

Д. В. Кислиця¹, Ю. О. Басова², С. Г. Кислиця¹, Г. М. Кожушко¹, Р. В. Захарченко¹

¹ Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», Полтава, Україна

² Полтавський державний аграрний університет, Полтава, Україна

СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ ОСВІТЛЕННЯМ – ЕФЕКТИВНИЙ ШЛЯХ ЕКОНОМІЇ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ ТА ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ОСВІТЛЕННЯ

Анотація. В роботі розглядаються типові функції систем керування освітленням та перспективи їх розвитку з використанням сучасних досягнень в світлодіодній техніці, мініатюризації компонентів, які можуть інтегровані в системі світлодіодних модулів таких як датчики, використанні бездротового зв'язку, можливість керування інформацією через Internet. Основні типові функції систем автоматичного керування освітленням: підтримання штучного освітлення в приміщеннях на зоровому рівні; зниження споживаної потужності систем освітлення за рахунок використання природного освітлення; зниження споживаної потужності систем освітлення за рахунок їх оптимізації в кожен момент часу, зокрема, вихідні та святкові дні, залежно від присутності людей в приміщенні та ін.; комбіноване керування освітленням з використанням ручного та автоматизованого, що дозволяє визначати параметри освітлення з врахуванням індивідуальних побажань споживачів; вибір параметрів освітлення на основі даних попередніх налаштувань, які можуть покращити світлове середовище; забезпечення параметрів освітлення орієнтованого на концепцію інтегративного освітлення («освітлення для людей», HCL) шляхом автоматичного регулювання рівня освітленості та колірності світла впродовж дня та ін. Системи керування освітленням в своїй основі базуються на використанні датчиків часу, присутності та рівнів освітленості, або комбінованих датчиків, що поєднують в собі ці функції. В світовій практиці для автоматичного керування освітленням застосовуються два основних інтерфейси керування вихідним струмом: аналоговий і цифровий. В статті наводиться інформація стосовно особливостей регулювання параметрів світлодіодів з використанням аналогових і цифрових інтерфейсів, розглядаються деякі питання створення систем інтелектуального освітлення та перспектив використання систем освітлення штучного інтелекту. Зроблені висновки стосовно енергоефективності використання систем автоматичного керування освітленням, основних вимог до їх параметрів та перспективи розвитку.

Ключові слова: світлодіодні лампи, системи керування освітленням, мерехтіння, димінг, широтно-імпульсна модуляція.

Вступ

Постановка проблеми. Згідно з даними Міжнародного енергетичного агентства (ІЕА) 19 % світового виробництва електроенергії (ЕЕ) витрачається на освітлення, тому надзвичайно актуальною є проблема скорочення споживання ЕЕ системами освітлення (СО). В Європейському законодавстві в сфері енергоефективності останнім часом прийнято ряд нових нормативних документів, направлених на підвищення енергоефективності освітлення [1-2] на основі яких в Україні впроваджуються відповідні технічні регламенти. Не менш важливою є проблема якості світла. Одним із головних завдань якісного освітлення є забезпечення комфортної зорової роботи та адекватного сприймання навколишнього середовища. Недавні медико-біологічні дослідження показали, що світло крім зорових функцій спричиняє на організм людини нездоровий біологічний та психологічний вплив. Короткохвильове світло викликає пригнічення секреції мелатоніну, підвищує почуття бадьорості, частоту серцевих скорочень, температуру тіла та ін. Хороше освітлення позитивно впливає на здоров'я, бадьорість, продуктивність праці і навіть на якість сну [3-6]. Системи освітлення спроектовані за принципами, що враховують біологічні та емоційні ефекти впливу світла на людину, мають забезпечувати рівні освітленості та спектральний склад випромінювання наближені до природних [7].

Сьогодні лампи та світильники з використанням світлодіодів стали основною технологією освітлення практично у всіх сферах. Вони мають цілий ряд переваг в порівнянні з лампами розжарювання та розрядними лампами. Крім високої енергоефективності необхідно назвати високу надійність та тривалий строк служби, екологічність, стійкість до механічних впливів, електоро-, пожежо- та вибухобезпечність. Завдяки компактності розмірів світлодіодів створюються нові можливості застосування ефективної оптики, різних дизайнерських рішень, а також додаткові зручності при експлуатації освітлювальних установок за рахунок систем керування освітленням, застосуванням цифрових контролерів та ін. [6, 7].

Одним із ефективних напрямків зниження споживання ЕЕ на освітлення будівель є використання сучасних систем керування освітленням. Системи керування освітленням в своїй основі базуються на використанні датчиків часу рівня освітленості та присутності людей, або комбінованих датчиків, які поєднують ці функції [7-10]. Керування освітленням може використовуватись в установках як з регулюванням рівня освітлення так і без нього.

Економія ЕЕ суттєво залежить від прийнятого способу керування: економія ЕЕ зростає приблизно від 25% при використанні датчиків освітленості для нерегульованого освітлення до 75% при використанні комбінованих датчиків у випадку регульованого освітлення. Найбільш ефективним є режим,

коли освітлення вимикається (при відсутності в ньому потреби). Використання програмного забезпечення для керування освітленням дозволяє індивідуальним користувачам регулювати рівень освітленості на робочому місці. Економія електроенергії може при цьому досягатись через мінімізацію рівня загального освітлення і використання переважно місцевого освітлення робочих місць.

Питанням економії ЕЕ і підвищенню комфортності при використанні систем керування освітленням присвячена велика кількість наукових праць. Найбільш ефективним напрямком є використання в сучасних освітлювальних системах цифрових технологій [7, 11-14]. Разом зі світлодіодними технологіями освітлення цифровізація і Інтернет створюють фактично нову реальність світлотехніки. Результати нових досліджень ролі світла для фізіологічного і психологічного здоров'я людей відкрили особливості не візуальних ефектів впливу, показали важливість динамічних змін світлового середовища і його гармонізації з природним світловим середовищем [15-17]. В новій редакції світлотехнічного словника Міжнародної комісії з освітлення (МКО) вже з'явився термін «Інтегративне освітлення» (Integrative Lighting) – освітлення, що призначене для корисного фізіологічного і психологічного впливу на людину.

Метою даної роботи є проведення аналізу і визначення перспективних напрямків вдосконалення систем керування світлодіодним освітленням для підвищення його енергоефективності та ергономічності.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Витрати ЕЕ на освітлення можуть бути знижені шляхом оптимальної роботи СО в кожен момент часу. Найбільш ефективно це можливо здійснювати за допомогою автоматизованих систем управління освітленням. Автоматизовані СО виконують наступні типові функції:

– *Підтримання штучної освітленості в приміщенні на заданому рівні.* Досягається це введенням в СО фотодатчика, що контролює утворювану освітленість. Ця функція дозволяє економити ЕЕ за рахунок обмеження «надлишкової освітленості».

– *Врахування природної освітленості в приміщенні.* Як правило, потужність СО розраховується без врахування частки природного світла, що потрапляє в приміщення в світлу частину доби. Якщо підтримувати освітленість, що створюється спільно штучною СО та природним світлом на заданому рівні, то можна знижувати потужність СО в кожний момент часу (в певний період року, часу доби). Ця функція може здійснюватись датчиком рівня освітленості, який відслідковує повну (природну і штучну) освітленість. При цьому можна економити 20-40% ЕЕ на освітлення приміщень.

– *Врахування часу доби і днів тижня.* Додаткова економія ЕЕ може бути досягнена вимиканням СО в певний час доби та вихідні і святкові дні. Для реалізації цієї функції СО має бути обладнана власним графіком реального часу вмикання/вимикання ОУ.

– *Врахування присутності людей в приміщенні.* При застосуванні в СО датчика присутності мо-

жна вмикати і вимикати СО залежно від того, чи є люди в приміщенні. За рахунок такої автоматизації можна економити ЕЕ до 10-25%.

Зростання ролі світлодіодів в технологіях освітлення спричинило новий поштовх і в розвитку систем світлорегулювання. Важливою перевагою світлодіодних світильників перед світильниками з розрядними лампами є можливість більш ефективно здійснювати керування світловим потоком. В світлодіодному світильнику можна реалізувати плавну зміну світлового потоку (димінг) в ручному і автоматичному режимі залежно від певних умов. Такими умовами можуть бути, наприклад, зовнішня освітленість, присутність людей в освітлювальній зоні та ін. Плавне регулювання світлового потоку дозволяє більш ефективно використовувати зовнішню освітленість і знизити витрати на споживану ЕЕ.

Всі призначені для економії ЕЕ системи керування освітленням в своїй основі базуються на використанні датчиків часу, присутності, рівня освітленості або комбінованих датчиків, що об'єднують в собі ці функції [8-11].

Сучасні інтелектуальні датчики є головними засобами керування СО. Ці датчики можуть бути адаптовані стосовно вимог до присутності людей, зміни природного освітлення та ін. Сьогодні серійно виробляються і багатоцільові датчики, що містять в собі фотоелектричні датчики для реєстрації змін в рівні освітленості, пасивні інфрачервоні та ультразвукові датчики для виявлення рухомих об'єктів та інші функції. Такі датчики можуть використовуватись для створення логічних керуючих пристроїв, які налаштовуються на зміну рівня освітленості при виявленні рухомих об'єктів в зоні, що контролюється, якщо рівень освітленості в цій зоні менший заданої величини. Залежно від часу доби датчик освітленості може програмуватись на зменшення рівня освітленості при відсутності людей. Після закінчення робочого дня цей же датчик може забезпечувати поступове зменшення освітленості до повного вимикання протягом певного часу, наприклад 10 хвилин, або вмиканням сигналу про закінчення робочого дня.

Для підвищення комфортності освітлення плавне регулювання датчика залежно від рівня природної освітленості є важливим параметром. Датчики, що приєднані до окремого світильника або групи світильників протягом дня здійснюють плавне регулювання рівня освітленості за заданою програмою.

Інтелектуальні датчики забезпечують комфорт освітлення і в вечірній час, плавно змінюючи рівень освітленості шляхів виходу з будівель та зон, що прилягають до них і зменшують нераціональне використання ЕЕ на освітлення при відсутності людей.

Новим перспективним напрямком економії ЕЕ є індивідуальне керування освітленням. Використання спеціального програмного забезпечення дозволяє індивідуальним користувачам за допомогою робочих станцій і офісних комп'ютерів керувати освітленням. Економія ЕЕ при цьому досягається шляхом мінімізації рівня загального освітлення і максимально ефективного використання місцевого освітлення. Керувати величиною світлового потоку

світлодіодних ламп та світильників можна кількома способами.

В світовій практиці для автоматичного керування освітленням застосовується два основних інтерфейси керування вихідним струмом (димінгу): аналоговий і цифровий.

Аналоговий інтерфейс – це інтерфейс керування, який дозволяє змінювати значення вихідного струму за допомогою керуючої напруги [18]. Цифровий інтерфейс – це інтерфейс керування, який дозволяє змінювати вихідний струм за допомогою широтно-імпульсної модуляції (ШІМ) [19]. Загальна

схема світлодіодного світильника з функцією керування яскравістю представлена на рис. 1. Ця схема складається із чотирьох основних блоків: джерела живлення зі стабілізованим вихідним струмом і вбудованим інтерфейсом керування, світлодіодного модуля і датчика Д. Для створення автономного світильника потрібен датчик на основі сигналів якого світильник буде вмикатись/вимикатись (датчик руху) або змінювати яскравість (датчик рівня освітленості). В якості пристрою керування можна застосувати готові контролери або розробляти власні пристрої.

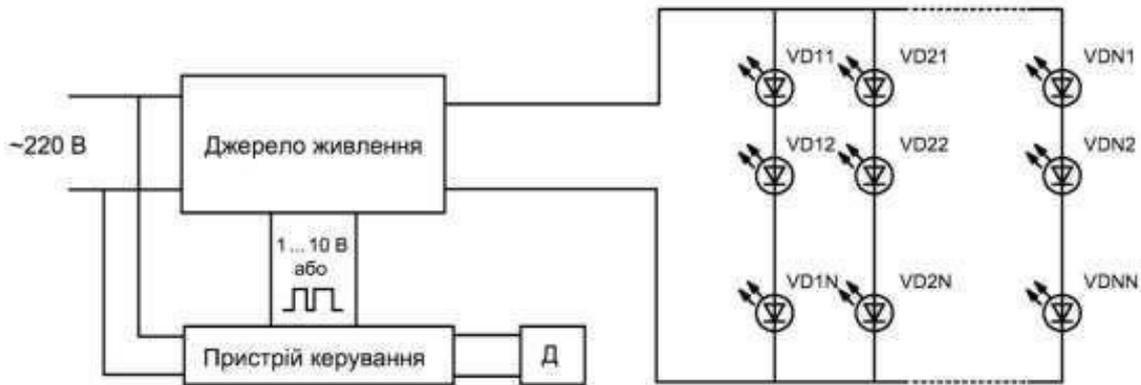


Рис. 1. Схема світлодіодного світильника з функцією димінгу

Аналогове регулювання світлового потоку здійснюється шляхом зміни постійного струму, що проходить через світлодіодний ланцюжок. При цьому регулюється опорна напруга всередині джерела світла або напруга на струмочутливому резисторі зовні цього джерела.

Регулювання яскравості шляхом зміни опорної напруги. Для більшості світлодіодних драйверів струм світлодіоду визначається таким рівнянням:

$$I_{LED} = V_{REF} / R_{SNS}, \quad (1)$$

де V_{REF} – внутрішня опорна напруга світлодіодного драйвера; R_{SNS} – величина опору струмочутливого резистору.

Струм через світлодіод регулюється шляхом зміни V_{REF} . Але необхідно зазначити, що не всі драйвери допускають таке регулювання. Існує два способи налаштування драйверів з опорною напругою.

Перший з них полягає в подачі аналогової напруги на відповідний вивід опорної напруги, що є в мікросхемі.

Другий спосіб полягає в регулюванні опорної напруги за допомогою цифрового інтерфейсу типу.

Ще одним розповсюдженим методом аналогового керування струмом світлодіоду, зміна напруги на струмочутливому резисторі, величина якого в більшості випадків менше 1 Ом.

На практиці напруга на цьому резисторі змінюється на виводі CS (рис.2) мікросхеми подачі зовнішньої змінної напруги.

На рис. 2 показаний типовий аналоговий ланцюжок керування струмом світлодіоду, в якій напруга змінюється на струмочутливому резисторі.

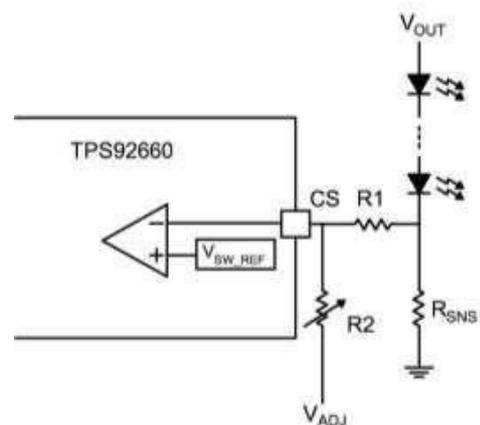


Рис. 2. Типова аналогова схема регулювання струму

Напруга на виводі CS визначається як:

$$V_{CS} = R_1(R_1 + R_2)V_{ADJ} - R_2(R_1 + R_2)I_{LED}R_{SNS}. \quad (2)$$

В стійкому стані напруга на виводі CS дорівнює опорній напрузі. Струм світлодіоду змінюється шляхом регулювання зовнішньої напруги V_{ADJ} або резистора змінного опору R_2 .

Аналоговий інтерфейс керування дозволяє регулювати вихідний струм за допомогою зовнішньої керуючої напруги, яка надається на вивід джерела живлення. Керуюча напруга змінюється від 1 до 10 В, що призводить до змін вихідного струму джерела живлення.

Приклад характеристики керування наведено на рис. 3.

По осі ординат відкладені значення вихідного струму (у відсотках), а по осі абсцис – керуюча напруга (у вольтах).

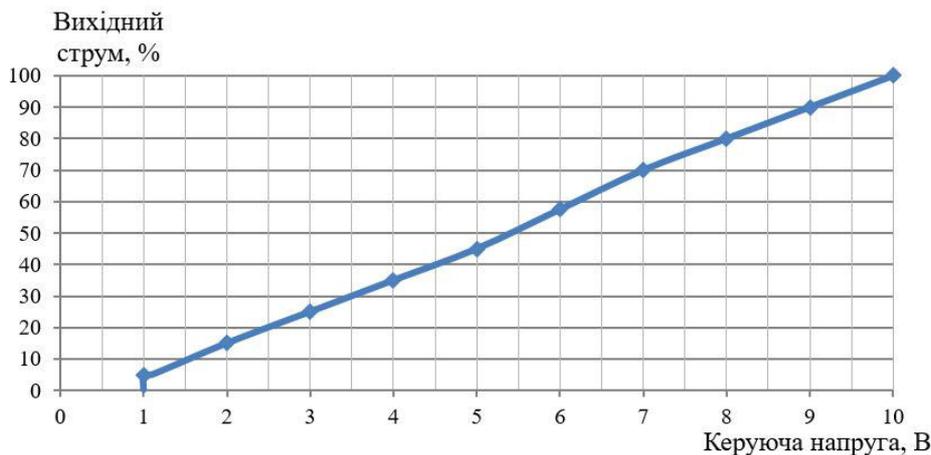


Рис. 3. Характеристика керування джерела живлення з димером (з аналоговим інтерфейсом керування)

Цей графік не є загальним для всіх джерел живлення з аналоговим інтерфейсом керування. Для кожного модуля регульовальна характеристика наводиться в паспорті.

Суть керування яскравістю за допомогою ШІМ полягає в вмиканні і вимиканні світлодіодів з заданим коефіцієнтом заповнення і частотою. Так як перемикання світлодіодів проходять досить швидко (з частотою більшою 200 Гц) то світло сприймається як безперервне.

Струм, що протікає через світлодіод при цьому методі визначається рівнянням:

$$I_{DM} = D \cdot I_{LED}, \quad (3)$$

де I_{DM} – регульований струм через світлодіод; D – коефіцієнт заповнення; I_{LED} – постійний струм через комутуючий ланцюг.

Схема ШІМ-сигналу та приклад регулюючої характеристики джерела живлення наведені на рис. 4 та 5.

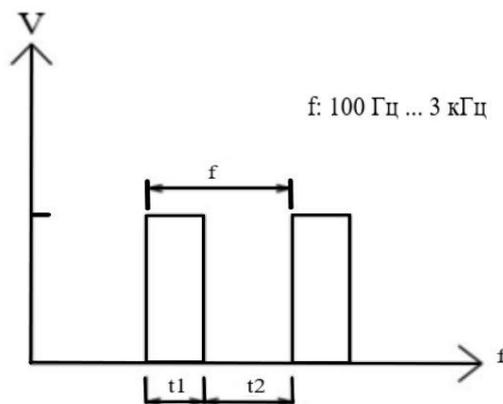


Рис. 5. Схема ШІМ-сигналу керування струмом світлодіодів

Найбільш перспективними системами регулювання освітлення є системи, в яких регулюються не тільки рівень освітленості, а і зміна кольору світла.

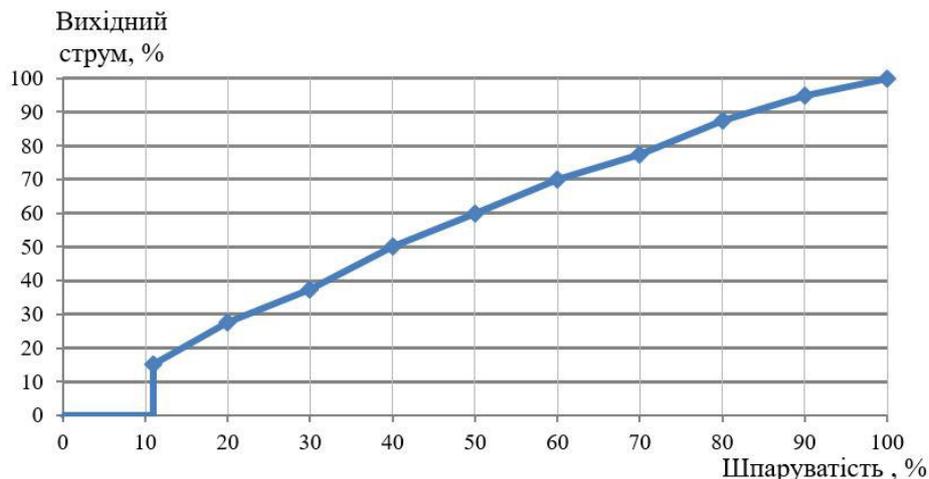


Рис. 5. Характеристика регулювання вихідного струму при ШІМ керуванні яскравістю світлодіодів

Світлодіоди є ідеальними джерелами світла, що забезпечують точну установку необхідної колірності. Колір можна змінювати шляхом змішування світла світлодіодів червоного, зеленого та синього світ-

ла (RGB). При змішуванні цих кольорів в світлодіодних світильниках з регульованою колірністю застосовується кілька ланцюжків світлодіодів червоного, зеленого та синього світла з регульованою яск-

равістю [20-21]. Для створення великої кількості колірних відтінків необхідно змінювати яскравість кожного світлодіодного каналу.

Таке регулювання здійснюється за допомогою зміни величини струму, що проходить через ці ланцюги.

Застосовуються два методи керування струмом:

- аналоговий (лінійний регулятор),
- ШІМ регулювання.

Ці методи реалізуються лінійними або імпульсними драйверами.

Цифрові інтерфейси застосовуються, як правило, в світильниках з централізованим керуванням, зокрема для внутрішнього освітлення приміщень.

Світлодіоди дозволяють реалізовувати енергоефективні рішення і одночасно покращувати якість світла. Виробники світильників тепер можуть інтегрувати світлодіодні джерела світла безпосередньо в світильники і в багатьох випадках більше немає фізичної різниці між джерелом світла і світильником. Системи освітлення стають більш функціональними, простішими в налаштуванні. Впровадження світлодіодних технологій дозволяє змінювати аналогову світлотехніку на цифрову, реалізуючи нову концепцію інтелектуальної системи освітлення (SLS).

Цьому сприяє прогрес в різних технологічних секторах, які зараз є частиною технології освітлення, зокрема можливістю керування інформацією, а також реалізацією зв'язку цифрових і аналогових технологій через Інтернет та ін.

Додатковими елементами, що полегшують реалізацію цих інновацій, є мініатюризація компонентів, які можуть бути інтегрованими в системи світлодіодних модулів, таких як датчики та бездротовий зв'язок [10, 12, 24].

При керуванні освітленням за допомогою нових активних інтерфейсів користувач безпосередньо може здійснювати ручне керування рівнем освітленості, корельованою колірною температурою, напрямком світла та ін. [25, 26].

Однак повністю ручне управління в складних ситуаціях може привести до хаотичного освітлення. Це відбувається, коли багато людей змінюють освітлення, і на це також можуть впливати фактори, які не залежать від людей, такі як зміна природного освітлення.

У випадку повністю автоматизованого керування системою освітлення рішення приймається на основі інформації отриманої від датчиків і у людини не має можливості впливати на світлове середовище. Автоматизована система освітлення зручна в ситуаціях, коли необхідно одночасно керувати кількома світильниками з різними світлотехнічними характеристиками. Крім того, автоматизована система може вибирати конкретне освітлення на основі досвіду, отриманого при попередніх налаштуваннях [12, 26].

Сьогодні перспективними є комбінації між ручними та автоматичними системами керування освітленням. При цьому можна знаходити баланс між освітленням яке зберігає автоматичні і ручні режими роботи для того, щоб забезпечувати певний рівень налаштування. Така гібридна схема дозволяє

людині взаємодіяти з системою, визначаючи характеристики освітлення.

Основні вимоги до систем керування освітленням: широкий діапазон входних змінних напруг та форм входних сигналів; високий ККД; відсутність мигтіння і ступінчастих переходів в нижній частині діапазону регулювання; відсутність погасання світла; плавне регулювання в діапазоні 0-100%; малий рівень нелінійних спотворень напруги; як можна менші спотворення коефіцієнту потужності; низький рівень електромагнітних перешкод і радіочастотних шумів; стабілізація струму і малий кидок пускового струму.

За останні роки наукові організації в усьому світі досліджують вплив природного освітлення на виробничі умови. Природне освітлення відіграє важливу роль для нормального самопочуття людей, що знаходяться в приміщенні [26, 27]. Віконні аксесуари такі як штори і жалюзі безпосередньо впливають на кількість світла, що проходить в приміщення. Тому вибір жалюзіта датчиків відіграють роль для забезпечення енергоефективності та комфорту освітлення в приміщенні [7].

Переналаштування жалюзі відносно падаючого на вікно світла призводить до суттєвої зміни рівнів освітленості і блискавості. Вибір датчиків і їх розміщення (у випадках використання фотоелектричних датчиків) є важливим питанням, так як можна запобігти небажаній блискавості і економити ЕЕ за рахунок природного освітлення.

Перспективним для регулювання та підвищення якості освітлення є використання штучного інтелекту [28, 29]. СО на основі штучного інтелекту може оптимізувати і налаштовувати параметри освітлення для позитивного впливу на сприйняття і комфорт людей. Алгоритми штучного інтелекту можуть бути розроблені для їх використання в окремому компоненті, наприклад, в датчику (у випадку децентралізованих рішень) або на сервері (для централізованих рішень).

Штучний інтелект відноситься до систем створених людиною і здатним інтерпретувати навколишнє середовище, в якому вони знаходяться, робити висновки і виконувати дії, що дозволяють досягати раніше визначених цілей.

Наприклад, камери, доповнені штучним інтелектом, можуть з високою достовірністю детектувати присутність і рух людей в кімнаті або просторі і надсилати сигнал на виконання певних дій (вмикати або вимикати світло). Штучний інтелект передбачає машинне навчання – здатність знаходити закономірності і приймати рішення на основі даних, які отримані із навколишнього середовища не будучи явно запрограмованими.

СО стають все більш складними і гнучкими в налаштуванні які потребують спеціальних знань і додаткових ресурсів. Тому в світлотехнічній галузі на всіх етапах життєвого циклу освітлення, від проектування до введення в експлуатацію і налаштування для кінцевого споживача ми матимемо справу як з контрольованими так і неконтрольованими проблемами машинного навчання.

Міжнародною асоціацією світлодизайнерів (IALD) опублікований технічний документ [5] в якому розкриті напрямки розробок орієнтованих на концепцію «освітлення для людини» (HCL) або інтерактивне освітлення. Системи HCL можуть автоматично регулювати інтенсивність та колірність світла впродовж дня, що сприяє підтриманню здоров'я функцій і ритмів [7, 27].

Це технологічне рішення стає все більш популярним для створення сприятливого світлового середовища для людей у різних сферах життя.

Висновки

1. Автоматичні системи керування освітленням є ефективними засобами економії електроенергії: їх впровадження дозволяє економити до 50% електроенергії на освітлення.

2. При проектуванні систем керування освітленням необхідно враховувати не тільки параметри енергоефективності, але і аспекти впливу освітлення на самопочуття та здоров'я людей, створення візуального комфорту, параметром безпеки, зокрема забезпечувати низький рівень мигтіння яскравості, вимоги Директив ЄС стосовно електромагнітної сумісності та ін.

3. Основні вимоги до систем керування освітленням світлодіодних джерел світла: широкий діапазон вхідних змінних напруг та форм вхідних сигналів; високий ККД; відсутність мигтіння і ступінчастих переходів в нижній частині діапазону регулювання; відсутність погасання світла; плавне регулювання в діапазоні 0-100%; малий рівень нелінійних спотворень напруги; як можна менші спотворення коефіцієнту потужності; низький рівень електромагнітних перешкод і радіочастотних шумів; стабілізація струму і малий кидок пускового струму.

4. Провідні виробники джерел живлення для світлодіодів застосовують два основних інтерфейси керування вихідним струмом (димінга): аналоговий і цифровий. Модуль живлення з аналоговим інтерфейсом широко використовується в системах освітлення з автономним керуванням: в системах вуличного освітлення, освітлення парковок та ін. Джерела живлення з цифровим інтерфейсом дозволяють керувати вихідним струмом за допомогою ШІМ і застосовуються, як правило, в світильниках з централізованим керуванням: для внутрішнього освітлення приміщень, системах архітектурного освітлення та ін.

5. Найбільш ефективним з точки зору стабільності параметрів є ШІМ метод регулювання. Але через нелінійну природу характеристичної кривої «струм – освітленість» для більшості світлодіодів традиційне ШІМ-регулювання не забезпечує максимальну світлову віддачу в усьому діапазоні. Потрібні нові технічні рішення для підвищення світової віддачі до рівня максимального значення в усьому діапазоні регулювання.

6. Однією з важливих проблем ШІМ-регулювання яскравості світла світлодіодних джерел є високий рівень мигтіння. Для безпечності світла при глибокому регулюванні необхідно щоб частота імпульсів струму була якомога вищою.

7. Перспективним шляхом підвищення енергоефективності та якості освітлення є створення інтелектуальних систем освітлення, які можуть автоматично регулювати інтенсивність та колірність світла впродовж дня, що сприяє підтриманню здоров'я біологічних ритмів.

8. Системи освітлення на основі штучного інтелекту можуть оптимізувати і налаштовувати параметри світла для позитивного впливу на людей.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Commission Regulation (EU) 2019/2020 of 1 October 2019 laying down ecodesign requirements for light sources and separate control gears pursuant to Directive 2009/125/EC of the European Parliament and of the Council and repealing Commission Regulation (EC) No 244/2009, (EC) No 245/2009 and (EU) No 1194/2012 (Text with EEA relevance).
2. Commission Delegated Regulation (EU) 2019/2015 of 11 March 2019 supplementing Regulation (EU) 2017/1369 of the European Parliament and of Council with regard to energy labelling of light sources and repealing Commission Delegated Regulation (EU) No 874/2012 (Text with EEA relevance).
3. CIE 158:2009 Ocular lighting effects on human physiology and behaviour.
4. IES TM-18-18. (2011). Light and human health: An overview of the impact of light on visual, circadian, neuroendocrine and neurobehavioral.
5. Ladopoulos, I., & Shaw, K. (2017). IALD white paper: Lighting design for health, wellbeing and quality of light, a holistic approach on human centric lighting. IALD. Available at: <http://iald.org/News/Reflections-Newsletter/IALD-REFLECTIONS-24-February-2017>. Accessed May 8, 2018.CIE
6. IALD. (2017, February). Joint position paper by LightingEurope and the International Association of Lighting Designers (IALD) on Human Centric Lighting. Available at: <https://www.iald.org/Advocacy/Publications>. Accessed September 30, 2018.
7. Rossi M. Circadian Lighting Design in the LED Era. Cham : Springer International Publishing, 2019. URL: <https://doi.org/10.1007/978-3-030-11087-1>.
8. Caicedo, D., Li, S., & Pandharipande, A. (2017). Smart lighting control with workspace and ceiling sensors. *Lighting Research and Technology*, 49(4), 446–460. <https://doi.org/10.1177/1477153516629531>.
9. Neida, B. V., Manicria, D., & Tweed, A. (2001). An analysis of the energy and cost savings potential of occupancy sensors for commercial lighting systems. *Journal of the Illuminating Engineering Society*, 30(2), 111–125. <https://doi.org/10.1080/00994480.2001.10748357>.
10. Meughevel, N., et al. (2014). Distributed lighting control with daylight and occupancy adaptation. *Energy and Buildings*, 75, 321–329. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.02.016>.

11. Yeh, L., et al. (2010). Autonomous light control by wireless sensor and actuator networks. *IEEE Sensors Journal*, 10(6), 1029–1041. <https://doi.org/10.1109/jsen.2010.2042442>.
12. Casambi. (2018). Lighting control for the modern world. The most robust, cost effective and future proof wireless lighting control solution. Available at: <https://casambi.com/> (Retrieved: October 21, 2018).
13. Leitner, G. (2015). The future home is wise, not smart: A Human-centric perspective on next generation domestic technologies (1st ed. 2015 ed). Cham, a: Springer
14. Gonzalez, L. I. L., Troost, M., & Amft, O. (2013) Using a thermopile matrix sensor to recognize energy-related activities in offices. *Procedia Computer Science*, 19, 678–685. [In The 4th International Conference on Ambient Systems, Networks and Technologies (ANT 2013), the 3rd International Conference on Sustainable Energy Information Technology (SEIT-2013)]. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2013.06.090>.
15. Berson D. M Phototransduction by Retinal Ganglion Cells That Set the Circadian Clock / D. M. Berson, F. A. Dunn, M. Takao // *Science*. – 2002. – Vol. 295. – P. 1070.
16. Action Spectrum for Melatonin Regulation in Humans: Evidence for a Novel Circadian Photoreceptor / G. Brainard, J. Hanifin, J. Greeson, B. Byrne, G. Glickman, E. Gerner, M. Rollag // *Journal of Neuroscience*. – 2001. – Vol. 21. – No. 16. – P. 6405.
17. Thapan K. An action spectrum for melatonin suppression: evidence for a novel non-rod, non-cone photoreceptor system in humans / K. Thapan, J. Arendt, D. Skene // *J. Physiol.* – 2001. – Vol. 535 (pt 1). – P. 261.
18. ДСТУ EN IEC 63128:2022 Інтерфейс управління освітленням для регулювання яскравості. Аналоговий інтерфейс регулювання напруги для електронних пристроїв керування джерелом струму
19. ДСТУ EN IEC 62386-105:2022 Цифровий адресний інтерфейс освітлення. Частина 105. Особливі вимоги до апаратури керування. Передавання мікропрограмного забезпечення (EN IEC 62386-105:2020, IDT; IEC 62386-105:2020, IDT)
20. Kun-Che Ho, Shun-Chung Wang and Yi-Hua Liu. Dimming Techniques focusing on the improvement in luminous efficiency for High-brightness LED's // *Electronics* 2021. №10, P.2161.
21. Manish Kumar Barwar, Lalit Kumar Sahu, Prabhat Ranjan Tripathi, Ranchi, Pallavee Bhatnagar, Hema Chander Allamsetty. Krishna Kuar Gupta, Josep M. Guerrero Demystifying the Devices Behind the LED Light in Published in: *IEEE Industrial Electronics Magazine* (Early Access) Page(s):2-13 Date of Publication: 16 May 2022.
22. Горшков В.В. Энергоэффективный электротехнический комплекс с элементами интеллектуального управления процессом освещения улиц населенных пунктов: монография. (под редакцией проф. О.М. Сінчука). - 2023. - 94 с.
23. Philips Hue. (2012). The definition of smart lighting. Available at: <https://www.google.com/search?q=philips+hue&ie=utf-8&oe=utf-8&client=firefox-b> (Retrieved: October 25, 2018).
24. Floyd, D., et al. (1995). Energy efficiency technology demonstration project for Florida educational facilities: Occupancy sensors. FSEC-CR-867-95.
25. Newsham, G., et al. (2004). Effect of dimming control on office worker satisfaction and performance. In *Proceedings of the IESNA Annual Conference*. Tampa, New York: Illuminating Engineering Society of North America.
26. Newsham, G. R., et al. (2008). Individual control of electric lighting in a Daylit space. *Lighting Research & Technology*, 40(1), 25–41. <https://doi.org/10.1177/1477153507081560>.
27. Rea, M. S., Figueiro, M. G., & Bullough, J. D. (2002). Circadian photobiology: an emerging framework for lighting practice and research. *Lighting Research & Technology*, 34(3), 177–187. <https://doi.org/10.1191/1365782802lt0570a>.
28. Davila J. The Impact of Artificial Intelligence (AI) in LED Lighting / J. Davila // *ISSUU from designing lighting*. April 2021.
29. Візір Ю. С. Штучний інтелект у системах управління освітленістю / Ю. С. Візір // *Автоматизація та Приладобудування («Automation and Development of Electronic Devices» ADED-2023)* : збірник студентських наукових статей. – Харків : ХНУРЕ, 2024. Вип. 1. С. 7-12.

Received (Надійшла) 15.09.2024

Accepted for publication (Прийнята до друку) 30.10.2024

Automatic lighting control systems - an effective way to save electricity and improve lighting quality

D. Kyslytsia, Y. Basova, S. Kyslytsia, H. Kozhushko, R. Zakharchenko

Abstract. This paper examines the typical functions of lighting control systems and the prospects for their development using modern advancements in LED technology, the miniaturization of components such as sensors that can be integrated into LED modules, the use of wireless communication, and the capability of managing information via the Internet. The main typical functions of automatic lighting control systems include: maintaining artificial lighting in indoor spaces at an appropriate visual level; reducing the power consumption of lighting systems by utilizing natural lighting; reducing the power consumption of lighting systems by optimizing their use at every moment, particularly on weekends and holidays, depending on the presence of people in the room, etc.; combined lighting control, which uses both manual and automated methods, allowing the determination of lighting parameters while considering individual consumer preferences; selection of lighting parameters based on previous settings data, which can improve the lighting environment; provision of lighting parameters aligned with the concept of integrative lighting ("lighting for people," HCL) by automatically adjusting the level of illumination and color of light throughout the day, etc. Lighting control systems are primarily based on the use of time, presence, and light level sensors, or combined sensors that integrate these functions. In global practice, two main output current control interfaces are used for automatic lighting control: analog and digital. This article provides information on the features of adjusting LED parameters using analog and digital interfaces, examines certain issues in the creation of intelligent lighting systems, and explores the prospects of using artificial intelligence in lighting systems. Conclusions are drawn regarding the energy efficiency of automatic lighting control systems, the basic requirements for their parameters, and future development prospects.

Keywords: LED lamps, lighting control systems, flickering, dimming, pulse width modulation.