TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES
УДК 628.981
DOI: 10.25140/2411-5363-2017-2(8)-143-150

Павло Наумчик, Віталій Миронцов

ЦИФРОВИЙ ЛЮКСМЕТР УНІВЕРСАЛЬНОГО ПРИЛАДУ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ДЖЕРЕЛ СВІТЛА

Актуальність проблеми дослідження. *За державними стандартами України оцінку якості освітлювальних пристроїв здійснюють за наступними характеристиками: світлова віддача, світловий потік, середня тривалість служби.Тому існує потреба у приладі, який би міг вимірювати вказані характеристики.*

Аналіз останніх досліджень і публікацій. *Проведений нами аналіз публікацій показав,що методи оцінювання якості освітлювачів складні, а прилади мають високу вартість.*

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. *Нами запропоновано дешевшийуніверсальний прилад для визначення ефективності джерел світла, основними складовими якого є цифровий люксметр і цифровий ватметр. В статті розглянуто одну з основних складових універсального приладу- цифровийлюксметр.*

Постановка завдання. *Для універсального приладу для визначення ефективності джерел світла необхідний цифровий люксметр, який дозволяє визначати величину і розподіл освітленості поверхні.*

Виклад основного матеріалу. *Датчиками розробленого нами люксметра є фоторезистори, які підключені до платформи ArduinoNano.В статті висвітленабудова, технологіявиготовлення, методи калібрування й програмне забезпечення даного цифрового люксметра.Також розглянуто методику роботи з приладом.*

Висновки і пропозиції. *Розроблений нами люксметр є прототипом більш складного і якісного приладу. Наступним етапом розробки універсального приладу для визначення ефективності джерел світла є виготовлення цифрового ватметра. Розроблено програмне забезпечення для роботи приладу, проведено калібрування приладу, розроблено методику його використання.*

Ключові слова: *джерела світла; цифровий люксметр; фоторезистори; програмний код мікроконтроллера; калібрування.*

Постановка проблеми, аналіз останніх досліджень і публікацій, виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми. Одним з ефективних способів економії електричної єнергії є використання енергоефективних електричних джерел світла. Сьогодні існує велика кількість різноманітних освітлювальних пристроїв, що відрізняються принципом дії, будовою та призначенням, оцінювання якості яких здійснюють на основі ДСТУ-П IEC/PAS 6272221:2014 [1], за яким до основних характеристик ламп відноситься:

- світлова віддача;
- світловий потік;
- середня тривалість служби.

Основним недоліком цього приладує його висока вартість.

Для вимірювання вказаних характеристик нами запропоновано більш дешевий пристрій [2], який має такі складові частини: джерело струму, цифровий ватметр (прилад для вимірювання електричної потужності джерел світла) та цифровий люксметр (прилад, за допомогою якого можна визначити інтенсивність джерела світла).

Мета статті. Головною метою цієї роботи є розробка, виготовлення, калібрування й програмне забезпечення цифрового люксметра – приладу, призначеного для визначення ефективності джерел світла.

Для досягнення поставленої мети потрібно виконати такі **завдання:**

- розробити принципову схему цифрового люксметра;
- розробити програмне забезпечення для його роботи;
- провести калібрування приладу;
- розробити методику його використання.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Люксметр – це прилад для вимірювання освітленості у приміщеннях різного призначення, на робочих місцях, а також на відкритому просторі [3]. Це складна система, до складу якої входить фотодіод, підсилювач сигналу з фотодіода, аналогово-цифровий перетворювач, а також косинусна насадка та світлові фільтри. Працює люксметр на явищі внутрішнього фотоелектричного ефекту. Це процес виникнення електропровідності в напівпровідниках під дією електромагнітного випромінювання (на відміну від зовнішнього фотоефекту, коли відбувається емісія електронів під дією світла). Коли

© Наумчик П. І., Миронцов В. О., 2017

світловий потік потрапляє на напівпровідниковий фотоелемент, відбувається вивільнення електронів в об'ємі напівпровідника і як наслідок – через фотоелемент проходить електричний струм. Причому сила цього струму прямо пропорційна інтенсивності світла, тобто освітленості фотоелемента, а кінетична енергія фотоелектронів прямо пропорційна частоті світла. Такі прості математичні залежності дозволяють виразити величину освітленості кількісно.

У перших аналогових люксметрах освітленість розраховувалась за кутом відхилення стрілки гальванометра. Після винайдення селенового фотодіода та вдосконалення вакуумних фотоелементів, електрична фотометрія набула широкого застосування як у побутових, так і у промислових масштабах. Сучасні люксметри – це портативні цифрові прилади з рідкокристалічним екраном, на якому відображається результат вимірювання, з високими ступенями захисту корпусу та чутливого елемента, а також з набором додаткових функцій та можливостей.

У більш дешевих моделях люксметрів світлочутливий елемент може бути жорстко закріплений на корпусі, що обмежує можливості використання приладу. Гнучке з'єднання вимірювальної частини з приладом забезпечує можливості вимірювання у важкодоступних місцях.

Селеновий фотодіод є надзвичайно чутливим не тільки до видимого випромінювання, але й до ультрафіолетових та інфрачервоних променів, які не сприймаються людським оком. Тому в сучасних люксметрах широко використовуються корегуючі світлофільтри, які відсікають ці області спектра та наближають чутливість фотоелемента до чутливості людського ока. З іншого боку, потрібно враховувати і те, що кожне джерело (лампа розжарювання, люмінесцентна лампа, діодний світильник та ін.) має свій спектр випромінювання, тому для кожного люксметра потрібно використовувати свої коефіцієнти для різних типів ламп. Наприклад, під час вимірювання освітленості, що створюється люмінесцентними лампами, вводять поправочний коефіцієнт для ламп денного світла 0,88, а для ламп білого світла – 1,15.

Для вимірювання просторових характеристик освітленості теж існують свої засоби – це насадки сферичної та циліндричної форми. Для підвищення точності вимірювання освітленості при падінні світла під кутом теж можна використовувати спеціальні насадки. У випадку слабких джерел світла, а також коли необхідна особливо висока точність, варто скористатись вакуумними фотоелементами [4]

Виклад основного матеріалу. Основою розроблюваного приладу є 8 фоторезисторів, розташованих по колу (рис. 1), які підключені до платформи Arduino Nano.

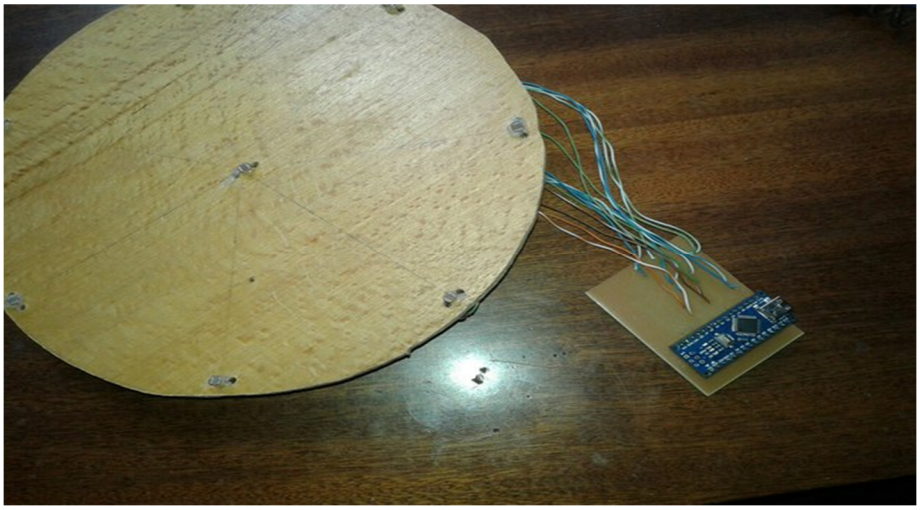

Рис. 1. Зовнішній вигляд цифрового люксметра

Nano Платформа, побудована на мікроконтролері ATmega328 (Arduino Nano 3.0) (рис. 2), має невеликі розміри і може використовуватися в лабораторних роботах. Вона має схожу з Arduino Duemilanove функціональність, проте відрізняється збиранням. Відмінність полягає у відсутності силового роз'єму постійного струму і роботі через кабель Mini-B USB.

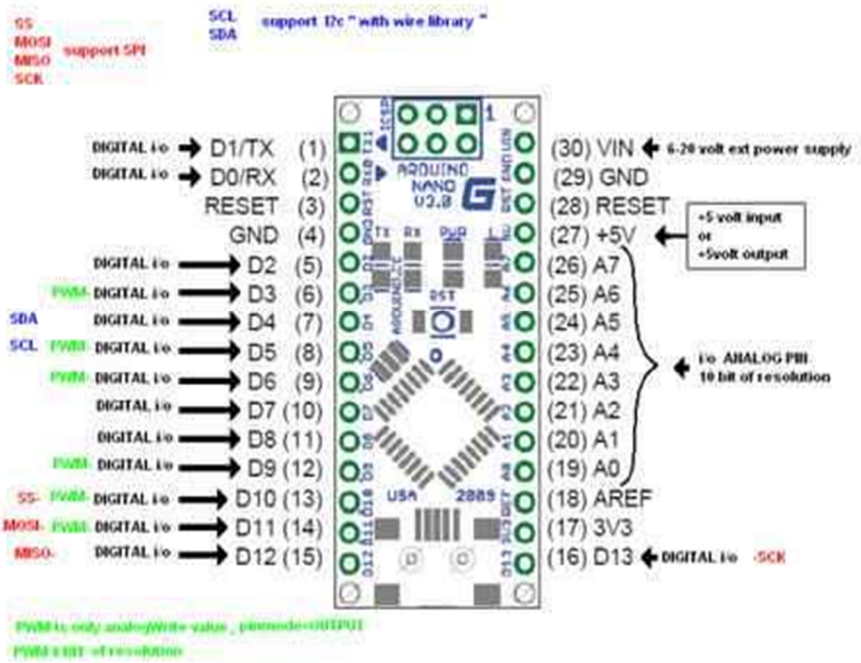

Рис. 2. Вводи і виводи плати ARDUINO NANO

Короткі характеристики платформи:

Мікроконтролер Atmel ATmega168 або ATmega328

Робоча напруга (логічний рівень) 5 В

Вхідна напруга (рекомендована) 7-12 В

Вхідна напруга (гранична) 6–20 В

Цифрові Входи / Виходи –14 (6 з яких можуть використовуватися як виходи ШІМ)

8 Аналогових входів

Постійний струм через вхід / вихід 40 мА

Флеш-пам'ять 32 Кб (ATmega328) при цьому 2 КБ використовуються для завантажувача

Пам'ять ОЗП – 2 КБ

EEPROM 1 Кб (ATmega328)

Тактова частота – 16 МГц

Розміри 1,85×4,2 см

Живлення:

Arduino Nano може отримувати живлення через підключення Mini-B USB або від нерегульованого зовнішнього джерела живлення.

Мікросхема FTDI FT232RL отримує живлення, тільки якщо сама платформа запитана від USB. Таким чином, під час роботи від зовнішнього джерела (НЕ USB), буде відсутня напруга 3,3 В, що генерується мікросхемою FTDI, при цьому світлодіоди RX і TX блимають тільки за наявності сигналу високого рівня на виводах 0 і 1.

Пам'ять

Мікроконтролер ATmega328 має 32 кБ флеш-пам'яті для зберігання коду програми. ATmega328 має 1 кБ ОЗП і 1 Кб EEPROM (яка читається і записується за допомогою бібліотеки EEPROM), А ATmega328 - 2 кБ ОЗУ і 1 Кб EEPROM.

Входи і Виходи

Кожен з 14 цифрових виводів Nano, використовуючи функції pinMode, digitalWrite і digitalRead, може налаштовуватися як вхід або вихід. Виводи працюють при напрузі 5 В. Кожен вивід має навантажувальний резистор (стандартно відключений) 20-50 кОм і може пропускати до 40 мА.

Деякі виводи мають особливі функції:

– Послідовна шина: 0 (RX) і 1 (TX). Виводи використовуються для отримання (RX) і передачі (TX) даних TTL. Ці виводи підключені до відповідних виводів мікросхеми послідовної шини FTDI USB-к-TTL.

– Зовнішнє переривання: 2 і 3. Ці виводи можуть бути налаштовані на виклик переривання або на молодшому значенні, або на передньому чи задньому фронті, або при зміні значення. Детальна інформація знаходиться в описі функції attachInterrupt.

– ШІМ: 3, 5, 6, 9, 10, і 11. Будь-який з виводів забезпечує ШІМ з роздільною здатністю 8 біт за допомогою функції analogWrite.

– SPI: 10 (CC), 11 (MOSI), 12 (MISO), 13 (SCK). За допомогою цих виводів здійснюється зв'язок SPI.

– I2C: A4 (SDA) і A5 (SCL). За допомогою виводів здійснюється зв'язок I2C (TWI). Для створення використовується бібліотека Wire.

Додаткова пара виводів платформи:

– AREF. Опорна напруга для аналогових входів. Використовується з функцією analogReference.

– Скидання. Низький рівень сигналу на виводі перезавантажує мікроконтролер. Зазвичай застосовується для підключення кнопки перезавантаження на платі розширення, що закриває доступ до кнопки на самій платі Arduino.

Зв'язок

На платформі Arduino Nano встановлено кілька пристроїв для здійснення зв'язку з комп'ютером, іншими пристроями Arduino або мікроконтролерами. ATmega328 підтримує послідовний TTL Інтерфейс UART (5 В), 0 здійснюваний виводами (RX) і 1 (TX). Встановлена на платі мікросхема FTDI FT232RL направляє цей інтерфейс через USB, а драйвери FTDI (включені у програму Arduino) надають віртуальний COM порт програмі на комп'ютері. Моніторинг послідовної шини (Serial Monitor) програми Arduino дозволяє посилати й отримувати текстові дані при підключенні до платформи. Світлодіоди RX і TX на платформі будуть блимати при передачі через USB підключення.

Бібліотекою SoftwareSerial можливо створити послідовну передачу даних через будь-який з цифрових виводів Nano.

Програмування

Платформа програмується за допомогою ПЗ Arduino. З меню Tools> Board вибирається «Arduino Diecimila, Duemilanove Nano / ATmega328». Детальна інформація знаходиться в довіднику й інструкціях.

Мікроконтролер ATmega328 поставляється з записаним завантажувачем, що полегшує запис нових програм без використання зовнішніх програматоров. Зв'язок здійснюється оригінальним протоколом STK500.

Є можливість не використовувати завантажувач і запрограмувати мікроконтролер через виводи блока ICSP (внутрішньосхемне програмування). [http://arduino.ru/Hardware/ArduinoBoardNano]

Нижче записано програмний код мікроконтролера:

```
int sensors[] = {A0, A1, A2, A3, A4, A5, A6, A7};
int sensorValues[sizeof(sensors)/sizeof(int)];
void setupSensors() {
  for (int i = 0; i < (sizeof(sensors)/sizeof(int)); i++) {
    pinMode(sensors[i], INPUT);
  }
}
void readSensorsValues() {
  for (int i = 0; i < (sizeof(sensors)/sizeof(int)); i++) {
    sensorValues[i] = analogRead(sensors[i]);
  };
}
void printSensorsValues() {
  for (int i = 0; i < (sizeof(sensors)/sizeof(int)); i++) {
    Serial.print("Sensor ");
    Serial.print(i);
    Serial.print(" value:");
    Serial.println(sensorValues[i]);
  }
}
void printSensorsAverageValue() {
  int avg = 0;
  int sum = 0;
  int sensorsQuantity = sizeof(sensors)/sizeof(int);
  for (int i = 0; i < sensorsQuantity; i++) {
    sum += sensorValues[i];
  };
  Serial.print("Sensors average: ");
  Serial.println(sum / sensorsQuantity);
}
void setup() {
  setupSensors();

  Serial.begin(115200);

  while (!Serial) {
    ; // wait for serial port to connect. Needed for Leonardo only
  };
  Serial.println("Sensors values:");
}
void loop() {
  readSensorsValues();
  printSensorsValues();
  printSensorsAverageValue();
  delay(1000); // 1second
}
```

Калібрування приладу виконувалось таким чином. Джерело світла було підключено через випрямляч ВС – 24, який дає можливість змінювати напругу живлення, за рахунок чого змінюється яскравість світіння лампи, а отже, і величину освітленості. За

однакових значеннях напруги та струму було виміряно освітленість за допомогою аналогового люксметра (шкала проградуйована в люксах) та знято покази фоторезисторів при тих самих значеннях. Порівнявши дані, було визначено, які значення опорів фоторезисторів відповідають певним значенням осітленості. Нижче наведено таблицю із цими значеннями.

Таблиця 1

Результати вимірювань під час калібрування

			Опір							
I (A)	U (B)	Лк	1	2	3	4	5	6	7	8
1,5	16	1	830	796	807	855	785	816	826	808
1,6	18	2	865	835	852	887	827	857	862	849
1,7	20	3	896	871	894	914	866	891	894	885
1,8	22	4	923	902	916	938	900	920	921	915
1,9	24	5	936	916	931	949	915	932	933	928
1,95	25	6	943	925	942	955	924	940	941	936
2	25	7	945	927	950	956	925	941	942	937
2	26	8	949	931	955	960	931	946	947	942
2,1	26,5	9	954	937	958	965	938	952	952	948
2,1	27	10	956	939	961	966	940	953	954	949
2,1	28	11	957	941	964	967	942	954	954	951
2,1	29	12	961	946	969	971	947	959	959	955
2,15	29,5	13	964	949	972	973	950	961	961	958
2,2	30	14	967	953	975	976	954	965	965	961
2,2	31	15	969	956	978	977	957	966	967	964
2,2	32	16	972	959	979	980	960	970	970	967
2,3	33	17	973	960	979	981	960	971	970	968

На рис. 3 зображено калібровочний графік залежності освітленості від потужності.

Методика використання люксметра

Для вимірювання освітленості за допомогою цього приладу необхідно виконати такі дії:

1. Помістити фоторезистори та досліджуване джерело світла у захисний кожух із світлоневідбиваючого та світлонепропускаючого матеріалу (необхідно для усунення похибки, яку вносить зовнішнє світло).

2. Підключити мікроконтролер до ПК (на якому повинне бути встановлено спеціально розроблене програмне забезпечення).

3. Під`єднати джерело світла до мережі та запустити програму.

4. Зняти виміряні значення з монітора ПК.

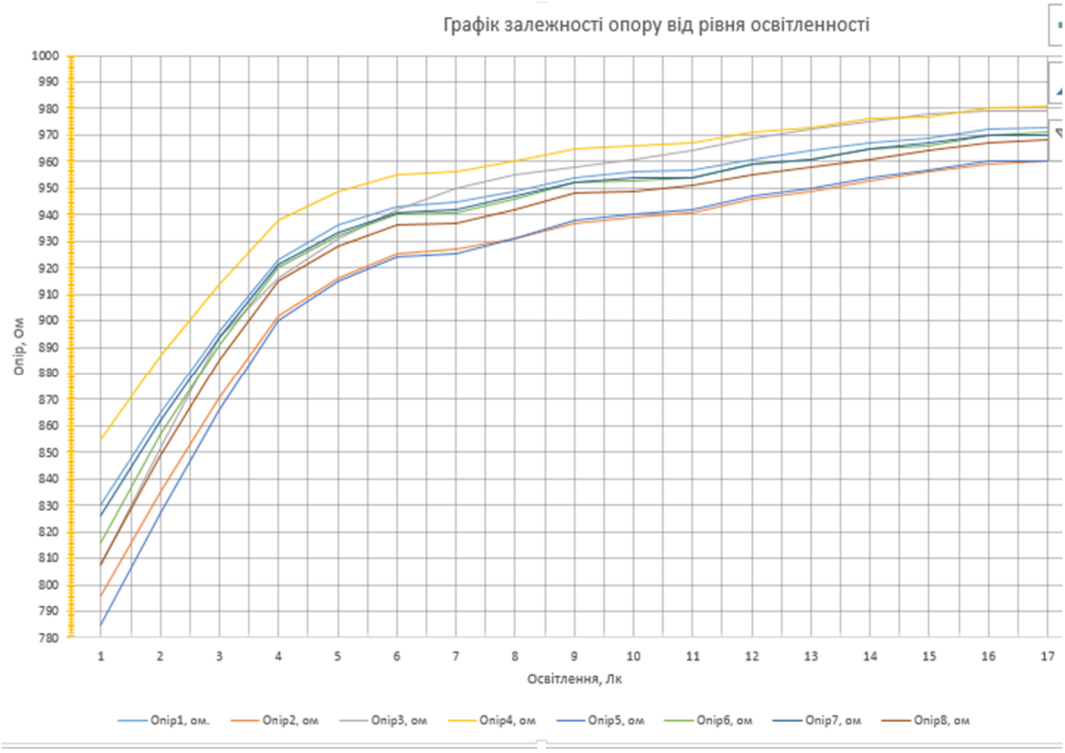

Рис. 3. Калібровочний графік залежності освітленості від потужності

Висновки і пропозиції. У статті було описано розробку, виготовлення, калібрування й програмне забезпечення цифрового люксметра – приладу, призначеного для визначення ефективності джерел світла. Розроблено програмне забезпечення для роботи приладу, проведено калібрування приладу, розроблено методику його використання.

Список використаних джерел

1. *Кожушко Г. М.* Стандартизація світлодіодних ламп та світильників в Україні [Електронний ресурс] / Г. М. Кожушко, Л. В. Дугніст. – Режим доступу : http://tntforum.ukrainianforum.net/t48-topic.

2. *Наумчик П.* Універсальний прилад для визначення ефективності джерел світла / П. І. Наумчик, В. О. Миронцов // Технічні науки та технології : науковий журнал. – 2016. – № 1 (3). – С. 188–193.

3. *Гнатюк О.* Сучасні люксметри – надійний контроль освітленості за будь-яких умов [Електронний ресурс] О. Гнатюк. – Режим доступу : http://simvolt.ua/suchasn-lyuksmetri-nadyniy-kontrol-osvtlenost-za-bud-yakih-umov.html.

3. *Вейнерт Д.* Светодиодное освещение : справочник / Д. Вейнерт, Ч. Сполдинг. – Philips, 2010. – 156 с.

References

1. Kogyshko, G.M., Dygnist, L.V. *Standartyzatsiya svitlodiodnykh lamp ta svitylnykiv v ukrayini [Standardization of LED lamps and fixtures in Ukraine].* Retrieved from http://tntforum.ukrainianforum.net/t48-topic.

2. Naumchyk, P.I., Myrontsov, V.O. (2016). Universalnyi prylad dlia vyznachennia efektyvnosti dzherel svitla [Universal instrument for determining the efficiency of light sources]. *Tekhnichni nauky ta tekhnolohii – Technical sciences and technologies*, no.1 (3), pp. 188–193 (in Ukrainian).

3. Gnatyuk, O. *Suchasni liuksmetry – nadiinyi kontrol osvitlenosti za bud-yakykh umov [Modern luxmeters – reliable control of illumination under any conditions].* Retrieved from http://simvolt.ua/suchasn-lyuksmetri-nadyniy-kontrol-osvtlenost-za-bud-yakih-umov.html.

4. Veinert, D., Spolding, Ch. *Svetodiodnoe osveshchenie: spravochnik Philip [LED Lighting: Reference-book Philips]* (2010).

Pavlo Naumchyk, Vitaliy Mirontsov

UNIVERSAL DEVICE FOR DETERMINING THE EFFICIENCY OF LIGHT SOURCES

Urgency of the research. *According to the state standards of Ukraine, the quality assessment of lighting devices is carried out according to the following characteristics: light output, light flux, average service life. Therefore, there is a need for an instrument that can measure these characteristics.*

Actual scientific researches and issues analysis. *Our analysis of publications has shown that methods for assessing the quality of lighting are complicated, and devices are expensive.*

Uninvestigated parts of general matters defining. *We have proposed a cheaper universal instrument for determining the efficiency of light sources, the main components of which are digital luxmeters and digital wattmeter. In the Articleis considered one of the main components of a universal device - digital luxmeter.*

The research objective. *For a universal device for determining the efficiency of light sources is needed a digital luxmeter, which allows determining the magnitude and distribution of the surface illumination.*

The statement of basic materials. *The sensors of our own developed luxmeter are photoresists connected to the Arduino Nano platform. The Article highlights the structure, manufacturing technology, calibration methods and software of this digital luxmeter. Also the technique of work with the device is considered..*

Conclusion. *Our own developed luxmeter is a prototype of a more complex and high-quality device. The next stage in the development of a universal device for determining the effectiveness of light sources is manufacture of a digital wattmeter. The software for the device operation was developed, the device calibration and developed method of its use was done.*

Key words: *light sources; digital light meter; photoresists (LDR); software code for microcontroller; calibration.*

Павел Наумчик, Виталий Миронцов

ЦИФРОВОЙ ЛЮКСМЕТР УНИВЕРСАЛЬНОГО ПРИБОРА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСТОЧНИКА СВЕТА

Рассмотрена проблема разработки, изготовления, калибровки и программного обеспечения цифрового люксметра – прибора, предназначенного для определения эффективности источников света. Разработана методика работы с цифровым люксметром.

Ключевые слова: *источники света; цифровой люксметр; фоторезисторы; программный код микроконтроллера; калибровка.*

Наумчик Павло Іванович – кандидат педагогічних наук, доцент кафедри інформаційно-вимірювальних технологій, метрології та фізики, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Т. Г. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14027, Україна)**.**

Наумчик Павел Иванович – кандидат педагогических наук, доцент кафедры информационно-измерительных технологий, метрологии и физики, Черниговский национальный технологический институт (ул. Т. Г. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14027, Украина)**.**

Naumchyk Pavlo – PhD in Pedagogical Sciences, Assistant Professor of Information and Measurement Technology, Metrology and Physics, Cherrnihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14027 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: naumchick.pavel@gmail.com

Миронцов Віталій Олегович – студент, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Т. Г.Шевченка, 95, м. Чернігів, 14027, Україна)**.**

Миронцов Виталий Олегович – студент, Черниговский национальный технологический институт (ул. Т. Г. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14027, Украина)**.**

Mirontsov Vitaliy – student, Cherrnihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14027 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: vitalifilin@gmail.com

Наумчик П. Цифровий люксметр універсального приладу для визначення ефективності джерел світла / П. Наумчик, В. Миронцов // Технічні науки та технології. – 2017. – № 2 (8). – С. 143-150.