання перед люксометром розміщувалась фотометрична камера з двома діафрагмами. Діафрагми з'єднані між собою

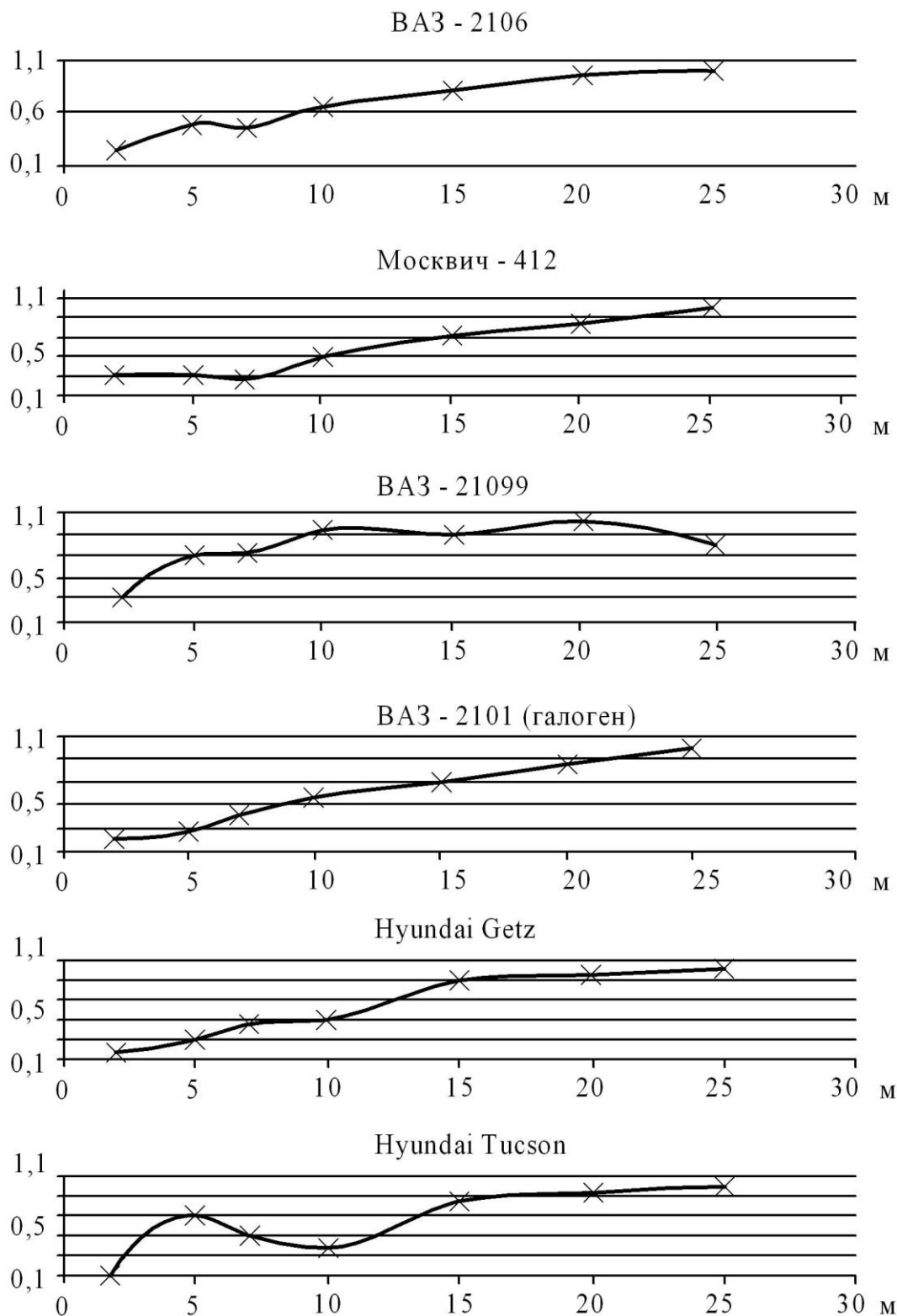


Рис. 2. Результати вимірювань залежності відносної сили світла фар від відстані для шести типів автомобільних фар.

непрозорими екранами. Діаметр діафрагм приблизно втричі перевищував діаметр головки люксометра. Світло фари могло потрапити на люксометр тільки після проходження через оби-

дві діафрагми. Друга фара автомобіля закривалась і випромінювання від неї не брало участь у вимірюваннях.

Таблиця 1.

Відносна сила світла для шести типів автомобільних фар

Відстань, м	Відносна сила світла для різних типів фар автомобілів					
	ВАЗ 2106	Москвич 412	ВАЗ 2199	ВАЗ 2101 га- логен	Hyundai Getz	Hyundai Tucson
25	9750	625	19813	45563	23063	26500
20	9160	520	25240	38440	21640	27320
15	7875	450	22365	32535	20723	22748
10	6220	310	23200	25400	11380	12810
7	4596	172	18277	18571	10290	14749
5	4855	175	17325	12825	6550	19775
2	2340	185	6952	9360	3724	4084

Для виключення впливу вібрацій на точність вимірювання двигун автомобіля не працював і освітлення здійснювалось від аккумулятора. Від фари простягалась траса на максимальну відстань 25 метрів. Відстань L вимірювалась до передньої поверхні фари. Мінімальна відстань від фари до вимірювача складала 2 метри. Тінь від люксметра, розміщеного на всіх проміжних відстанях, закривала місце розміщення люксметра на 25 метрах таким чином, що місце розміщення люксметра знаходилось в центрі тіні. Вимірювалась освітленість E в лк. Сила світла I розраховувалась за формулою $I = E \times L^2$ і нормувалась до одиниці. Були виміряні сили світла на відстанях 2 м, 5 м, 7 м, 10 м, 15 м, 20 м і 25 м для шести типів автомобільних фар. Результати вимірювань представлені в табл. 1 і на рис. 2.

Для всіх вимірювань характерна тенденція збільшення сили світла з збільшенням відстані. Прості моделі для таких залежностей виявити не вдалось. Це є наслідком складності оптичної системи. Сила світла в деяких випадках збільшується більш ніж в 6 разів. Очевидно, що результати вимірювання сили світла на відстанях 3 і 5 метрів не можуть використовуватись для визначення сили світла для реальної дорожньої ситуації, тобто для відстаней порядку ста метрів.

Спектральні похибки. Спектральна чутливість люксметра повинна бути узгоджена з спектральною чутливістю людського ока [10]. Однак ідеальної узгодженості бути не може. Тому виникає залежність точності вимірювань від спектра випромінювання світла. Градування і перевірка люксметрів здійснювались з допомогою джерела типу А. В результаті окремі відступи від спектральної чутливості людського ока усереднювались. У випадку, коли існують суттєві відступи спектру випромінювання від спектру джерела типу А, можуть виникати суттєві похибки.

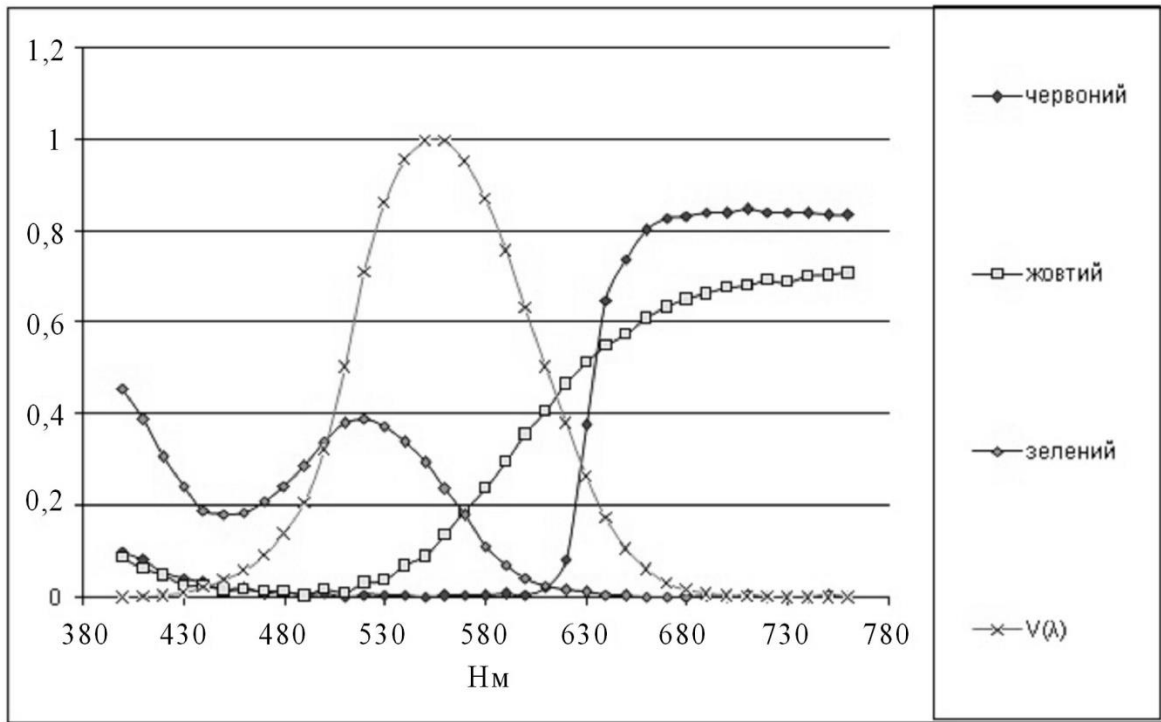


Рис. 3. Спектральні коефіцієнти пропускання стекл світлофірів и відносна спектральна чутливість людського ока для денного зору $V(\lambda)$.

Світлофіри є джерелами випромінювання зі спектром, який суттєво відрізняється від спектра випромінювання джерела типу А. Тому вимірювались спектральні коефіцієнти пропускання стекл, що використовуються для світлофірів. Результати вимірювань і відносна спектральна чутливість людського ока для денного зору представлені на рис. 3.

Видно, що для всіх кольорів коефіцієнти пропускання стекл суттєво відрізняються від одиниці в тих областях, де чутливість людського ока близька до нуля. Це означає, що навіть при невеликих відступах спектральної чутливості від чутливості людського ока похибки вимірювань можуть виявитись істотними. Розрахунок відмінностей реальних показань люксметра від показань ідеального люксметра (коефіцієнт активності) – це звичайна процедура при світлових вимірюваннях [11].

При вимірюванні джерел (і) зі спектром $B_i(\lambda)$, які істотно відрізняються від джерела типу А, необхідно помножити показання на коефіцієнт

$$k_{\text{акт } i} = \frac{\int_{200}^{1200} B_i(\lambda) V(\lambda) d\lambda}{\int_{200}^{1200} B_i(\lambda) S(\lambda) d\lambda}, \quad (1)$$

де $B_i(\lambda)$ – відносні спектральні розподіли джерел випромінювання, що вимірюються, $S(\lambda)$ – відносна спектральна чутливість люксметра. Припускається, що приймач – кремнієвий фотодіод з смугою чутливості від 200 нм до 1200 нм.

Цей коефіцієнт може бути розрахований теоретично по спектру $B_i(\lambda)$ та $S(\lambda)$. Такі вимірювання достатньо трудомісткі, окрім того, в тих ділянках спектра, де $S(\lambda)$ мало відрізняється від нуля (200-380 нм та 780-1200 нм) вимірювання і наступні розрахунки можуть привести до істотних похибок. Основна трудність складається в тому, що для звичайного користувача використання даних про спектри випромінювання і детальне знання спектральної чутливості люкметра не завжди доступні. Тому при дослідженнях використовувався експериментальний метод визначення коефіцієнта актиничності.

Величина $\int_{200}^{1200} B_i(\lambda) S(\lambda) d\lambda$ вважалась пропорційною сигналу приймача від відповідного

джерела, а величина $\int_{200}^{1200} B_i(\lambda) V(\lambda) d\lambda$ вважалась пропорційною сигналу робочого еталону,

розміщеного в тій же точці, що і приймач. Зрозуміло, що спектральна чутливість робочого еталону також не ідеально співпадає з $V(\lambda)$, але очевидно, що спектральну корекцію еталону можна вважати кращою, ніж спектральна корекція робочого засобу вимірювань, а значить, відношення відповідних сигналів може служити хорошим наближенням шуканих коефіцієнтів. Окрім того, приваблює простота отримання коефіцієнтів.

Таблиця 2.

Коефіцієнти актиничності для різних кольорів і люкметрів

Джерело	Робочі еталони				Робочі засоби вимірювань		
	ТЕС 0693 Тернопіль	ТЕС 0693 Суми	ТЕС 0693 Запоріжжя	ТЕС 0693 Харків	Magnaflux	Ю116	ТКА ЛЮКС
Типу А	1,002	1,012	1,005	1,011	1,0075	1,000	0,986
Червоний	1,259	1,031	1,094	1,235	0,5947	0,427	1,442
Жовтий	1,081	1,001	0,9938	1,047	0,7960	0,752	1,137
Зелений	0,9153	0,982	0,986	0,979	1,096	1,2583	0,874

Дослідження проводились за допомогою одного з первинних фотометрів Державного первинного еталону сили світла. Використовувались дві групи люкметрів. Перша - це робочі еталони, які щорічно поступають на перевірку, друга – робочі засоби вимірювань. В якості джерела випромінювання використовувалась лампа СИС 107-500. Струм через неї підбирався таким чином, щоб її кольорова температура складала 2856 К (джерело типу А). Для такого випромінювання показання люкметрів співпадали з показаннями первинного фотометру точніше, ніж це допустимо по [12]. В табл. 2 представлені результати розрахунку коефіцієнта актиничності (показання первинного фотометру, поділені на показання люкметра).

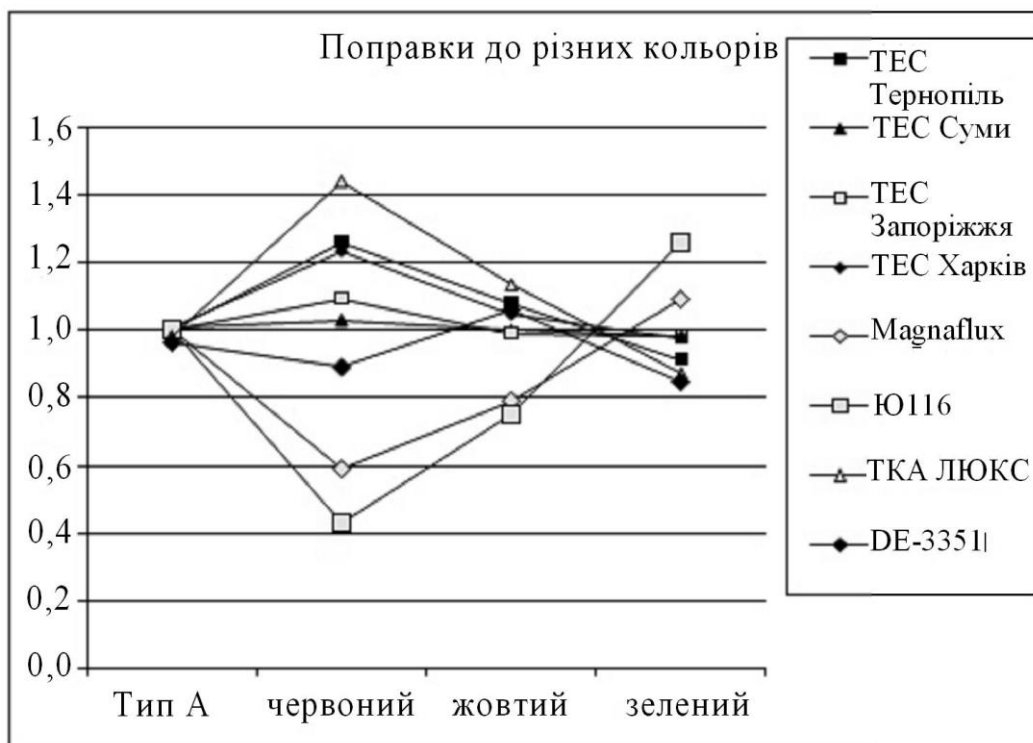


Рис. 4. Модуль відмінності коефіцієнта актиничності для люксометрів і кожного з кольорів світлофорів.

Згідно з [11] для робочих еталонів похибка не повинна перевищувати 2,5%, а для робочих засобів вимірювань 15%. Видно, що тільки внаслідок коефіцієнта актиничності похибки більше. Був проведений аналіз отриманої інформації. На рисунку 4 представлений модуль відмінності коефіцієнта актиничності для кожного з люксометрів і кожного з пронумерованих кольорів світлофорів.

З рис. 4 випливає, що існують два піки на червоному кольорі, де значення $V(\lambda)$ близькі до нуля. Щоб проілюструвати вплив якості люксометрів на точність вимірювань, по кожному з люксометрів було розраховане максимальне відхилення і сума відхилень по всім кольорам. Результати розрахунків представлені на рис. 5.

На рис. 5 спостерігається якісна відмінність робочих еталонів від робочих засобів вимірювань. Максимальні похибки виникали при вимірюванні застарілим люксометром Ю116 і дешевим люксометром Тайваньського виробництва DE-3351. Використання коефіцієнтів актиничності, що визначені для конкретних фільтрів кольорового скла і приладів, дозволить проводити вимірювання з точністю, яка відповідає [12].

В останні роки почалась розробка моделей світлофорів на базі світлодіодів. Останні мають вузький спектр випромінювання і тому спектральні похибки для них можуть виявитись ще більшими. Приведена методика визначення коефіцієнтів актиничності дозволяє оцінити і врахувати ці похибки. Оскільки розкид коефіцієнтів актиничності для різних типів люксометрів вже розглянутий, проаналізуємо похибки робочого еталону ТЕС 0693

(“Сумистандартметрологія”). Домінуюча довжина хвилі для зеленого світлодіода складає 530 нм, напівширина – 35 нм, для жовтого – 617 нм, напівширина 20 нм, для червоного – 627 нм, напівширина 20 нм. Коефіцієнти актиничності отримані таким же способом, що і для світлофорів з фільтрами з кольорового скла (таблиця 3).

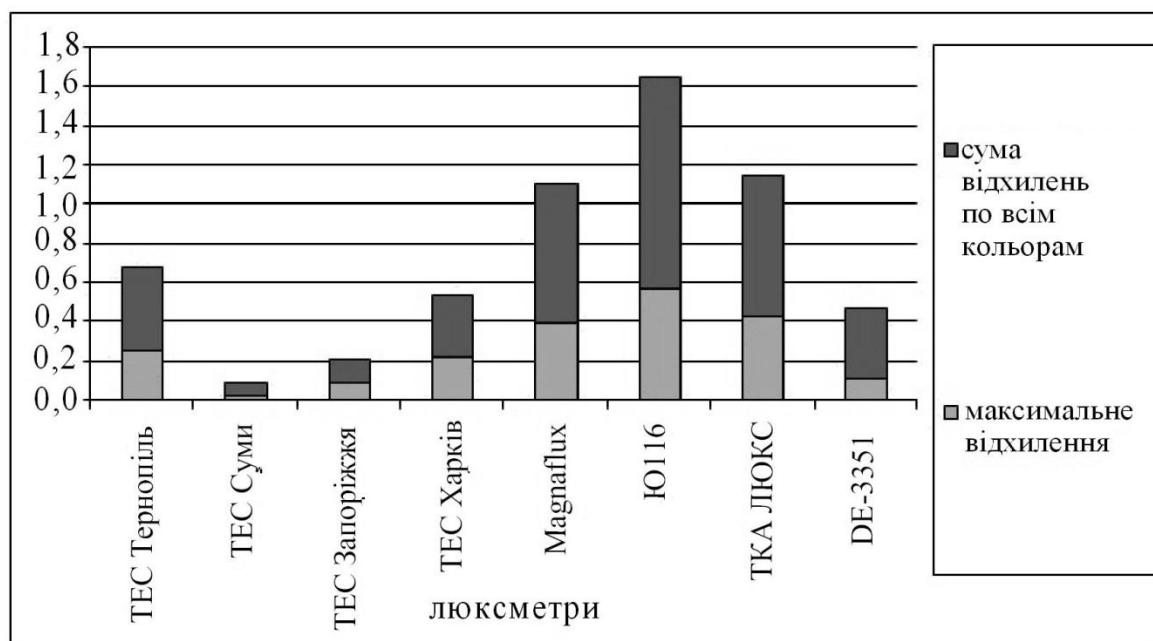


Рис. 5. Гістограма максимального відхилення і суми відхилень по всім кольорам для люксметрів.

Таблиця 3.

Результати вимірювань коефіцієнта актиничності для світлофора на основі світлодіодів

Колір світлофора	Червоний	Жовтий	Зелений
Коефіцієнт актиничності для світлофорів на основі світлодіодів	1,036	0,945	1,052
Коефіцієнт актиничності для світлофорів з кольорового скла	1,031	1,001	0,982

З таблиці 3 випливає, що результати вимірювань для світлофорів з кольорового скла і для світлофорів на основі світлодіодів не співпадають навіть для приладу з мінімальними спектральними похибками. Максимальні похибки не має сенсу аналізувати, оскільки можливі відхилення в десятки відсотків.

Висновки. При світлових вимірюваннях в автомобільно-дорожній галузі можливі істотні систематичні похибки. Вимірювання сили світла автомобільних фар за діючими документами не дозволяють судити про освітленість на великих, порядку 100 метрів відстанях. Існують прилади для вимірювання сили світла автомобільних фар, які передбачають їх установку на відстані одного метра і навіть десяти сантиметрів від фари. Такі

вимірювання внаслідок того, що фара не є точковим джерелом випромінювання, приводять до практичної неможливості достовірно судити про ступінь освітленості на далеких відстанях.

Вимірювання сили світла світлофорів без конкретизації типу вимірювального приладу може привести до похибок в десятки відсотків внаслідок суттєвих відхилень в спектральній чутливості люкметрів. Оскільки вимоги до вимірювань сили світла на автомобільному транспорті дуже великі внаслідок необхідності забезпечення безпеки, слід розробляти комплекс заходів з метрологічного забезпечення світлових вимірювань на автомобільному транспорті. Схожі проблеми існують і в інших видах транспорту, а також в усіх випадках, де існує потреба у визначенні сили світла джерел, що використовуються на великих відстанях, а також у визначенні сили світла кольорових джерел випромінювання.

ЛІТЕРАТУРА

1. Купко А. Д., Глебов А. Б. О необходимости совершенствования системы светотехнических измерений на транспорте. - III международная научно-практическая конференция "Обеспечение единства измерений физико-химических и оптико-физических величин. ХИММЕТ-3-2008", С. 196-198.
2. ГОСТ 11946-78 Линзы и комплекты линз сигнальных приборов железнодорожного транспорта. Методы измерений силы света и фокусного расстояния., -М.: Государственный комитет СССР по управлению качеством продукции и стандартам, 1990.- 6 с.
3. ГОСТ 9242-59. Светофильтры сигнальные для транспорта. Методы измерения цветности и коэффициента пропускания. М.: Комитет стандартов, мер и измерительных приборов при Совете Министров Союза ССР, 1959.- 12 с.
4. . Физическая энциклопедия. В 5 томах. - М.: Советская энциклопедия, 1988. Т1 - 704 с.; Т2 – 700 с.; Т3 – 668 с.; Т4 – 701 с.; Т5 – 688 с.
5. Купко А. Д. Совершенствование методики передачи световых единиц. - Український метрологічний журнал, 2001, вип.1, С. 45-47.
6. МП 100.02.005-99. Инструкция. Метрология. Стенды для проверки автомобилей LITE фирмы МАНА, Германия. Методика поверки. – Харьков: Харьковский государственный центр стандартизации метрологии и сертификации, 1999. 50 с.
7. Прибор с оптическим элементом для регулировки лучей света фар. ОМА. Модель 684. Инструкция по эксплуатации и обслуживанию. Лониго, Италия, 1995.-13 с.
8. Measurements of LEDs.- CIE technical committee report 127, 1997. p. 151.

9. ГОСТ 8.332–78 ГСИ. Световые измерения. Значения относительной спектральной световой эффективности монохроматического излучения для дневного зрения. М.: Государственный комитет СССР по стандартам.,1978.- 6 с.

10.ОСТ 16.0.800.814-81. Преобразователи излучения измерительные для световых измерений, характеристика относительной спектральной чувствительности. Требования и классификация. – М.:Отраслевой стандарт, 1981.- 11 с.

11.ДСТУ 3394–96 Державна повірочна схема для засобів вимірювань світлових величин. К.: Держстандарт України, 1996. - 6 с.

УДК 004.93:14

О.В. ПОЛЯРУС, докт. техн. наук, Є.О. ПОЛЯКОВ, О.О. РЕЗНИКОВ, асп.

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

АВТОМАТИЧНЕ РОЗПІЗНАВАННЯ РЕЖИМІВ НАВАНТАЖЕННЯ АВТОГРЕЙДЕРА НА ОСНОВІ НЕЙРОМЕРЕЖЕВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Постановка задачі. Для підвищення надійності, довговічності і безпеки експлуатації дорожніх машин необхідно проводити ранню діагностику стану об'єкта [1], яка може забезпечити прогнозування можливих порушень в роботі машини. В роботі [2] розглянуто динаміку землерійно-транспортних машин при різкому зростанні опору, що дозволяє оцінити динамічні навантаження, які діють на металоконструкцію. Для виявлення несправних станів автогрейдера необхідною умовою є отримання бази даних станів справної машини і порівняння отриманих в робочих режимах даних із еталонними. Принципи планування експериментальних досліджень такого типу розглянуто в [3]. Робота автогрейдера супроводжується різними динамічними навантаженнями на конструкцію машини, що обумовлено головним чином структурою ґрунту. В зв'язку з цим виникає завдання врахування при керуванні машиною пікових навантажень на раму, що фактично означає розпізнавання режимів навантаження. Розпізнавання здійснюється на основі експериментально отриманих сигналів, що описують навантаження на шкворень автогрейдера, у фазовому просторі із застосуванням алгоритмів кластеризації і нейронних мереж. Огляд і опис методів кластеризації представлено в [4], а нейронних мереж в [5].