

К. т. н. Ю. В. КОЛОМЗАРОВ¹, д. ф.-м. н. В. П. КОСТИЛЬОВ¹, д. т. н. В. М. СОРОКІН¹,
д. т. н. Ю. Є. НІКОЛАСНКО², І. В. ПЕКУР¹, к. т. н. В. І. КОРНАГА¹, к. т. н. Р. М. КОРКІШКО¹

Україна, м. Київ, ¹Інститут фізики напівпровідників ім. В. Є. Лашкарьова НАН України, ²Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

E-mail: kolomzarov@yahoo.com, vsorokin@isp.kiev.ua, yunikola@ukr.net

ЕКОЛОГІЧНІ ПРОБЛЕМИ ОСВІТЛЕННЯ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ЗАСТОСУВАННЯ ЕНЕРГООЩАДНИХ СВІТЛОДІОДНИХ ОСВІТЛЮВАЛЬНИХ СИСТЕМ З КОМБІНОВАНИМ ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯМ

Запропоновано концепцію комбінованого електроживлення освітлювальної системи, яка дозволяє зменшити енергоспоживання від централізованої електромережі завдяки використанню фотоперетворювачів сонячної енергії, що підвищує світлову ефективність приладу принаймні на 20% при застосуванні лише промислово впроваджені елементної бази. Конструкція передбачає також відмову від акумуляторів, що значно збільшує термін її експлуатації, надійність та екологічну безпечність, а можливість розміщення фотоелектричних перетворювачів у безпосередній близькості від споживачів дозволяє зменшити омичні втрати й значно підвищити економічну та енергетичну ефективність таких систем.

Ключові слова: система освітлення, сонячна енергетика, світлова ефективність, фотоперетворювачі сонячної енергії.

Світло є невіддільним елементом оточення людини при будь-яких видах і умовах праці та відпочинку. Сучасні освітлювальні прилади зазвичай базуються на використанні світлодіодних технологій, які дозволяють створювати найбільш енергоефективні та екологічно чисті освітлювальні системи.

Швидкі темпи розвитку світлодіодних технологій, а також значне підвищення потужностей окремих світловипромінюючих пристроїв в останні роки значно розширили сфери їхнього застосування, однак більшість таких приладів не може надійно функціонувати без забезпечення робочих теплових режимів використаних в них напівпровідникових структур [1]. Забезпечення оптимальних теплових режимів роботи світлодіодів дозволяє реалізувати високі терміни їхньої служби, а також забезпечити стабільні світлові та спектральні параметри.

Через високі потужності сучасних світлодіодів та світлодіодних матриць (наприклад, світлодіодна матриця типу CLU04J-1818C9 з розмірами 28×28×1,4 мм японської компанії Citizen Electronics Co., Ltd має потужність 191,2 Вт [2]) розробка конструкцій систем охолодження для них являє собою не стільки технічну, скільки наукову задачу, вимагає використання сучасного аналітичного апарату, складного програмного забезпечення та знань в галузі матеріалознавства. Застосування таких підходів при розробці систем охолодження потужних структур, що випромі-

нюють світло, дозволяє оптимізувати їхню конструкцію і забезпечити максимально можливу енергетичну ефективність освітлювального приладу, а також дає можливість створювати конкурентоспроможні світлотехнічні вироби. В останні роки для забезпечення охолодження світлодіодів та світлодіодних матриць високої потужності використовуються енергоефективні двофазні теплопередавальні пристрої — теплові труби [3].

Що стосується живлення світлодіодних систем освітлення житлових та промислових будівель, то воно зазвичай здійснюється при використанні електроенергії, генерованої переважно тепловими електростанціями. За даними, наведеними на сайті Міжнародної енергетичної асоціації [4], на будівлі та будівельні сектори припадає понад третину глобального кінцевого споживання енергії та майже 40% загальних прямих та непрямих викидів CO₂. Попит на енергію в будівлях та під час будівництва будинків продовжує зростати, що зумовлено покращенням доступом до енергії в країнах, що розвиваються, зростанням кількості енергомістких пристроїв та швидким зростанням загальної площі будівель. Викиди CO₂ внаслідок генерації енергії, що споживають житлові та офісні будівлі, зросли за останні роки після стабілізації, яка спостерігалася у 2013 — 2016 рр. При цьому прями та непрямі викиди CO₂ зросли до 10 Гт у 2019 році, що є найвищим зафіксованим рівнем. Цьому зростанню сприяло декілька факторів, серед яких і наростаючий попит на енергію для опалення та охолодження за допомогою кондиціонерів при екстремальних погодних явищах, для освітлення та побутової техніки. Величезний потенці-

Автори висловлюють подяку Національному фонду досліджень України за підтримку роботи (проект № 2020.01/0216)

ал зменшення викидів CO₂ залишається невикористаним через подальше застосування викопного палива, відсутність ефективної політики енергоефективності та недостатні інвестиції в енергоефективні будівлі.

За сучасними оцінками, понад 35% всієї енергії, яка споживається в будівлях, витрачається на освітлення, при цьому вона залежить від типу будівлі та галузі, і значна її частина — промислові споживачі, що потребують потужного освітлення, в тому числі у денний час [5]. За прогнозом [6], енергетичні потреби людства до середини XXI ст. більш ніж подвоюються, а до кінця XXI ст. — більш ніж потрояться, що пов'язано зі зростанням світової економіки в цілому (до 4 разів до 2050 р.), насамперед різким економічним зростанням Китаю та Індії, населення яких становить 2/3 від чисельності населення Землі, а також з помітним зростанням населення Землі — до 2050 року воно досягне 10—11 млрд людей. Інтенсивне зростання рівня світового споживання енергії, одержання якої головним чином базується на спалюванні викопних, не відтворюваних ресурсів та на атомній енергетиці, створило цілу низку складних екологічних, технічних, соціальних, а останнім часом і економічних проблем, які вимагають невідкладного вирішення вже зараз [6—10].

Отже, на початку XXI ст. перед світовою енергетикою постає проблема різкої зміни структури сукупності джерел енергії. Тому останнім часом спостерігається значне посилення інтересу до використання електроенергії, отриманої прямим перетворенням енергії Сонця в електричну за допомогою, зокрема, напівпровідникових фотоелектричних перетворювачів енергії.

У цій роботі проведено аналіз можливостей побудови потужних енергоощадних світлодіодних освітлювальних систем з комбінованим електроживленням та пошук найбільш ефективних методів для їхньої реалізації.

Енергетичний потенціал генерації електроенергії відновлюваними джерелами на території України

Покращити екологічний стан навколишнього середовища можна кількома шляхами, серед яких зменшення енергоспоживання, зниження використання органічних видів палива при розширенні застосування відновлюваних джерел енергії. Попри те, що людство протягом тисяч років знає, як отримувати енергію з таких екологічно чистих джерел, як вода, вітер та Сонце, широкое розповсюдження використання такої енергії обмежено низкою факторів. Розглянемо їх більш детально.

Сьогодні найбільшу потужність вироблення електроенергії з енергії води мають великі гідроелектростанції. Такі електростанції займають земельні ділянки великої площі та мають велику вартість, а крім того — їхнє розміщення жорстко прив'язане до русел повноводних річок, тому більшість придатних для

їхньої побудови місць в Україні вже зайнято. Крім того, будівництво гідроелектростанцій супроводжується значними негативними впливами на природне середовище. Це, наприклад, затоплення великих територій для утворення великих запасів води, необхідних для стабільної роботи електростанцій при сезонній зміні рівня води, неможливість проходження риби своїми природними шляхами у весняний період тощо. Гідроелектростанції, які можуть бути побудовані на малих річках України з енергетичним потенціалом приблизно 3750 МВт [11], потребують значних початкових матеріальних витрат та мають великі терміни окупності.

Вітрова енергетика, що також стрімко розвивається в останні роки, особливо на території Європейських держав, також має свої мінуси, що ускладнюють її широке використання [12]. До таких недоліків можна віднести значні терміни окупності вітрогенераторів через їхню високу вартість, суттєве звукове забруднення середовища, що ускладнює експлуатацію поряд з місцями життя й роботи людей, та необхідність постійного технічного догляду за ними. Сукупний вітроенергетичний потенціал території України складає до 5000 МВт, але для більшої частини території нашої країни він є низьким.

Для систем освітлення більш доступним та перспективним, на наш погляд, є використання сонячної енергії, яку можна отримувати, зокрема, за допомогою напівпровідникових фотоелектричних перетворювачів. Напівпровідникова фотоенергетика останнім часом набула широкого застосування, причому темпи її зростання збільшуються. Зростання світового ринку сонячної фотоенергетики у 2017 р. до майже 100 ГВт у порівнянні з 77 ГВт роком раніше (тобто на 30%) вражає навіть експертів у цій галузі. Загальна потужність встановлених у світі фотоенергетичних електростанцій на кінець 2019 р. складала 635 ГВт, з них 132 ГВт — у Європі [13]. В середньому частка фотоелектричної генерації у світі складає 2,2% від споживаної електроенергії, в Європі — 3,9%, в Німеччині — 8,7%, а в Італії та Греції перевищує 7%.

В Україні сонячні фотоелектростанції також широко використовуються для отримання електричної енергії в промислових цілях, оскільки фотоенергетичний потенціал України достатньо високий і перевищує потенціал європейського лідера в галузі фотоенергетики — Німеччини (рис. 1). Проте не завжди таке використання є вигідним для держави з економічної точки зору. В Україні «зелений тариф», на відміну від Європи (де він взагалі відсутній або малий), є великим і лягає важким тягарем на споживачів і часто викликає негативну реакцію у суспільстві.

До складу значної кількості сонячних електростанцій входять такі накопичувачі електричної енергії, як акумуляторні батареї [15]. Строк їхньої служби досить обмежений, а виробництво та утилізація є

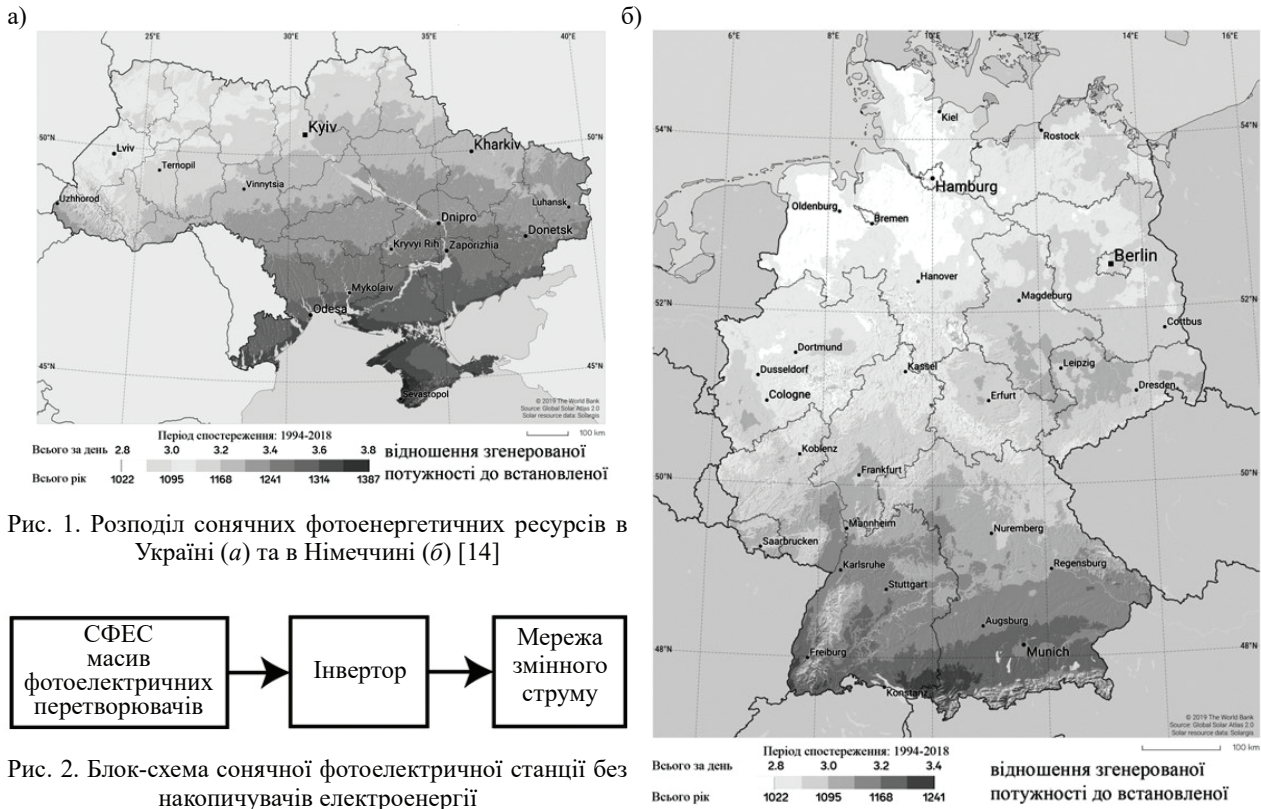


Рис. 1. Розподіл сонячних фотоенергетичних ресурсів в Україні (а) та в Німеччині (б) [14]

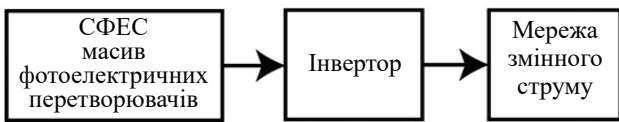


Рис. 2. Блок-схема сонячної фотоелектричної станції без накопичувачів електроенергії

шкідливими з погляду екології процесами. Існують сонячні фотоелектричні станції (СФЕС) без накопичувачів електроенергії (grid-connected) — вони всю надлишкову електроенергію віддають до мережі (рис. 2). Суттєвим недоліком при цьому є жорсткіші вимоги до інвертора такої системи: його вихідна напруга має бути синусоїдальною з малим рівнем гармонік. Крім того, при зменшенні вихідної напруги СФЕС нижче певного рівня інвертор має відключати СФЕС від мережі. Все це значно підвищує вартість такої системи та збільшує термін її окупності.

Водночас у сучасних містах існує значна кількість об'єктів, придатних до розміщення сонячних панелей. Наприклад, значним потенціалом для розміщення сонячних батарей є дахи та фасади будівель, що наближає їх до споживачів виробленої електричної енергії, розташованих в цих будівлях, і при цьому існують рішення, що не впливають на загальний дизайн будівель, а іноді й можуть навіть зробити їх більш сучасними. Слід зазначити, що технічно допустимий потенціал середньорічного виробництва сонячної енергії лише з дахів житлового фонду України сьогодні становить до 4200 МВт [16].

Важливим фактором є те, що у містах зосереджено найбільші площі приміщень, що потребують безперервного штучного освітлення (в денний час включно), наприклад промислові виробничі цехи, торговельні зали, офісні, навчальні та інші приміщення, що постійно потребують якісного освітлення. Використання для цього можливостей екологіч-

но чистої сонячної енергетики є значним, практично невикористаним до теперішнього часу потенційним резервом економії електроенергії та покращення екологічної ситуації у містах.

За необхідності в освітленні у денний час можна побудувати системи з комбінованим живленням від електричної мережі та від фотоелектричних перетворювачів. Використання у системах освітлення світлодіодних технологій дозволяє відмовитися від екологічно небезпечних речовин, на відміну від тих, що побудовані на основі люмінесцентних ламп денного світла, в яких застосовується ртуть. Сучасні накопичувачі електроенергії сконструйовано зазвичай на основі свинцево-кислотних або літєвих акумуляторів, тобто — перші містять канцерогенний свинець, а виробництво других потребує отримання значної кількості літію, що пов'язано з суттєвими енерговитратами та забрудненням довкілля. Відмова від акумуляторів та безпосереднє використання виробленої сонячними панелями електроенергії зменшує навантаження на електричні мережі як промислових підприємств, так і загальних електромереж, спрощує конструкцію таких систем, зменшує їхню вартість та суттєво підвищує надійність. Останнє особливо важливо, враховуючи значні терміни служби сучасних світлодіодів та фотоелектричних перетворювачів, які дозволяють створювати освітлювальні системи з терміном служби до сотні тисяч годин (понад 10 років при неперервному використанні), що додатково знижує потребу у виробництві таких приладів, а

отже, знижує негативний вплив на стан навколишнього середовища.

Для оцінки енергетичного потенціалу таких систем, розміщених, наприклад, у Києві, можна скористатися чисельними інтернет-ресурсами, які дозволяють розрахувати кількість сонячної енергії протягом року. За даними ресурсу [17], величина генерації електроенергії фотоперетворювачем суттєво змінюється протягом року, і через це необхідні не тільки надмірні генеруючі потужності (фотоелектричні перетворювачі), а й накопичувальні пристрої (акумулятори), що значно підвищує вартість таких систем. В той самий час, світлодіодні освітлювальні прилади з комбінованим живленням — і від фотоелектричних перетворювачів, в яких не передбачено використання акумуляторів, і від загальної електромережі в умовах відсутності фотогенерації — можуть бути найефективнішими у використанні фотогенеруючих потужностей.

Для ефективного використання генерованої енергії доцільним є використання освітлювальних систем з найбільш можливою світловою ефективністю. При цьому найбільш відчутний економічний та екологічний ефект досягається у випадку застосування окремих освітлювальних систем з комбінованим живленням, реалізованим за схемою «освітлювальний прилад — система генерації», потужністю 200—500 Вт. Для світлодіодних освітлювальних приладів такий рівень потужності відповідає значенням світлових потоків 20—50 тис. лм, що добре корелює з потребами промислових споживачів освітлення.

При побудові світлодіодних систем освітлення, особливо для промислового використання, переваги надаються пасивним системам охолодження, при цьому використання двофазних пристроїв тепловідведення для потужних джерел світла дозволяє зменшити масо-габаритні розміри їхньої системи охолодження [18—20] та забезпечити потрібні теплові режими роботи напівпровідникових кристалів, що значно збільшує терміни служби.

Для оцінки економічного ефекту від використання подібної системи можна розглянути світлодіодне джерело світла потужністю 250 Вт, яке дозволяє замінити люмінесцентну лампу потужністю 500 Вт. При його експлуатації протягом 12 годин щоденно економія електроенергії за рік складатиме $250 \times 12 \times 365 = 1,1$ МВт·год. Крім того, при використанні додатково трьох сонячних панелей потужністю 100 Вт кожна з загальною площею 2,1 м² у стандартному виконанні (без механічних систем слідування за Сонцем та концентраторів сонячного світла) за рік можна додатково отримати 360 кВт·год електроенергії. При цьому буде спостерігатися синергетичний ефект завдяки використанню енергоефективних світлодіодних освітлювальних приладів та додаткової генерації енергії.

Таким чином, загальна економія електроенергії завдяки використанню світлодіодного світиль-

ника та трьох сонячних панелей може складати 1,46 МВт·год. Загальна економія витрат на електроенергію для освітлення за ціни 2,13 грн за 1 кВт·год [21] складає 3100 грн за рік при використанні лише однієї подібної світлодіодної освітлювальної системи з комбінованим електроживленням.

Крім іншого, беззаперечною перевагою використання світлодіодних джерел світла в таких освітлювальних системах є можливість швидко змінювати джерело живлення при збереженні сталого світлового потоку та без значних змін у режимах роботи, проте ефективна реалізація таких процесів потребує створення нових типів систем освітлення та їхнього електроживлення.

Підхід до розроблення систем освітлення з комбінованим електроживленням

При створенні світлодіодних систем освітлення з комбінованим електроживленням необхідно вирішити низку важливих науково-технічних задач щодо розроблення загальної концепції та основних складових частин такої системи.

До складу освітлювальної системи з зазначеним функціоналом мають входити принаймні такі модулі: світлодіодний освітлювальний прилад з світлодіодним модулем (СДМ), фотоелектричний перетворювач (ФЕП), електронні схеми керування світлодіодами з живленням від загальної мережі та від фотоелектрич-

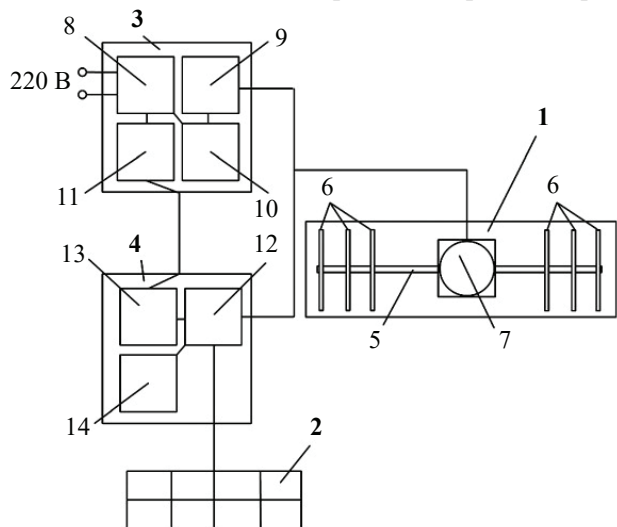


Рис. 3. Структурна схема освітлювальної системи з СДМ та комбінованим електроживленням:

1 — система охолодження СДМ; 2 — сонячна батарея з ФЕП; 3, 4 — електронні схеми керування СДМ з живленням від побутової електричної мережі та від сонячної батареї з ФЕП відповідно; 5 — тепла труба; 6 — ребра охолодження; 7 — СДМ високої потужності; 8, 9 — відповідно вхідний та вихідний каскади електронної схеми керування 3, що живиться від побутової електричної мережі; 10 — каскад контролю струму та напруги; 11 — каскад узгодження потужностей електронних схем керування 3 та 4; 12 — вихідний каскад електронної схеми керування 4, що живиться від сонячної батареї; 13 — вимірювач миттєвої потужності сонячної батареї; 14 — іоністорний накопичувач генерованої енергії

них перетворювачів. Більш детально структура такої системи показана на **рис. 3**.

Особливості роботи такої комбінованої системи освітлення полягають у наступному. За відсутності достатньої генерації електроенергії від відновлюваних джерел, наприклад при роботі системи в нічний час, живлення світлодіодів забезпечується від загальної електричної мережі, а при достатньому рівні генерації система повністю переходить на живлення від відновлюваних джерел. При генеруванні енергії сонячною батареєю на рівні, вищому за потрібний для освітлювальної системи, надлишкова енергія зберігається для подальшого використання у накопичувачі невеликої ємності, побудованому на іоністорних елементах, з високим терміном експлуатації. В процесі роботи системи електронні схеми керування обирають за визначеним алгоритмом найбільш енергоефективний тип живлення — електромережа, сонячні елементи чи накопичена енергія. Перемикання джерел живлення відбувається настільки швидко, що цей момент не можна визначити візуально. Очевидно, що впровадження таких освітлювальних систем потребує розроблення та створення спеціалізованих електронних схем керування, які узгоджують всю роботу та збалансовують потужності.

Передбачається, що фотоелектричний перетворювач не містить у своїй конструкції механічних систем слідування за Сонцем, а закріплюється в оптимальному положенні. І хоча це забезпечує функціонування системи на рівні приблизно 80% від максимально можливої генерованої протягом року потужності, проте виключає необхідність її обслуговування. Крім цього слід зазначити, що для збереження потрібного рівня генерації впродовж принаймні 10 років необхідно застосувати фотоелектричний перетворювач сонячної батареї, номінальна потужність якого на 20% вища за номінальну потужність використаних світлодіодних джерел світла.

Використання в системі охолодження двофазних пристроїв тепловідведення (теплових труб) наразі вважається оптимальним способом забезпечення необхідного теплового режиму потужних світлодіодних джерел світла, що підвищує ефективність перетворення електричної енергії у світлову та надійність роботи освітлювальної системи.

Висновки

Проведений аналіз свідчить про перспективність використання комбінованого живлення від фотоелектричних перетворювачів та від загальної мережі для побудови енергоефективних світлодіодних систем освітлення. Запропонований алгоритм роботи систем керування живленням, за яким у режимі реального часу здійснюється вибір найбільш доцільного джерела енергії, дозволяє підвищити світлову ефективність освітлювального приладу принаймні на 20% з використанням лише промислово впровадженої еле-

ментної бази. За розрахунками, лише одна подібна система потужністю 250 Вт може заощадити до 2 тис. кВт·год електроенергії на рік. В Україні ж щорічно вводиться в експлуатацію понад 1 млн м² промислових приміщень, що потребують якісного освітлення, і якщо навіть у незначній частині з них використовувати потужні світлодіодні системи з комбінованим електроживленням, це може становити десятки тисяч таких освітлювальних приладів на рік з відповідним економічним ефектом. При цьому найвищий економічний та екологічний ефект матимуть освітлювальні системи високої (100—200 Вт) та надвисокої (понад 200 Вт) потужності, призначених для освітлення приміщень великої площі: об'єктів промисловості, приміщень заводів, ангарів для техніки, зерно-овочесховищ, теплиць, приміщень торговельних центрів, спортивних залів, офісів відкритого типу, об'єктів спеціального призначення та інших приміщень великих розмірів.

Використання сонячної енергії для живлення потужних світлодіодних освітлювальних приладів дозволить при широкому впровадженні таких систем в промисловості значно знизити споживання електроенергії з централізованої електромережі, а значить, скоротити використання органічних видів палива на виробництво електроенергії та зменшити кількість шкідливих викидів в атмосферу. До того ж відмова від традиційних накопичувачів електроенергії (акумуляторів) в конструкціях освітлювальних систем з комбінованим електроживленням значно збільшує їхній термін експлуатації, надійність та вплив на екологію.

Розміщення фотоелектричних перетворювачів в безпосередній близькості від споживачів — на дахах і фасадах будівель, а також безпосереднє використання генерованої енергії зменшує омічні втрати й підвищує економічну та енергетичну ефективність таких систем.

ВИКОРИСТАНІ ДЖЕРЕЛА

1. Lishik S. I., Posedko V. S., Trofimov Yu. V., Tsvirko V. I. Current state, trends and prospectives of the development of light emitting diode technology. *Light & Engineering*, 2017, vol. 25, iss. 2, pp.13–24.
2. CITIZEN ELECTRONICS CO., LTD. http://ce.citizen.co.jp/lighting_led/dl_data/datasheet/en/COB_8/CLU04J-1818C9_0355P_201906_202007.pdf (дата звернення: 28.10.2020)
3. Zohuri B. *Heat pipe design and technology: modern applications for practical thermal management*. Cham, Springer International Publishing, 2016, 537 p.
4. *Buildings a source of enormous untapped efficiency potential*. <https://www.iea.org/topics/buildings/> (дата звернення: 28.10.2020)
5. Schneider Electric. *Каталог реуеній по защите и контролю нагрузок*. https://www.electrocentr.com.ua/files/documentation/SE/cb/acti9/Acti9_solutions_ru.pdf (дата звернення: 28.10.2020)
6. *World energy scenarios: composing energy futures to 2050*. World Energy Council, 2013, 288 p.
7. *Perspectives on the grand energy transition/world energy council*. Issues Monitor, 2018, 126 p.
8. *World energy resources*. https://en.wikipedia.org/wiki/World_energy_resources (дата звернення Last accessed: 28.10.2020)
9. *World energy resources*. World Energy Council, 2016. 1028 p.

10. Костилов В.П., Саченко А.В. Напівпровідникова фотоенергетика: сучасний стан і актуальні напрями досліджень. *Оптоелектроника и полупроводниковая техника*, 2018, вип. 53, с. 13–37.
11. Власюк Ю.С., Стефанишин Д.В. Про проблеми та перспективи малої гідроенергетики в Україні. *Математичне моделювання в економіці*, 2018, № 1, с. 126–138.
12. *GLOBAL Wind Energy Outlook*. 2016. https://www.researchgate.net/publication/311774623_Global_Wind_Energy_Outlook_2016 (дата звернення Last accessed: 28.10.2020)
13. *Solar power Europe*. <https://www.solarpowereurope.org/national-energy-and-climate-plans-a-solar-powered-energy-system-by-2030/> (дата звернення: 28.10.2020)
14. *Solar resource maps*. <https://solargis.com/maps-and-gis-data/> (дата звернення: 28.10.2020)
15. *Енергоефективність та енергозбереження: економічний, техніко-технологічний та екологічний аспекти: колективна монографія*. За заг. ред. П. М. Макаренка, О. В. Калініченка, В. І. Аранчій. Полтава, ПП “Астрая”, 2019, 603 с.
16. Возняк О. Т., Янів М. Є. Енергетичний потенціал сонячної енергетики та перспективи його використання в Україні. *Вісник Національного університету «Львівська політехніка»*, 2010, № 664: Теорія і практика будівництва, с. 7–10.
17. *On-line калькулятор солнечной, ветровой и тепловой энергии*. <https://www.helios-house.ru/on-line-kalkulyator.html> (дата звернення: 28.10.2020)
18. Pekur D.V., Nikolaenko Yu.E., Sorokin V.M. Optimization of the cooling system design for a compact high-power LED luminaire. *Semiconductor Physics, Quantum Electronics & Optoelectronics*, 2020, vol. 23, no. 1, p. 91–101.
19. Pekur D.V., Sorokin V.M., Nikolaenko Yu.E. Thermal characteristics of a compact LED luminaire with a cooling system based on heat pipes. *Thermal Science and Engineering Progress*, 2020, vol. 18, art. no. 100549.
20. Пекур Д.В., Сорокін В.М., Ніколаєнко Ю. Є. Експериментальне дослідження компактної системи охолодження з тепловими трубами для потужної світлодіодної матриці. *Технологія і конструювання в електронній апаратурі*, 2020, №3–4, с. 35–41. <https://doi.org/10.15222/ТКЕА2020.3-4.35>
21. *ДТЕК Київські електромережі*. <https://www.dtek-kem.com.ua/ua/services-tariffs/> (дата звернення: 28.10.2020)

Дата надходження рукопису
до редакції 23.11 2020 р.

DOI: 10.15222/ТКЕА2020.5-6.03
УДК 628.931

К. т. н. Ю. В. КОЛОМЗАРОВ¹, д. ф.-м. н. В. П. КОСТЫЛЁВ¹,
д. т. н. В. М. СОРОКИН¹, д. т. н. Ю. Е. НИКОЛАЕНКО²,
И. В. ПЕКУР¹, к. т. н. В. И. КОРНАГА¹, к. т. н. Р. М. КОРКИШКО¹

Украина, г. Киев, ¹Институт физики полупроводников им. В. Е. Лашкарёва НАН Украины,
²Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»
E-mail: kolomzarov@yahoo.com,
vsorokin@isp.kiev.ua, yunikola@ukr.net

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ОСВЕЩЕНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ СВЕТОДИОДНЫХ ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ С КОМБИНИРОВАННЫМ ЭЛЕКТРОПИТАНИЕМ

Использование светодиодных технологий для создания комфортной световой среды для жизни и труда человека позволяет уменьшить потребление электроэнергии при сохранении, а зачастую и улучшении, энергетических и спектральных параметров осветительных систем. В то же время питание светодиодных систем освещения жилых и промышленных зданий обычно осуществляется за счет использования электроэнергии, генерируемой в основном тепловыми электростанциями, которые для обеспечения своей работы используют преимущественно органические виды топлива, а их сжигание приводит к загрязнению окружающей среды.

В работе предложена концепция осветительной системы, в которой позитивное влияние на экологическое состояние окружающей среды достигается уменьшением энергопотребления осветительных систем за счет использования возобновляемых источников энергии. Алгоритм работы системы управления питанием светодиодного источника света позволяет сделать рациональный выбор источника энергии в режиме реального времени, что повышает световую эффективность светильника по крайней мере на 20% при использовании промышленно внедренной элементной базы. Кроме этого, предложенная схема питания предусматривает отказ от традиционных накопителей электроэнергии (аккумуляторов), что значительно увеличивает сроки эксплуатации таких систем, их надежность и экологическую безопасность, а размещение фотозлектрических преобразователей в непосредственной близости к потребителю — на крышах и фасадах зданий позволяет уменьшить омические потери и создает благоприятные условия для использования солнечной энергии для освещения помещений с помощью светодиодных светильников. Все это позволяет значительно повысить экономическую и энергетическую эффективность таких систем.

Ключевые слова: системы освещения, солнечная энергетика, световая эффективность, фотопреобразователи солнечной энергии.

ENVIRONMENTAL ISSUES OF LIGHTING AND PROSPECTS OF ENERGY-SAVING
LED LIGHTING SYSTEMS WITH COMBINED POWER SUPPLY

Using LED technologies to create a comfortable light environment for human life and work can help reduce electricity consumption while maintaining, and usually improving, the energy and spectral parameters of lighting systems. At the same time, LED lighting systems for residential and industrial buildings are usually powered by electricity generated mainly by thermal power plants. Such plants mostly use fossil fuels and their combustion leads to environmental pollution. The article proposes the concept of a lighting system, which allows improving the ecology by reducing the energy consumption of lighting systems through the use of renewable energy sources. The proposed operation algorithm of the system for power supply control of LED light sources allows selecting the most appropriate energy sources in real time, thus making it possible to increase the luminous efficiency of the lamp by at least 20% when using industrial element base. This design can help to move away from traditional energy storage systems (batteries), which significantly increases the service life of such systems, their reliability and environmental safety. Placing photovoltaic converters in close proximity to the consumer (on the roofs and facades of buildings) ensures a decrease in ohmic losses and creates favorable conditions for using solar energy to light residential and industrial premises with LED lamps, which can significantly increase the economic and energy efficiency of such systems.

Keywords: lighting systems, solar energy, light efficiency, photoconverters of solar energy.

REFERENCES

- Lishik S. I., Posedko V. S., Trofimov Yu. V., Tsvirko V. I. Current state, trends and perspectives of the development of Light Emitting Diode technology. *Light & Engineering*, 2017, vol. 25, iss. 2, pp.13–24.
- CITIZEN ELECTRONICS CO., LTD. http://ce.citizen.co.jp/lighting_led/dl_data/datasheet/en/COB_8/CLU04J-1818C9_0355P_201906_202007.pdf (accessed date: 28.10.2020)
- Zohuri B. *Heat pipe design and technology: modern applications for practical thermal management*. Cham, Springer International Publishing, 2016, 537 p.
- Buildings A source of enormous untapped efficiency potential*. <https://www.iea.org/topics/buildings/> (accessed date: 28.10.2020)
- Schneider Electric. [Load protection and control solutions catalog]. https://www.electrocentr.com.ua/files/documentation/SE/cb/acti9/Acti9_solutions_ru.pdf (accessed date: 28.10.2020) (Rus)
- World Energy Scenarios: Composing energy futures to 2050*. World Energy Council, 2013, 288 p.
- Perspectives on the Grand Energy Transition/World Energy Council. *Issues Monitor*, 2018, 126 p.
- World Energy Resources*. https://en.wikipedia.org/wiki/World_energy_resources (accessed date: 28.10.2020)
- World Energy Resources*. World Energy Council, 2016. 1028 p.
- Kostyl'ov V.P., Sachenko A.V. Semiconductor photovoltaics: current state and actual directions of research. *Optoelectronics and Semiconductor Technique*, 2018, vol. 53, pp. 13–37. (Ukr)
- Vlasyuk YU.S., Stefanyshyn D.V. [On the problems and prospects of small hydropower in Ukraine]. *Matematychni modelyuvannya v ekonomitsi*, 2018, no. 1, pp. 126–138. (Ukr)
- GLOBAL Wind Energy Outlook*. 2016. https://www.researchgate.net/publication/311774623_Global_Wind_Energy_Outlook_2016 (accessed date: 28.10.2020)
- SolarPower Europe*. <https://www.solarpowereurope.org/national-energy-and-climate-plans-a-solar-powered-energy-system-by-2030/> (accessed date: 28.10.2020)
- Solar Resource Maps*. <https://solargis.com/maps-and-gis-data/> (accessed date: 28.10.2020)
- Makarenko P. M., Kalinichenko O. V., Aranchiy V. I. (Eds.) *Enerhoefektyvnist' ta enerhozberezhennya: ekonomichnyy, tekhniko-tekhnolohichnyy ta ekolohichnyy aspekty : kolektyvna monohrafiya* [Energy efficiency and energy saving: economic, technical-technological and ecological aspects: collective monograph]. Poltava, PE "Astraya", 2019, 603 p. (Ukr)
- Voznyak O. T., Yaniv M. Ye. [Energy potential of solar energy and prospects for its use in Ukraine]. *Bulletin of Lviv Polytechnic National University. Series Theory and Building Practice*, 2010, no. 664, pp. 7–10. (Ukr)
- [On-line solar, wind and heat energy calculator]. <https://www.helios-house.ru/on-line-kalkulyator.html> (accessed date: 28.10.2020) (Ukr)
- Pekur D.V., Nikolaenko Yu.E., Sorokin V.M. Optimization of the cooling system design for a compact high-power LED luminaire. *Semiconductor Physics, Quantum Electronics & Optoelectronics*, 2020, vol. 23, no. 1, p. 91–101.
- Pekur D.V., Sorokin V.M., Nikolaenko Yu.E. Thermal characteristics of a compact LED luminaire with a cooling system based on heat pipes. *Thermal Science and Engineering Progress*, 2020, vol. 18, art. no. 100549.
- Pekur D. V., Sorokin V. M., Nikolaenko Yu. E. Experimental study of a compact cooling system with heat pipes for powerful LED matrices. *Tekhnologiya i Konstruirovaniye v Elektronnoi Apparature*, 2020, no. 3-4, pp. 35–41. <https://doi.org/10.15222/TKEA2020.3-4.35> (Ukr)
- DTEK. Kyivsky Elektromerezhi. <https://www.dtek-kem.com.ua/ua/services-tariffs/> (accessed date: 28.10.2020)

Опис статті для цитування:

Коломзаров Ю. В., Костильов В. П., Сорокін В. М., Ніколаєнко Ю. С., Пекур І. В., Корнага В. І., Коркішко Р. М. Екологічні проблеми освітлення та перспективи застосування енергоощадних світлодіодних освітлювальних систем з комбінованим електроживленням. *Технологія та конструювання в електронній апаратурі*, 2020, № 5–6, с. 3–9. <http://dx.doi.org/10.15222/TKEA2020.5-6.03>

Cite the article as:

Kolomzarov Yu. V., Kostilov V. P., Sorokin V. M., Nikolaenko Yu. E., Kornaga V. I., Korkishko R. M., Pekur I. V. Environmental issues of lighting and prospects of energy-saving LED lighting systems with combined power supply. *Tekhnologiya i Konstruirovaniye v Elektronnoi Apparature*, 2020, no. 5–6, pp. 3–9. <http://dx.doi.org/10.15222/TKEA2020.5-6.03>