

О. В. Бабенко, к. т. н.; В. В. Захаров; Д. Л. Ферфецький

МЕТОД ПЕРЕХРЕСНОЇ ПЕРЕВІРКИ РЕЗУЛЬТАТІВ ОЦІНЮВАННЯ ОСВІТЛЮВАЛЬНОГО НАВАНТАЖЕННЯ ПІД ЧАС ПРОВЕДЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОГО АУДИТУ ВИРОБНИЧИХ ПРИМІЩЕНЬ

Розроблено метод перехресної перевірки результатів оцінювання освітлювального навантаження під час проведення енергетичного аудиту, який полягає в розкладенні функції сили світла в ряд Фур'є й дозволяє підвищити достовірність отриманих аудитором результатів.

Ключові слова: крива сили світла, ряд Фур'є, просторові ізолюкси, світловий потік, світильник.

Розгляд проблеми і постановка завдання

Актуальність. Системи освітлення є невід'ємною частиною сучасних промислових та цивільних об'єктів. Такі системи повинні задовольняти критерії надійності, економічності та безпеки для здоров'я людини. Для перевірки ефективності використання електроенергії в системах освітлення на підприємствах проводять енергетичні аудити. У процесі проведення енергетичного аудиту після завершення попереднього оцінювання обсягів енергоспоживання для забезпечення повноти й достовірності вихідної інформації енергоаудитори займаються перевіркою даних, яка називається перехресною [1]. Перехресну перевірку здійснюють шляхом отримання значення енергоспоживання іншим достовірним способом і порівняння результату з оціненим. Забезпечення достовірності вхідних даних, зібраних енергоаудитором, є одним з головних критеріїв ефективності аудиторського дослідження.

Постановка задачі дослідження. Велику зацікавленість для енергоаудиторів становлять системи зовнішнього та внутрішнього освітлення великих промислових приміщень, де використовують джерела світла значної потужності (наприклад, лампи ДРЛ), які працюють протягом значного періоду [2, 3].

Перевірка економічності таких систем освітлення передбачає оцінювання фактичного споживання електроенергії. Оскільки основну частину фактично спожитої електроенергії визначають прийнятими світлотехнічними рішеннями, то виникає потреба в їхній автоматизованій перевірці.

Для світлотехнічних розрахунків використовують декілька методів, які зводяться до основних: точкового методу і методу коефіцієнта використання [4]. Метод коефіцієнта використання доцільно застосовувати під час розрахунку загального рівномірного освітлення за відсутності затінь. Точковий метод доцільно застосовувати як за відсутності, так і за наявності затінь, як правило, для світильників прямого світла.

Для розрахунку зовнішнього освітлення або освітлення великих виробничих приміщень, яке іноді є нерівномірним, доцільніше використовувати точковий метод. Застосування ручних розрахунків для реалізації вказаного методу для аудитора не вигідне, оскільки пов'язане із значними витратами часу. Більш ефективним є використання сучасних комп'ютерних програм DIALux, Calculux та інших. З іншого боку, для перехресної перевірки отриманих результатів необхідно використати підходи, які можна було б легко перевірити і зручно отримати необхідну вхідну інформацію [5]. Ураховуючи це, використання комп'ютерних програм іноді призводить до ускладнень у разі відсутності характеристик потрібного світильника в базі даних, особливо якщо здійснюється енергетичний аудит виробничих приміщень із світильниками, які служать тривалий період, тому актуальним є

завдання побудови простих методів аудиторської перехресної перевірки, які для забезпечення швидкодії можна реалізувати з використанням прикладних програм, наприклад, Microsoft Excel. Важливо, щоб ці методи дозволяли використання вхідної інформації про параметри світильників, отриманої аудитором у будь-якій формі (наприклад, із кривих сили світла, отриманих з літератури або інтернет-джерел).

Основним етапом розрахунку освітлення за точковим методом є визначення умовної освітленості e за кривими ізольоксів для точки робочої поверхні, яка характеризується координатами d (відстань від проекції джерела світла до розрахункової точки на робочій поверхні) та розрахункової висоти h (для розрахунку освітлення від круглосиметричних світильників).

У [4, 6] наведено методики побудови просторових ізольоксів. Зокрема, для випадку круглосиметричних світильників такі ізольокси будують із використанням виразу

$$e = \frac{I_{\alpha} \cos^3 \alpha}{h^2}, \quad (1)$$

де I_{α} – значення сили світла для кута α .

Недоліком застосування ізольоксів є громіздкість їхньої побудови. Особливо це відчутно у випадку проведення проектування чи енергетичного аудиту системи освітлення, коли для порівняння пропонують багато типів світильників з різними кривими сили світла.

Звісно, під час проектування часто використовують просторові ізольокси, які вже побудовані для конкретних типів світильників і наведені в довідниках. Однак на ринку світлотехнічної продукції постійно розширюється номенклатура світильників – і необхідних даних для вибраного світильника може не виявитись. У такому разі використовують просторові ізольокси для схожих за характером світлорозподілу світильників. Це призводить до виникнення похибки визначення умовної горизонтальної освітленості e , яка впливає на результат проектування чи аудиту.

Відповідно постає актуальним визначення e аналітично, без використання кривих просторових ізольоксів.

Мета роботи – розробити метод перехресної перевірки отриманої інформації про систему освітлення з круглосиметричними джерелами світла (світильники з лампами ДРЛ і подібні), який характеризується можливістю реалізації з використанням прикладних програм і дозволяє використання вхідної інформації про параметри освітлювальних приладів, отримані аудитором у будь-якій формі.

Обґрунтування результатів

Аналіз виразу (1) показує, що для аналітичного визначення умовної горизонтальної освітленості необхідно знайти функціональну залежність $I_{\alpha}(\alpha)$. У роботі запропоновано отримати залежність $I_{\alpha}(\alpha)$ у результаті розкладу значень сили світла в ряд Фур'є [7].

Функціональна залежність сили світла може бути представлена тригонометричним поліномом

$$I(\alpha) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^N \left(a_n \cos n \frac{2\pi}{\alpha_{\max}} \alpha + b_n \sin n \frac{2\pi}{\alpha_{\max}} \alpha \right), \quad (2)$$

де N – кількість членів поліному; α_{\max} – кут, який охоплює криву сили світла (інтервал апроксимації функції сили світла буде $[0 \dots \alpha_{\max}]$); α – кут, за якого необхідно знайти значення сили світла ($0 \leq \alpha \leq \alpha_{\max}$); $a_n = \frac{2}{m} \sum_{k=0}^{m-1} I_k \cos n \frac{2\pi k}{m}$, тут $k = 0, 1, 2, \dots, m-1$, де m – кількість значень сили світла, взятих з експериментальної кривої в межах періоду

$$(0 \leq \alpha \leq \alpha_{\max}); b_n = \frac{2}{m} \sum_{k=0}^{m-1} I_k \sin n \frac{2\pi k}{m}.$$

Для прикладу пропонуємо здійснити перехресну перевірку результатів оцінювання економічності освітлювального навантаження виробничого приміщення, у якому використовують 18 світильників РСП-16-400-231, що призначені для загального освітлення запилених і вологих промислових приміщень (рис. 1).



Рис. 1. Зовнішній вигляд світильника РСП-16-400-231 і лампи ДРЛ 400, що використовується в ньому

Джерела світла, що використовують у таких світильниках, – лампи типу ДРЛ потужністю 400 Вт. Криву сили світла для цього світильника наведено на рис. 2.

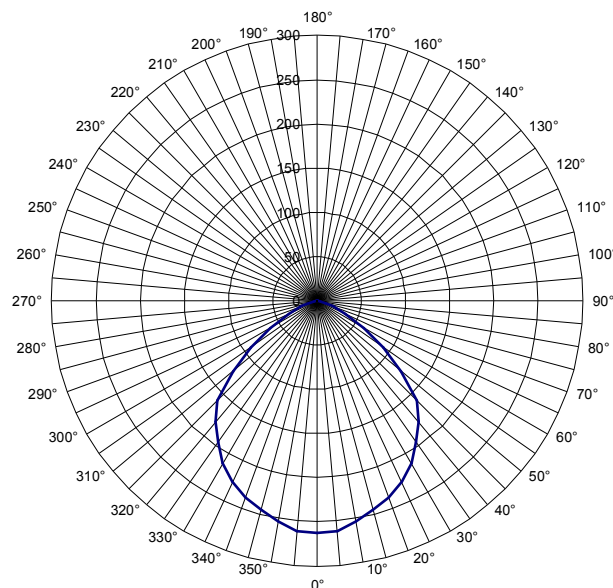


Рис. 2. Крива сили світла для світильника РСП-16-400-231

Параметри виробничого приміщення, у якому здійснюють енергоаудит системи освітлення: ширина – 20 м, довжина – 30 м, розрахункова висота – 5 м. Нормована мінімальна освітленість на робочих місцях – 200 лк.

Значення сили світла світильника, що відповідають кривій (рис. 2), наведено в таблиці 1.

Значення сили світла для світильника РСП-16-400-231

$\alpha, ^\circ$	0	5	10	15	20	25	30	35
$I\alpha, \text{кд}$	123	127	127	132	140	157	191	246
$\alpha, ^\circ$	40	45	50	55	60	65	70	75
$I\alpha, \text{кд}$	268	285	382	429	314	183	34	8

Результати попереднього розрахунку за методом коефіцієнта використання показали доцільність у вказаному приміщенні використати 18 світильників із потужністю ламп 400 Вт і номінальним світловим потоком лампи 24000 лм для забезпечення необхідної мінімальної освітленості в заданих точках робочої поверхні. Однак у результаті вимірювання освітленості в робочій точці за допомогою люксметра встановлено, що реальна освітленість дещо перевищує 200 лк, що свідчить про завищену потужність системи освітлення.

Для перехресної перевірки використано точковий метод розрахунку, для якого для вказаного світильника РСП-16-400-231 на основі значень з реальної кривої сили світла (табл. 1) побудовано просторові ізолюкси (рис. 3).

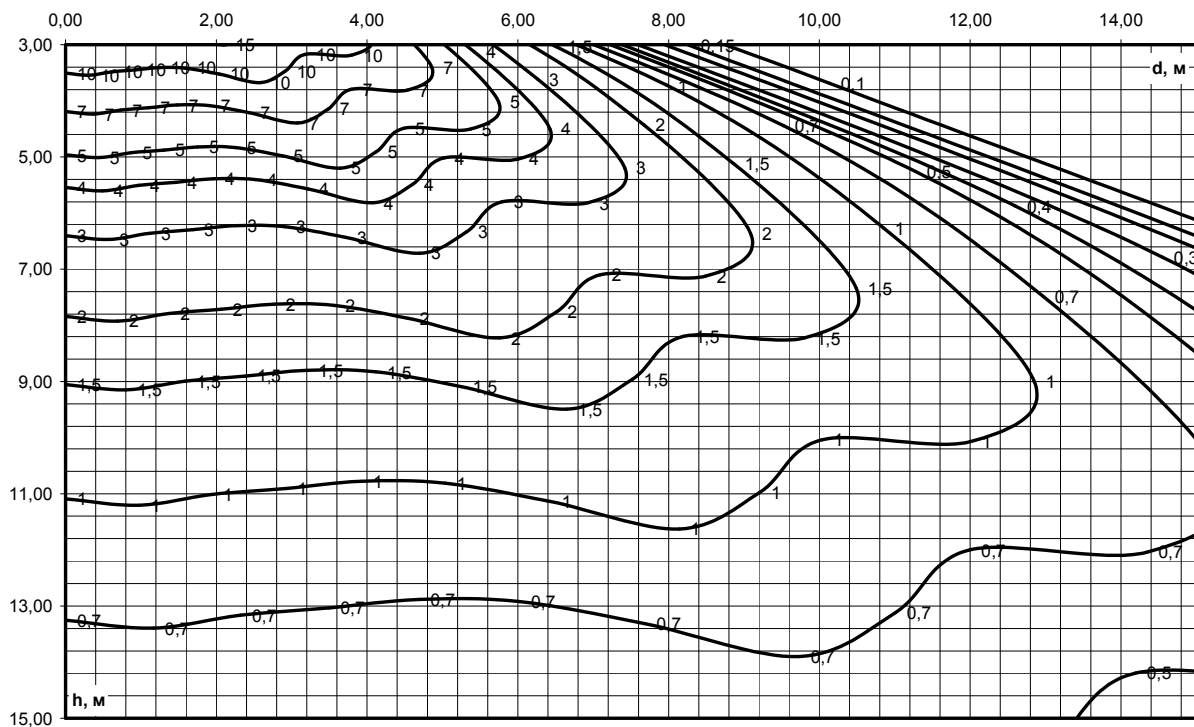


Рис. 3. Просторові ізолюкси умовної горизонтальної освітленості для світильника РСП-16-400-231

У результаті застосування точкового методу розрахунку освітлення і даних, що взяті з рис. 3, отримано результат, який вказує на те, що за умови використання 18 світильників достатньо використати лампи із світловим потоком в межах 18020 лм. Отже, у вказаному приміщенні можна застосувати 18 ламп меншої потужності з меншим світловим потоком, ніж 24000 лм або перерахувати систему освітлення, зменшивши кількість світильників. Тобто є можливість підвищити рівень енергоощадності на підприємстві шляхом зниження споживаної потужності освітлення у досліджуваному приміщенні.

Для перевірки ефективності зменшення кількості світильників необхідно здійснити перерахунок системи освітлення за точковим методом, оскільки зміняться відстані між світильниками. Це вимагає нового використання просторових ізолюксів (рис. 3), що пов'язане з додатковим часом.

Під час проведення енергетичного аудиту необхідно ошадно витратити час, особливо

коли це переддоговірний етап аудиторського дослідження, який може не оплачуватись. Тоді стають актуальними методи досліджень, які дозволяють максимально автоматизувати процес розрахунку і швидко знайти необхідну вхідну інформацію.

Для автоматизованого визначення умовної горизонтальної освітленості e побудовано залежність $I_{\alpha}(\alpha)$ з використанням розкладення в ряд Фур'є:

$$I_{\alpha}(\alpha) = 196,6 - 113,2 \cos\left(\frac{2\pi}{75}\alpha\right) - 63,9 \sin\left(\frac{2\pi}{75}\alpha\right) - 28,6 \cos\left(2\frac{2\pi}{75}\alpha\right) + 69 \sin\left(2\frac{2\pi}{75}\alpha\right) + 30,6 \cos\left(3\frac{2\pi}{75}\alpha\right) + 37,8 \sin\left(3\frac{2\pi}{75}\alpha\right) + 13,9 \cos\left(4\frac{2\pi}{75}\alpha\right) - 7,9 \sin\left(4\frac{2\pi}{75}\alpha\right) \dots \quad (3)$$

У цьому прикладі було використано шість членів поліному.

У результаті комп'ютерного моделювання з використанням виразів (1) і (3) встановлено, що для досягнення мінімальної освітленості 200 лк у найвіддаленішій точці робочого простору приміщення розрахункове значення світлового потоку світильника може бути 19000 лм. Це значно менше за значення 24000, яке використано під час розрахунку методом коефіцієнта використання.

У такому разі, оскільки після застосування залежності (3), процес розрахунку стало легко автоматизувати, було запропоновано зменшити кількість світильників у приміщенні з 18 до 12. Швидко отриманий результат вказав на те, що світловий потік ламп світильників повинен складати 23120 лм. Світловий потік реальної лампи, потужністю 400 Вт, на 3,8% більший за це значення, що відповідає допустимому відхиленню (+20%) [4, 6, 8].

Уважаючи найбільш точним розрахунок системи освітлення з використанням експериментально побудованих просторових ізолюксів можна сказати таке. Похибка визначення світлового потоку лампи, яку необхідно встановити для досягнення необхідної освітленості за використання аналітичної функції кривої сили світла (3), складає 5,6 %.

Використання запропонованого методу перехресної перевірки, в основу якого покладено розкладення функції сили світла в ряд Фур'є, вказує на позитивні економічні наслідки. Так, припускаючи, що освітлення виробничого приміщення використовують 8 годин на добу, 240 днів на рік, а вартість спожитої електроенергії становить 1,2 грн./кВт·год., розрахована економія електроенергії внаслідок зменшення кількості світильників з 18 до 12 складе понад 5500 грн./рік.

Отже, такий метод перехресної перевірки може бути використаний як один з інструментів проведення енергоаудиторських досліджень, особливо у випадках, коли використання сучасних комп'ютерних програм розрахунку освітлення ускладнене через недостатність вхідних даних для останніх. Запропонований метод легко автоматизується за допомогою широко розповсюджених прикладних програм, наприклад, Microsoft Excel.

Висновки

1. Запропоновано метод перехресної перевірки результатів оцінювання освітлювального навантаження виробничих приміщень з круглосиметричними світильниками, який може бути застосований під час проведення енергетичного аудиту й дозволяє отримати уточнене значення освітлюваного навантаження. Вхідними даними для його реалізації є криві сили світла, які існують у різних джерелах як для сучасних світильників, так і тих, що давно використовують.

2. Під час використання розробленого методу відпадає необхідність будувати просторові ізолюкси умовної горизонтальної освітленості, оскільки таку освітленість визначають аналітично з використанням розкладення функції сили світла в ряд Фур'є.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Прокопенко В. В. Енергетичний аудит з прикладами та ілюстраціями: Навчальний посібник / Прокопенко В. В., Закладний О. М., Кульбачний П. В. – К. : Освіта України, 2009. – 438 с.
2. Андрійчук В. А. Аналіз систем зовнішнього освітлення та шляхів підвищення їх ефективності / В. А. Андрійчук, С. Ю. Поталіцин // Вісник Тернопільського національного технічного університету. – 2012. – Том 68. – № 4. – С. 168 – 175.
3. Мокін Б. І. Вплив несиметрії режиму на роботу освітлювальних установок зовнішнього освітлення та шляхи зменшення втрат активної потужності від протікання струмів несиметрії / Б. І. Мокін, В. А. Барчук // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2012. – № 2. – С. 154 – 158.
4. Кнорринг Г. М. Справочная книга для проектирования электрического освещения / Кнорринг Г. М., Фадин И. М., Сидоров В. Н. – СПб. : Энергоатомиздат, 1992. – 448 с.
5. Джеджула В. В. Енергетичний аудит як засіб забезпечення ефективності енергоспоживання промислових підприємств / В. В. Джеджула // Вісник Одеського національного університету. Економіка. – 2013. – Т. 18, Вип. 3/1. – С. 123 – 125.
6. Кнорринг Г. М. Светотехнические расчёты в установках искусственного освещения / Г. М. Кнорринг. – Л. : Энергия, 1973. – 200 с.
7. Овчинников П. П. Вища математика : Підручник у 2-х томах. Ч. 2 / Овчинников П. П., Яремчук Ф. П., Михайленко В. М. – [3-е вид.]. – К. : Техніка, 2008. – 792 с.
8. Справочная книга для проектирования электрического освещения / [Кнорринг Г. М., Оболенцев Ю. Б., Берим Р. И., Крючков В. М.] ; під ред. Г. М. Кнорринга. – Л. : Энергия, 1976. – 384 с.

Бабенко Олексій Вікторович – к. т. н., доцент кафедри електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту.

Захаров Василь Володимирович – старший викладач кафедри теоретичної електротехніки та електричних вимірювань.

Ферфецький Дмитро Леонідович – студент інституту електроенергетики та електромеханіки.
Вінницький національний технічний університет.

O. V. Babenko, Cand. Sc. (Eng.); V. V. Zakharov; D. L. Fefetskiy

A METHOD FOR CROSS-CHECKING THE RESULTS OF LIGHTING LOAD ESTIMATION WHILE PERFORMING ENERGY AUDITING OF INDUSTRIAL PREMISES

A method for cross-checking the results of lighting load estimation while performing energy auditing of industrial premises has been developed. It consists in the expansion of light intensity function in Fourier series and makes it possible to achieve higher reliability of the results obtained by the auditor.

Keywords: *light intensity curve, Fourier series, spatial isoluxes, light flux, luminaire.*

Review of the problem and statement of the task

Current importance of the problem. Lighting systems are an integral part of modern industrial and civil objects. Such systems must meet the criteria of reliability, economic efficiency and safety for human health. To test energy efficiency of lighting systems, audits are conducted at the enterprises. While conducting an energy audit, after the completion of preliminary assessment of energy consumption, energy auditors perform the so-called cross-checking of the data in order to ensure completeness and accuracy of the initial information [1]. Cross-checking is conducted by using another reliable method to obtain energy consumption data and comparing the results with estimated ones. Reliability of the input data, obtained by the energy auditor, is one of the main criteria of the audit study efficiency.

Statement of the research task. External and internal lighting systems of large industrial premises, where high-power light sources are used (e.g. mercury arc lamps working for long periods of time), are of great interest to energy auditors [2, 3].

Checking economic efficiency of such lighting systems involves estimation of actual energy consumption. Since the main part of the actually consumed energy is determined by the adopted lighting solutions, there is a necessity of their automated validation.

For calculations of lighting several methods are used, which are reduced to the two basic ones: a point method and utilization rate method [4]. Utilization rate method is expedient to be used for calculation of general uniform lighting when there are no shadows. Application of the point method is advisable in both cases: when shadows are present and when there are no shadows, as a rule, for direct-light luminaires.

For calculation of external lighting or lighting of large industrial premises, which is not always uniform, the point method is more expedient to be used. It is impractical for an auditor to use manual calculations for this method realization as it is a time-consuming procedure. It is more efficient to use modern software such as DIALux, Calculux and others. On the other hand, for cross-checking the obtained results it is necessary to use the approaches that could be validated easily and are convenient for receiving input information [5]. It should be taken into account that usage of software, sometimes, involves complications when characteristics of the necessary luminaire are absent in the database, which is especially true for energy audit of industrial premises with long-used luminaires. Therefore, it is important to elaborate simple methods of audit cross-checking that, for ensuring quick realization, could be implemented using such applications as Microsoft Excel. It is important for these methods to allow using input information about parameters of the luminaires, obtained in any form by the auditor (e.g., light intensity curves found in literary or internet sources).

The main stage of lighting calculations using the point method is determining conditional illuminance e , using isolux curve, for the working surface point characterized by coordinates d (distance from the light source projection for the calculation point on the working surface), and calculation height h (to calculate lighting from circular-symmetrical luminaires).

In [4, 6] procedures for building spatial isoluxes are presented. Particularly, for circular-

symmetrical luminaires such isoluxes are built using the expression

$$e = \frac{I_{\alpha} \cos^3 \alpha}{h^2}, \quad (1)$$

where I_{α} is light intensity value for angle α .

A disadvantage of using such isoluxes is inconvenience (bulkiness) of their construction. It is especially noticeable during lighting system design or energy audit when many types of luminaires with different light intensity curves are offered for comparison.

Certainly, ready spatial isoluxes are often used in design practice. They are constructed for definite types of lamps and are given in reference books. However, the nomenclature of lighting products, available at the market, has been constantly expanded and there could be no necessary data for a chosen lamp. In such cases spatial isoluxes are used for lamps with similar character of light distribution. This leads errors in determining conditional horizontal illuminance e , which influences the design or auditing results.

Therefore, it is becoming important to determine e analytically, without using the curves of spatial isoluxes.

The work aims at the development of the method for cross-checking the information obtained about lighting system with circular-symmetrical light sources (luminaires with mercury arc lamps and the similar), which is characterized by the possibility of its implementation using software applications and input information about the parameters of lighting devices, obtained in any form by the auditor.

Substantiation of the results

Analysis of expression (1) shows that for analytical estimation of the conditional horizontal illuminance functional dependence $I_{\alpha}(\alpha)$ is necessary to be found. In the paper it is proposed to obtain relationship $I_{\alpha}(\alpha)$ by expansion of the light intensity values in Fourier series. [7].

Functional dependence of the light intensity can be presented by a trigonometric polynomial

$$I(\alpha) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^N \left(a_n \cos n \frac{2\pi}{\alpha_{\max}} \alpha + b_n \sin n \frac{2\pi}{\alpha_{\max}} \alpha \right), \quad (2)$$

where N is the number of the polynomial members; α_{\max} – angle comprising the light intensity curve (the interval of the light intensity function approximation will be $[0 \dots \alpha_{\max}]$); α – angle for which

light intensity values are to be found ($0 \leq \alpha \leq \alpha_{\max}$); $a_n = \frac{2}{m} \sum_{k=0}^{m-1} I_k \cos n \frac{2\pi k}{m}$, here $k = 0, 1, 2 \dots m-1$,

where m – the number of light intensity values taken from the experimental curve within the period of ($0 \leq \alpha \leq \alpha_{\max}$); $b_n = \frac{2}{m} \sum_{k=0}^{m-1} I_k \sin n \frac{2\pi k}{m}$.

As an example, we propose to perform cross-checking the results of estimating economic efficiency of lighting loads in the industrial premises where 18 luminaires PСII-16-400-231, intended for general lighting of dusty and wet industrial premises, are used (Fig. 1).



Fig. 1. The exterior of luminaire PCII-16-400-231 and mercury arc lamp ДРЛ 400, used in it

Mercury arc lamps with the power of 400 W are used as a light source in such luminaires. Light intensity curve for this luminaire is presented in Fig. 2.

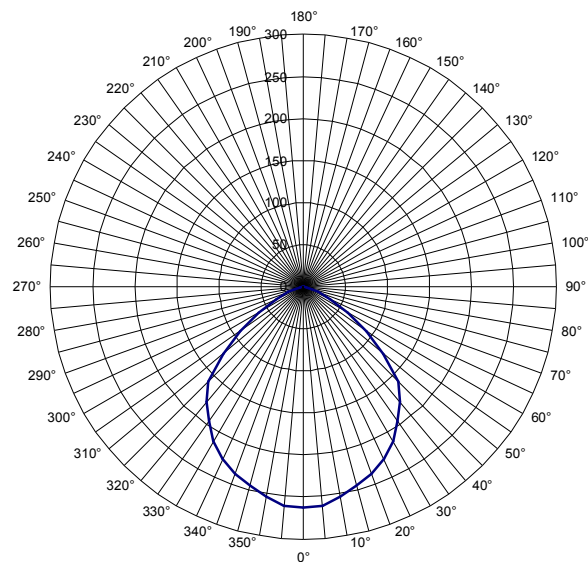


Fig. 2. Light intensity curve for the luminaire PCII-16-400-231

Parameters of the industrial premises, where energy audit of the lighting system was conducted, are as follows: width – 20 m, length – 30 m, calculation height – 5 m. Normalized minimal illuminance at the workplaces is 200 lx.

The values of the luminaire light intensity, corresponding to the curve (Fig. 2), are presented in Table 1.

Table 1

Light intensity values for luminaire PCII-16-400-231

$\alpha, ^\circ$	0	5	10	15	20	25	30	35
I_α, cd	123	127	127	132	140	157	191	246
$\alpha, ^\circ$	40	45	50	55	60	65	70	75
I_α, cd	268	285	382	429	314	183	34	8

The results of preliminary calculations by the utilization factor method have shown the expediency of using 18 luminaires, having the lamps with the power of 400W and normalized light flux of 24000lx, in these premises to provide the necessary minimal illuminance in the given points of the working surface. However, after measuring illuminance in the working point using a luxmeter, it was determined that actual illuminance exceeds 200 lx, which is the evidence of the lighting system

excessive power.

For cross-checking the point method of calculations was used. For its realization spatial isoluxes were built (Fig. 3) for the luminaire PCII-16-400-231 on the basis of values taken from the actual light intensity curve (Table 1).

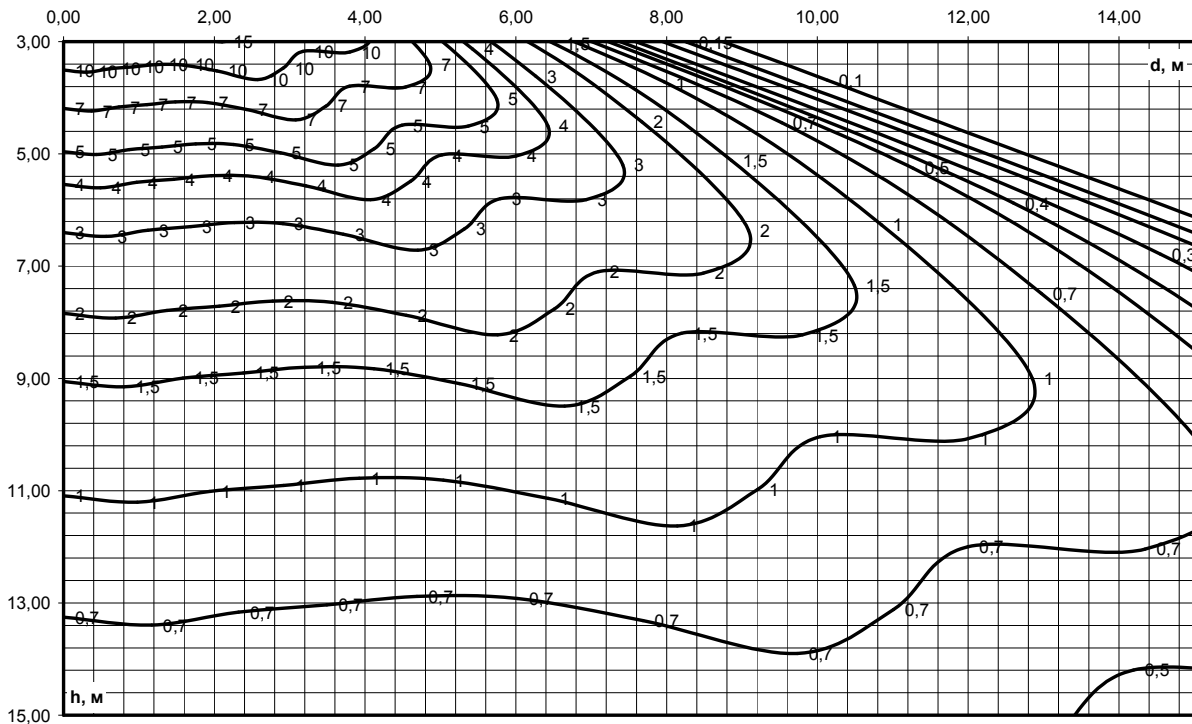


Fig. 3. Spatial isoluxes of the conditional horizontal illuminance for the luminaire PCII-16-400-231

The result, obtained after application of the point method for lighting calculation and the data from Fig. 3, shows that if 18 luminaires are used, it is sufficient to have lamps with a light flux within 18020 lx. Therefore, in the premises 18 lamps with lower power could be used with the light flux less than 24 000 lx. It is also possible to redesign the system for smaller number of luminaires, i.e. there is a possibility to increase the level of energy savings at the enterprise by reducing the lighting power consumption in the premises under study.

In order to check the efficiency of reducing the number of luminaires, it is necessary to redesign the lighting system, using the point method, as the distance between the luminaires has changed. This requires the use of new spatial isoluxes (Fig. 3), which involves spending additional time.

While performing energy auditing, it is necessary to save the time, especially if it is a pre-agreement stage of the auditing study that might not be paid for. In such a case it is important to use the methods, which enable automation of the calculation procedure and quick search for the input information.

For automated determination of the conditional horizontal illuminance e dependence $I_{\alpha}(\alpha)$ was built using expansion in Fourier series:

$$\begin{aligned}
 I_{\alpha}(\alpha) = & 196,6 - 113,2 \cos\left(\frac{2\pi}{75} \alpha\right) - 63,9 \sin\left(\frac{2\pi}{75} \alpha\right) - 28,6 \cos\left(2 \frac{2\pi}{75} \alpha\right) + 69 \sin\left(2 \frac{2\pi}{75} \alpha\right) + \\
 & + 30,6 \cos\left(3 \frac{2\pi}{75} \alpha\right) + 37,8 \sin\left(3 \frac{2\pi}{75} \alpha\right) + 13,9 \cos\left(4 \frac{2\pi}{75} \alpha\right) - 7,9 \sin\left(4 \frac{2\pi}{75} \alpha\right) \dots
 \end{aligned} \quad (3)$$

In this example six polynomial members are used.

As a result of computer simulation with the application of expressions (1) and (3), it was determined that in order to achieve minimal illuminance 200 lx in the most remote point of the working space in the premises, the calculated value of the luminaire light flux can be 19000 lm. It is

considerably less than the value of 24000, which is used for calculations by the utilization factor method.

As after using dependence (3) it became easy to automate the calculation procedure, it was proposed to reduce the number of luminaires in the premises from 18 to 12. Quickly obtained result indicated that light flux of the lamps in luminaires must be 23120 lm. Light flux of the real 400W lamp exceeds this value by 3,8%, which corresponds to the permissible deviation of (+20%) [4, 6, 8].

Considering the lighting system calculation using experimentally built spatial isoluxes to be the most accurate method, we can say the following. With the application of analytical function of the light intensity curve (3) the error of determining the lighting flux of a lamp to be installed for achieving the required illuminance is 5,6 %.

Application of the proposed cross-checking method, based on the Fourier series expansion of the light intensity function, leads to positive economic consequences. If to assume that lighting in industrial premises is used 8 hours a day 240 days a year and the consumed energy cost is 1, 2 UAH / KW · h, the calculated electric energy savings, achieved due to the number of luminaires being reduced from 18 to 12, will be 5500 UAH / year.

Thus, the above cross-checking method could be used as a tool for energy auditing studies, especially when the use of modern lighting computation software is problematic due to insufficiency of the required input data. The proposed method is easy to automate using common software such as Microsoft Excel.

Conclusions

1. A method is proposed for cross-checking the results of estimating lighting loads in industrial premises with circular-symmetrical luminaires. The method could be used for energy auditing and makes it possible to obtain more accurate values of lighting loads. Input data for its implementation are light intensity curves for various light sources – both for modern luminaries and for those which are long in use.

2. The developed method implementation does not require building spatial isoluxes of the conditional horizontal illuminance as such illuminance is determined analytically using expansion of the light intensity function in Fourier series.

REFERENCES

1. Прокопенко В. В. Енергетичний аудит з прикладами та ілюстраціями: Навчальний посібник / Прокопенко В. В., Закладний О. М., Кульбачний П. В. – К. : Освіта України, 2009. – 438 с.
2. Андрійчук В. А. Аналіз систем зовнішнього освітлення та шляхів підвищення їх ефективності / В. А. Андрійчук, С. Ю. Поталіцин // Вісник Тернопільського національного технічного університету. – 2012. – Том 68. – № 4. – С. 168 – 175.
3. Мокін Б. І. Вплив несиметрії режиму на роботу освітлювальних установок зовнішнього освітлення та шляхи зменшення втрат активної потужності від протікання струмів несиметрії / Б. І. Мокін, В. А. Барчук // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2012. – № 2. – С. 154 – 158.
4. Кнорринг Г. М. Справочная книга для проектирования электрического освещения / Кнорринг Г. М., Фадин И. М., Сидоров В. Н. – СПб. : Энергоатомиздат, 1992. – 448 с.
5. Джеджула В. В. Енергетичний аудит як засіб забезпечення ефективності енергоспоживання промислових підприємств / В. В. Джеджула // Вісник Одеського національного університету. Економіка. – 2013. – Т. 18, Вип. 3/1. – С. 123 – 125.
6. Кнорринг Г. М. Светотехнические расчёты в установках искусственного освещения / Г. М. Кнорринг. – Л. : Энергия, 1973. – 200 с.
7. Овчинников П. П. Вища математика : Підручник у 2-х томах. Ч. 2 / Овчинников П. П., Яремчук Ф. П., Михайленко В. М. – [3-е вид.]. – К. : Техніка, 2008. – 792 с.
8. Справочная книга для проектирования электрического освещения / [Кнорринг Г. М., Оболенцев Ю. Б., Берим Р. И., Крючков В. М.] ; під ред. Г. М. Кнорринга. – Л. : Энергия, 1976. – 384 с.

Babenko Olexiy – Cand. Sc. (Eng.), Ass. Prof. of the Department of Electric Power Consumption Systems and Power Management.

Zakharov Vasyl – Senior Lecturer of the Department of Electric Power Engineering and Electrical Measurements.

Ferfetskiy Dmytro – Student of the Institute of Power Engineering, Ecology and Electrical Mechanics.
Vinnytsia National Technical University.