

УДК 620.92

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ НАВЧАЛЬНОГО КОРПУСУ З ВИКОРИСТАННЯМ СОНЯЧНИХ БАТАРЕЙ

Т.В. Гаврилова, доц., к.ф.-м.н., Д.С. Кас'яненко, студент,
Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Анотація. Приведено розрахунки схеми світлодіодного освітлення приміщення, що входить до системи енергозбереження. Запропоновано методіку розрахунку елементів схеми для автономного електропостачання з використанням сонячних батарей. Побудовано порівняльну діаграму споживаної потужності й потужності, що виробляє розрахована сонячна батарея.

Ключові слова: енергозбереження, сонячна батарея, світлодіодне освітлення, акумуляторна батарея, контролер, інвертор.

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ УЧЕБНОГО КОРПУСА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СОЛНЕЧНЫХ БАТАРЕЙ

Т.В. Гаврилова, доц., к.ф.-м.н., Д.С. Касьяненко, студент,
Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет

Аннотация. Приведены расчеты схемы светодиодного освещения помещения, которая входит в систему энергосбережения. Предложена методика расчета элементов схемы для автономного электроснабжения с использованием солнечных батарей. Построена сравнительная диаграмма потребляемой мощности и мощности, производимой рассчитанной солнечной батареей.

Ключевые слова: энергообеспечение, солнечная батарея, светодиодное освещение, аккумуляторная батарея, контроллер, инвертор.

INCREASING THE EDUCATIONAL BUILDING ELECTRIC SUPPLY EFFECTIVENESS WITH THE USE OF SOLAR BATTERIES

T. Gavrilova, Ph.D., Assoc. Prof., D. Kasyanenko, Student,
Kharkiv National Automobile and Highway University

Abstract. The average annual potential of solar energy in Ukraine, in particular, in the Kharkov region, is analyzed. A scheme is chosen for autonomous power supply to illuminate a particular room. Calculations for the introduction of LED lighting are carried out. The system of autonomous power supply solar panel, consisting of 72 solar panels with a total capacity of 14.4 kW is calculated.

Key words: energy potential, power supply, solar battery, LED lighting, battery, controller, inverter.

Вступ

Проблема енергозбереження хвилювала людей в усі часи, і в наш час ця тема у світі не втратила актуальності. Обумовленість пошуків енергоефективності як пріоритетного напрямку енергетичної політики більшості країн світу полягає у вичерпанні невідновлюваних паливно-енергетичних ресурсів,

наявності ризиків під час виробництва та транспортування, а також у зростанні цін на енергоресурси такого виду.

Вирішення завдань енергозбереження, як показує досвід розвинутих країн і власний досвід України, може здійснюватись у двох напрямках: впровадження державного регулювання процесів енергозбереження та про-

ведення цілеспрямованої державної політики і розробка поновлюваних джерел енергії.

Відмітимо, що Україна задовольняє свої енергетичні потреби лише на 47–49 % за рахунок власних паливно-енергетичних ресурсів, тобто вона належить до енергодефіцитних країн, що призводить до залежності від імпортованих енергоносіїв. На цьому етапі розвитку енергетичної галузі України маємо такий розподіл сукупного споживання первинної енергії: природного газу – 41 %, нафти – 19 %, вугілля – 19 %, урану – 17 %, гідроресурсів та інших поновлюваних джерел – 4 % [1]. Таким чином, враховуючи обмежені можливості розвитку атомної та гідроенергетики, підвищення балансу вироблення енергії за рахунок власного видобутку бачиться у поширенні використання альтернативних енергоносіїв, розробці відновлюваних джерел енергії (ВДЕ), до яких належать: сонячна радіація, енергія вітру, енергія, що міститься в біомасі та органічних відходах.

На сьогодні одне з найпомітніших місць серед альтернативних джерел енергії займає сонячна енергетика як напрям нетрадиційної енергетики, що базується на безпосередньому використанні сонячного випромінювання для одержання енергії в певному вигляді [1]. Важливість розвитку сонячної енергетики є очевидною, бо вона має ряд істотних переваг, таких як: доступність сонячної енергії, що гарантує енергонезалежність країни; екологічна чистота і невичерпність джерела; можливість одночасного використання землі для господарських і енергетичних цілей; підвищення безпеки енергопостачання.

Головними недоліками сонячних батарей є змінні характеристики і залежність від погодних та кліматичних змін, висока вартість конструкції. До того ж вироблення сонячної зазвичай не завжди може збігатися в часі з розподілом її попиту. Однак науковці й розробники нової технології добування енергії впевнені у тому, що ці недоліки, завдяки здобуткам технологічного прогресу, з часом зможуть викоринюватися один за одним.

Аналіз публікацій

Результати аналізу й оцінки енергетичного потенціалу всіх видів нетрадиційної енергії в регіонах України наведені в роботах [1, 2]. У них розглянуті також можливості перетво-

рення, використання та акумуляції енергії альтернативних джерел. Показано, що для успішного впровадження різних нетрадиційних джерел енергії необхідно посилити, а в окремих випадках – переглянути, комплексне забезпечення зацікавленості підприємств і організацій у використанні таких джерел, а саме: юридичне, економічне й технічне забезпечення.

Дослідженню ефективності та доцільності використання сонячної енергії присвячено багато робіт [2–5]. Потенціал з розвитку цього напрямку, починаючи від початкової сировини до готових систем з перетворення сонячного випромінювання в електричну енергію, в Україні є. Вагомі результати отримано в Інституті фізики напівпровідників НАН України, у Київському, Одеському, Ужгородському та Чернівецькому університетах, на деяких промислових підприємствах («Пілар», «Квазар»), в інших українських лабораторіях.

В останні роки фотоелектричні елементи використовуються на промислових підприємствах, у приватних будинках, у віддалених та ізольованих районах, де лінії електропередач є недоступними або економічно недоцільними. У книзі американського фахівця Т. Байєрса [6] описані різноманітні пристрої, що дозволяють забезпечити використання енергії сонячних батарей у побуті.

Аналіз сонячного потенціалу України за різними регіонами проведений в роботах [7, 8]. Вважається, що найбільш привабливими для використання сонячних батарей є райони з показниками сонячної активності 5 кВт/м²/день [8]. У районах Запоріжжя, Дніпропетровська і Луганська, а також в Одеській, Херсонській та Миколаївській областях у літній період коефіцієнт часто перевищує позначку в 6 одиниць. У Харківській області аналогічний середній показник за рік дорівнює 3,36 кВт/м²/день, однак у період травень-вересень він становить 4,95 кВт/м²/день, що є достатнім для продуктивного використання сонячної радіації у цей період, а також монтаж сонячних батарей не буде зайвим і в інші місяці року.

Таким чином, рівень інсоляції в Харківській області допускає перспективне використання сонячних батарей, що приведе до підвищення ефективності електропостачання для

окремих підприємств, а отже і для всього регіону.

Досить важливою, у зв'язку з цим, стає оцінка ефективності роботи фотоелектричних елементів. Роботи з моделювання характеристик сонячних панелей активно ведуться за кордоном, результати досліджень розглядаються на міжнародних науково-технічних конференціях [9, 10].

Мета і постановка завдання

Мета роботи полягає у проведенні аналізу й оцінці ефективності використання енергозберіжних та енерговироблюваних технологій в умовах конкретного приміщення в місті Харків.

Постановка завдання – за заданою системою штучного освітлення навчального корпусу і графіком добового активного навантаження за допомогою статистичних даних виробленої енергії сонячними панелями міста Харків розробити схему електропостачання із застосуванням сонячних батарей.

Беремо до уваги, що установка сонячних батарей планується на даху навчального закладу, який має достатньо велику площу. З технічної точки зору при цьому враховуються такі переваги сонячних енергосистем як:

- відсутність необхідності у проведенні трудомісткого технічного обслуговування для підтримки системи у працездатному стані;
- модульність систем, що дає можливість швидкого монтажу в місцях експлуатації;
- відсутність експлуатаційного шуму і джерел шкідливих викидів, які не заважають людині у виробничих і побутових умовах;
- матеріали сонячних установок виконують функцію будівельного матеріалу, що покращують архітектуру будівлі.

Аналізуючи різні приклади схем електропостачання будинків із застосуванням сонячних батарей, обираємо систему, яка працює паралельно з електромережею (рис. 1). Така система може використовуватися або як основна, або у вигляді резервної.

До складу електростанції сонячних батарей входять такі основні елементи: власне, сонячні батареї (модулі), контролер, інвертор, прилад автоматичного введення резерву (АВР), акумулятори.

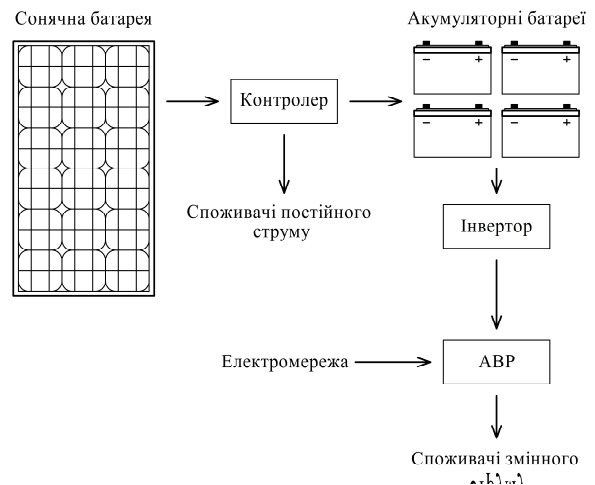


Рис. 1. Схема електропостачання із застосуванням сонячних батарей

Сонячні батареї виробляють постійний струм. Інвертор змінює його на змінний. Акумулятори накопичують невикористану електрику і віддають її, за необхідності. АВР дає можливість перемикає електропостачання із сонячних батарей на електромережу, за відсутності сонця і при розряді акумуляторів, або навпаки – перемикає на сонячні батареї та акумулятори, коли відключається електрика в мережі.

Матеріали і результати дослідження

Розв'язання задачі поділяється на два етапи: на першому етапі проводиться розрахунок потужності, необхідної для світлодіодного освітлення окремо взятого приміщення, яке споживає постійний струм; на другому етапі – розрахунок необхідної кількості сонячних батарей, їх характеристик, а також параметрів іншого обладнання. Проведемо розрахунок світлодіодного освітлення. Для освітлення 3-го поверху навчального корпусу пропонується застосувати світлодіодні стрічки зі світлодіодами типу SMD3014 [11] або світлодіодні світильники.

Обчислення необхідної кількості світлодіодних стрічок [12] проводиться таким чином:

1) за заданою площею приміщення $S = a \cdot b$, (a – довжина, b – ширина приміщення) визначаємо індекс приміщення

$$\varphi = S / [(h_1 - h_2) \cdot (a + b)], \quad (1)$$

де h_1 – висота стелі; h_2 – відстань від підлоги до освітлюваної поверхні;

2) визначається коефіцієнт використання освітлювальної установки u , виходячи зі зна-

чень коефіцієнтів відбиття й індексу приміщення [12];

3) визначається необхідна кількість світлодіодних стрічок довжиною 1 м N за формулою

$$N = (E \cdot S) / (u \cdot \Phi \cdot K_3), \quad (2)$$

де E – задана освітленість горизонтальної площини, лк; S – площа приміщення, м²; K_3 – коефіцієнт запасу ($K_3 = 0,8$); u – коефіцієнт використання освітлювальної установки; Φ – світловий потік одного світильника, лм.

Візьмемо приклад розрахунку кількості світлодіодних стрічок для однієї навчальної аудиторії: офіс, світлі стелі, світлі стіни, темна підлога. Вихідні дані приміщення: $a = 4,4$ м, $b = 2,3$ м, $h_1 = 3,0$ м, $h_2 = 0,8$ м, коефіцієнт відбиття стелі – 0,5, стін – 0,5, підлоги – 0,3. Згідно з нормами освітленості [13] беремо $E = 500$ лк на рівні 0,8 м від підлоги.

Визначаємо індекс приміщення ϕ за формулою (1)

$$\phi = (4,4 \cdot 5,3) / (3,0 - 0,8) \cdot (4,4 + 5,3) = 1,18.$$

Визначаємо коефіцієнт використання, виходячи зі значень коефіцієнтів відбиття й індексу приміщення, маємо $u = 0,42$ [13].

Визначаємо необхідну кількість світлодіодних стрічок N за формулою (2)

$$N = (500 \cdot 25,26) / (0,42 \cdot 1200 \cdot 0,8) = 31,3.$$

Візьмемо, що необхідно 30 світлодіодних стрічок довжиною 1 м. Для всіх приміщень аналогічні розрахунки дають необхідну кількість – 350 стрічок.

У цей час приміщення, що розглядаються, освітлюються люмінесцентними лампами, які мають потужність 9,19 кВт, тобто за добу при 9-годинному робочому дні споживають енергію $W = 9,19 \cdot 9 = 82$ кВт год. За рік (225 робочих днів) маємо $W_{\text{рік}} = 18609$ кВт год, що, відповідно до тарифної ставки за електроенергію 1,68 грн за 1 кВт год, дає суму витрат 31263 грн.

Освітлення приміщень 3-го поверху світлодіодними стрічками потребує потужності 4,14 кВт, тобто витрати на споживання

енергії зменшуються за рік в 2,2 рази і становлять 14210 грн. Економічна ефективність PV за перший рік буде дорівнювати, грн

$$PV = 31263 - 14210 = 17053.$$

Розрахуємо витрати на придбання і установку. Ціна світлодіодних стрічок довжиною 350 м становить, за цінами поточного року, приблизно 34000 грн. З урахуванням вартості комплектуючих і установки, яка залишає в середньому 25 % від загальної вартості, маємо загальні витрати $Z_{\text{пр}}$, грн

$$Z_{\text{пр}} = 34000 + 8500 = 42500.$$

Таким чином, окупність заміни люмінесцентного освітлення на світлодіодне планується за 2,5 року.

Розрахунок необхідної кількості сонячних батарей для заданої потужності бажано починати з оцінки ефективності роботи сонячних панелей. Необхідно мати можливість визначити вихідні залежності сонячних панелей (СП) під дією різноманітних факторів навколишнього середовища, порівняти ефективність використання СП з різних матеріалів, оцінити поведінку фотоелектричних перетворювачів у різних режимах роботи. Для ефективного використання фотоелектричних елементів необхідно знати точку максимальної потужності й забезпечити такий режим, щоб потужність, яка віддається за зміни навколишніх умов, була найбільшою. При відпрацюванні СП використовують імітатори сонячних батарей, призначені для відтворення характеристики СП під впливом різноманітних зовнішніх дій.

У роботі [14] запропоновано методику визначення поведінки і відтворення характеристик сонячного елемента (СЕ) і СП за допомогою моделювання у програмі Matlab/Simulink. Сонячна панель будується із серії послідовно-паралельної комбінації фотоелектричних сонячних елементів за еквівалентною схемою (рис. 2).

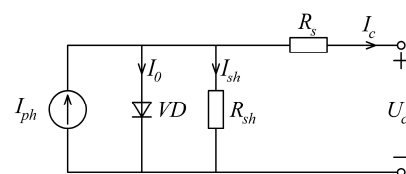


Рис. 2. Еквівалентна схема сонячного елемента

Комп'ютерна модель за указаною методикою виконана для кремнієвої монокристалічної СП типу ФСМ-200М, що має такі технічні дані як: номінальна потужність (200 Вт), напруга холостого ходу (45,5 В), робоча напруга (37,2 В), робочий струм (5,38 А), ККД (17,34 %), площа поверхні (1,28 м²) і кількість фотоелементів (72).

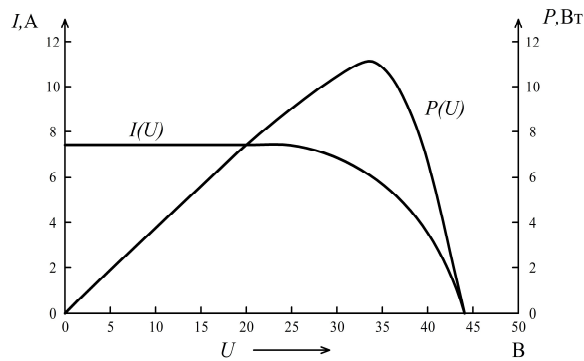


Рис. 3. Вольт-амперна характеристика сонячної панелі ФСМ-200М для рівня освітленості 1000 Вт / м²

На рис. 3 подано розрахункові характеристики струму і потужності сонячної панелі ФСМ-200М для рівня освітленості сонячного елемента $E = 1000 \text{ Вт/м}^2$. Очевидно, що найбільша ефективність сонячної панелі виникає при фіксованому положенні робочої точки за максимальної потужності.

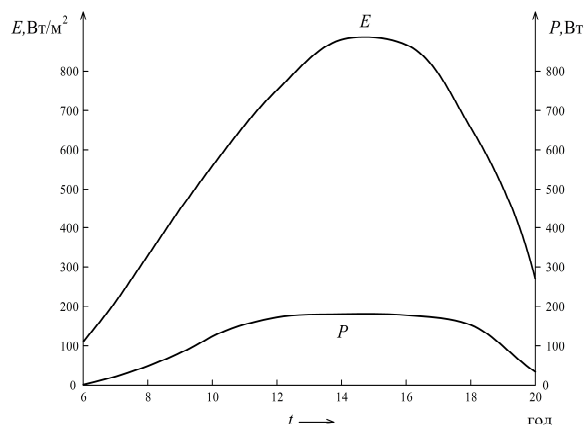


Рис. 4. Залежність вихідної потужності сонячної панелі типу ФСМ-200М від рівня сонячної інсоляції за один день

Розрахована залежність вихідної потужності сонячної панелі типу ФСМ-200М від рівня сонячної інсоляції протягом дня (рис. 4) дозволяє визначити, що для даного типу панелей максимальну потужність в інтервалі 155–185 Вт можемо отримати з 12 до 17 годин.

Визначимо кількість сонячних батарей і необхідну площу для їх установки.

Освітлення приміщень 3-го поверху за добу потребує енергії W , кВт · год

$$W = P \cdot \Delta t = 4,138 \cdot 9 = 37,242, \quad (3)$$

де $P = 4,138 \text{ кВт}$ – потужність, яка споживається світлодіодними стрічками; $\Delta t = 9 \text{ год}$ – час активного навантаження. Для урахування втрат енергії в акумуляторах, інверторах та інших приладах збільшимо необхідну енергію на 40 %; таким чином, маємо W , кВт · год

$$W = 37,242 + 0,4 \cdot 37,242 = 52,139.$$

Розрахуємо необхідну енергію для освітлення приміщення за рік W , кВт · год

$$W = W_d \cdot 365 = 52,139 \cdot 365 = 19030. \quad (4)$$

Визначимо мінімальну і максимальну енергію W_0 , яку виробляє в середньому одна панель за добу для м. Харків. Для панелі ФСМ-200 маємо в листопаді та грудні $W_{0\text{min}} = 0,4 \text{ кВт} \cdot \text{год}$, у травні-серпні $W_{0\text{max}} = 1,1 \text{ кВт} \cdot \text{год}$ [15]. Якщо вибрати число панелей $N_{\text{опт}} = 48$, ми зможемо повністю забезпечувати потребу в освітленні в термін травень-серпень і частково (36–63 %) – в останні місяці.

Для конкретного розрахунку числа панелей N скористаємося значенням середньої енергії, яку виробляє панель ФСМ 200М за рік: $W_0 = 301,9 \text{ кВт} \cdot \text{год}$ [15], і отримаємо, враховуючи формулу (4),

$$N = W / W_0 = 19030 / 301,9 = 63. \quad (5)$$

Для уточнення числа панелей проведемо розрахунки оптимальної кількості акумуляторів, які забезпечать необхідну енергію для освітлення приміщень у похмурі дні. Для значення повної кількості світлодіодних стрічок довжиною 1 м $M = 350$ і враховуючи, що кожен метр стрічки споживає струм 1 А, маємо для 9 годин роботи приміщення запас енергії, А · год (приймаємо 33 % запас на втрати енергії)

$$350 \cdot 9 + 350 \cdot 9 \cdot 0,33 = 4200.$$

Пропонуємо застосувати 22 акумулятори на 200 А · год. Найбільш ефективним є вико-

ристання спеціальних акумуляторів – гелевих (в батареї як електроліт застосовується сірчана кислота) і свинцевих батарей, виготовлених за AGM-технологією. Цим батареям не потрібні спеціальні умови для установки і обслуговування. Паспортний термін служби таких батарей – 10–12 років за глибини розряду не більше 20 %.

Користуючись даними роботи [16], визначаємо тривалість періоду опромінення сонячною радіацією для Харківської області: $\Delta t_c = 10,8$ год. Знайдемо силу струму I_{\max} , який має генерувати сонячна батарея, розділивши величину запасу енергії $4200 \text{ А} \cdot \text{год}$ на тривалість часу опромінення Δt_c

$$I_{\max} = 4200 \text{ А} \cdot \text{год} / 10,8 \text{ год} = 389 \text{ А}.$$

Виконаний розрахунок веде до висновку, що потрібне збільшення числа панелей. Дійсно, оптимальне число панелей буде дорівнювати

$$N_{\text{опт}} = I_{\max} / I_0 = 389 / 5,38 = 72, \quad (6)$$

де $I_0 = 5,38 \text{ А}$ – робочий струм вказаної панелі. Уточнюємо сумарну потужність обраної кількості сонячних панелей P , кВт

$$P = P_0 \cdot N_{\text{опт}} = 0,2 \cdot 72 = 14,4 \quad (7)$$

і визначаємо максимальну площу для їх установки S , м²

$$S = 1,28 \cdot 72 = 92,16.$$

Розглянемо також вибір якісного контролера заряду, який повинен забезпечувати заявлений термін роботи акумулятора. Маємо, що розрахунковий струм із поправочним коефіцієнтом запасу 1,15 становить 447,35 А. Оскільки струм є надто великим, обираємо 8 контролерів EPSOLAR VS6024N з такими параметрами: допустимий струм – 60 А, напруга заряду акумуляторів – 12–24 В, допустима вхідна напруга з панелей – 60 В.

Використовуючи діаграму зміни вихідної потужності сонячної панелі типу ФСМ-200М залежно від рівня сонячної інсоляції за один день (рис. 4) і статистичні дані споживаної потужності для обраного приміщення, проведемо аналіз енергопостачання.

На діаграмі (рис. 5) зведені для порівняння дані потужності, яку споживає освітлення світлодіодними стрічками за робочий день, і потужності, яку виробляє сонячна батарея із 72 панелей у червні місяці.

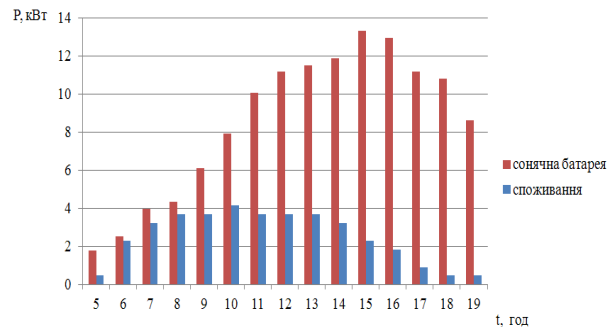


Рис. 5. Діаграма потужностей споживаної й тієї, що виробляється

Специфіка освітлення приміщень типу навчального закладу полягає в тому, що максимум енергії, яка споживається, припадає на денний час. Діаграма ілюструє той факт, що в цьому разі величина виробленої сонячної енергії не збігається в часі з розподілом її попиту і може перевищувати в декілька разів величину енергії, яка споживається. Таким чином, у літні місяці енергія, що виробляється сонячними панелями, може затрачуватися не тільки на освітлення аудиторій, а також і на живлення електроприладів постійного струму в лабораторіях або змінного – через інвертори.

Що стосується економічної ефективності фінансових затрат для встановлення запропонованої сонячної батареї, то варто відзначити наступне: 1) з урахуванням цін на 2017 рік вартість обладнання й установки, яка становить в середньому 25 % від загальної вартості, маємо приблизні загальні витрати $Z_{\text{пр1}}$, грн

$$Z_{\text{пр1}} = 750000 + 187500 = 937500;$$

2) обрана панель за рік виробляє енергію, що дорівнює приблизно 21700 кВт, вартість якої за діючими тарифами становить 36456 грн.

Подані розрахунки свідчать, що економічної ефективності від встановлення сонячних батарей на вибраному приміщенні при сучасних цінах на обладнання досягти практично неможливо, якщо не застосовувати додаткових заходів, таких, як, наприклад, заміна звичайного освітлення світлодіодним.

Висновки

На підставі аналізу схем енергопостачання із застосуванням сонячних батарей обрано схему для автономного енергозабезпечення освітлення заданого приміщення.

Завдяки запропонованій заміні люмінесцентних світильників заданого приміщення світлодіодними стрічками зі світлодіодами типу SMD3014, доведено, що витрати на споживання енергії зменшуються за рік в 2,2 рази, а економічна ефективність дозволяє окупити затрати за 2,5 роки.

Для комп'ютерної Matlab-моделі сонячної панелі ФСМ 200М побудовано характеристики з урахуванням рівня сонячної інсоляції та температури навколишнього середовища.

Розраховано систему сонячної батареї автономного електропостачання, що складається з 72 сонячних панелей загальною потужністю 14,4 кВт і виробляє в місяць енергію в середньому від 850 до 2500 кВт · год залежно від сонячної активності в м. Харків.

Підібрано типи акумуляторних батарей кількістю 22 шт. і контролери кількістю 8 шт., які забезпечують електропостачання в похмурі дні.

Таким чином, передбачається повна незалежність від централізованих енергомереж для освітлення приміщень у термін травень-вересень і частково – в останні місяці року.

Література

1. Возняк О.Т. Енергетичний потенціал сонячної енергетики та перспективи його використання в Україні / О.Т. Возняк, М.Є. Янів. – Режим доступу: <http://vlp.com.ua/node/4804>.
2. Альтернативні джерела енергії в Україні та можливості їх використання в Україні. – Режим доступу: <http://www.fasgeo.ru/fizika-i-energetika/alternativni-dzherela-energii-v-ukraini-a.html>.
3. Півняк Г.Г. Альтернативна енергетика в Україні: монографія / Г.Г. Півняк, Ф.П. Шкрабець; Нац. гірн. ун-т. Д.: НГУ, 2013. – 109 с.
4. Бабієв Г.М. Перспективи впровадження нетрадиційних та відновлюваних джерел енергії в Україні / Г.М. Бабієв,

- Д.В. Дероган, А.Р. Щокін // Електричний журнал. – 1998. – №1. – С. 63–64.
5. Дероган Д.В. Перспективи використання енергії та палива в Україні з нетрадиційних та відновлюваних джерел // Д.В. Дероган, А.Р. Щокін // Бюл. «Новітні технології в сфері нетрадиційних і відновлюваних джерел енергії», Київ: АТ «Укренергозбереження». – 1999. – №2. – С. 30–38.
 6. Байерс Т. 20 конструкций с солнечными батареями / Т. Байерс; пер. с англ. С.В. Сидорова. – М.: Мир, 1988. – 198 с.
 7. Средний месячный уровень солнечной радиации в городах Украины. – Режим доступу: <https://alternativenergy.ru/solnechnaya-energetika/130-solnechnaya-postoyannaya.html>.
 8. Карта солнечной активности в Украине. – Режим доступу: <http://www.solar-battery.com.ua/karta-solnechnoy-aktivnosti-v-ukraine/>.
 9. Фролкова Н.О. Компьютерное моделирование вольтамперных характеристик солнечных батарей / Н.О. Фролкова, И.В. Абраменкова // Тезисы докладов XIV международной н.-техн. конференции студентов и аспирантов. – 2008. – С. 381–383.
 10. Фролкова Н.О. Моделирование последовательного и параллельного сопротивления в структуре реального солнечного элемента / Н.О. Фролкова, И.В. Абраменкова, О.А. Фролков // Системы компьютерной математики и их приложения: материалы X Международной конференции СКМП. – 2009. – С. 3–5.
 11. Светодиодное освещение своими руками – расчет и монтаж. – Режим доступу: <http://strmnt.com/dom/comm/electric/svetodiodnoe-osveshhenie-svoimi-rukami-raschet.html>.
 12. Расчет количества светильников при заданной освещенности. – Режим доступу: <http://transvit-center.ru/raschet-kolichestva-svetilnikov-pri-zadanoj-osvecshennosti/>.
 13. Нормы освещенности і кольоропередачі в приміщеннях. – Режим доступу: <http://svitok.kiev.ua/article/4>.
 14. Шарифов Б.Н. Моделирование солнечной панели в программе MATLAB / Simulink / Б.Н. Шарифов, Т.Р. Тергулов // Вестник УГАТУ. – 2015. – Т. 19, №4 (70). – С. 77–83.
 15. Расчет выработки и потребления энергии от солнца. – Режим доступу: <http://>

- www.fabrikatoka.ru/raschet-solnechnoj-energii/.
16. Погода в Харькове. – Режим доступа: <https://pogoda.turtella.ru/Ukraine/Kharkiv/january/>.

References

1. Voznyak O. T., Yanov M. Y. *Energetichnij potencial sonjachnoï energetiki ta perspektivi jogo vikoristannja v Ukraïni* [Energy potential of solar energy and prospects for its use in Ukraine]. Available at: <http://vlp.com.ua/node/4804>.
2. Alternative energy sources in Ukraine and the possibilities of their use in Ukraine. Available at: <http://www.fasgeo.ru/fizika-i-energetika/alternativni-dzherela-energii-v-ukraini-a.html>.
3. Pivnjak G. G., Shkrabets F. P. *Al'ternativna energetika v Ukraïni* [Alternative energy in Ukraine]. Donetsk, NGU Publ., 2013. 109 p.
4. Babiyev G. V., Deorogan D. V., Shchokin A. R. *Perspektivi vprovadzhennja netradicijnih ta vidnovljuvanih dzherel energii v Ukraïni* [Prospects for Implementing Non-Traditional and Renewable Energy Sources in Ukraine]. *Elektrichnij Zhurnal*, 1998. no. 1. pp. 63–64.
5. Deorogan D. V., Shchokin A. R. *Perspektivi vikoristannja energii ta paliva v Ukraïni z netradicijnih ta vidnovljuvanih dzherel* [Prospects for energy and fuel in Ukraine from alternative and renewable sources]. *Bjul. «Novitni tehnologii v sferi netradicijnih i vidnovljuvanih dzherel energii»*, Kiïv, Ukrenergoberezhennja Publ., 1999. №2. pp. 30–38.
6. Byers T. *20 konstrukcij s solnechnymi baterijami* [20 designs with solar panels]. Moscow, World Publ., 1988. 197 p.
7. The average monthly level of solar radiation in the cities of Ukraine. Available at: <https://alternativenergy.ru/solnechnaya-energetika/130-solnechnaya-postoyannaya.html>.
8. Map of solar activity in Ukraine: Available at: <http://www.solar-battery.com.ua/karta-solnechnoy-aktivnosti-v-ukraine/>.
9. Frolkova N. O., Abramenkova I. V. *Komp'juternoe modelirovanie vol'tampernih harakteristik solnechnyh batarej* [Computer simulation of volt-ampere characteristics of solar batteries] *Tezisy dokladov XIV mezhdunarodnoj n.-tehn. konferencii studentov i aspirantov*. 2008. pp. 381–383.
10. Frolkova N. O., Frolkov O. A., Abramenkova I. V. *Modelirovanie posledovatel'nogo i parallel'nogo soprotivlenija v strukture real'nogo solnechnogo jelementa* [Simulation of sequential and parallel resistance in the structure of a real solar cell. Sistemy komp'juternoj matematiki i ih prilozhenija. Materialy X Mezhdunarodnoj konferencii SKMP. 2009. pp. 3–5.
11. LED lighting by one's own hands - calculation and installation. Available at: <http://strmnt.com/dom/comm/electric/svetodiodnoe-osveshhenie-svoimi-rukami-raschet.html>.
12. Calculation of the number of luminaires for a given illumination. Available at: transvit-center.ru/raschet-kolichestva-svetilnikov-pri-zadanoj-osveshennosti/.
13. Norms of illumination and color rendition. Available at: <http://svitok.kiev.ua/article/4>.
14. Sharifov B. N., Teregulov T. R. *Modelirovanie solnechnoj paneli v programme MATLAB/Simulink* [Modeling of the solar panel in the program MATLAB / Simulink]. *Vestnik UGATU*. 2015. vol. 19. no. 4 (70). pp. 77–83.
15. Calculation of energy production and consumption from the sun. Available at: <http://www.fabrikatoka.ru/raschet-solnechnoj-energii/>.
16. Weather in Kharkov. Available at: <https://pogoda.turtella.ru/Ukraine/Kharkiv/january/>.

Рецензент: А.В. Гнатов, професор, д.т.н., ХНАДУ.