

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ВЕТЕРИНАРНОЇ
МЕДИЦИНИ ТА БІОТЕХНОЛОГІЙ ІМЕНІ С.З. ГЖИЦЬКОГО

ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ ТА
ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

КАФЕДРА ЕНЕРГЕТИКИ

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

першого (бакалаврського) рівня освіти на тему:

**«РЕКОНСТРУКЦІЯ СИСТЕМИ ВУЛИЧНОГО ОСВІТЛЕННЯ З
ЖИВЛЕННЯМ ВІД ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ ПАНЕЛЕЙ»**

Виконав: студент 4-го курсу
групи Ен –42сп спеціальності 141
«Електроенергетика, електротехніка
та електромеханіка»

_____Штогрин Т. В.

Керівник канд.. ф.-м. наук, доцент

_____Гальчак В. П.

ДУБЛЯНИ 2025

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ ТА
ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА ЕНЕРГЕТИКИ

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський) рівень

Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри

(підпис)

к.т.н., доцент Сиротюк С. В.
(вч. звання, прізвище, ініціали)

“ ____ ” _____ 2025 року

**З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

Штогрину Тарасу Васильовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: «Реконструкція системи вуличного освітлення з живленням від фотоелектричних панелей»

Керівни к.ф-м.н., доцент Гальчак В.П.

(наук.ступінь, вч. звання, прізвище, ініціали)

затверджені наказом Львівського НУП 123/к-с 25.02.2025

2. Термін здачі студентом закінченої роботи 16.06.2025 р.

3. Вихідні дані

технічна документація, науково-технічна і довідкова література

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

Вступ

4.1. Засоби вуличного освітлення

4.2. Особливості живлення вуличних світильників

4.3. Вибір елементів фотоелектричної установки

4.4 Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях

4.5.Оцінка економічної ефективності проекту

Висновки і пропозиції

Перелік джерел посилання

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):

Графічний матеріал подається у вигляді презентації

6. Консультанти розділів:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата		Відмітка про виконання
		завдання видав	завдання прийняв	
3	Городецький І. М. к.т.н., доцент			

7. Дата видачі завдання: 25.02.2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Пор. №	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	<i>Засоби вуличного освітлення</i>	25.02.2025 – 25.03.2025	
2	<i>Особливості живлення вуличних світильників</i>	26.03.2025 – 26.04.2025	
3	<i>Вибір елементів фотоелектричної установки</i>	28.04.2025 – 28.05.2025	
4	<i>Охорона праці у надзвичайних ситуаціях</i>	29.05.2025 – 31.05.2025	
5	<i>Обґрунтування економічної доцільності розробки</i>	01.06.2025 – 08.06.2025	
6	<i>Завершення оформлення ілюстративної частини роботи</i>	09.06.25 – 12.12.25	
7	<i>Завершення роботи в цілому</i>	13.12.25 – 16.12.25	

Студент _____ Штогрин Т. В.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____ Гальчак В. П.
(підпис) (прізвище та ініціали)

УДК 621.311.243:620.9.93.

Штогрин Т. В. Реконструкція системи вуличного освітлення з живленням від фотоелектричних панелей. Кваліфікаційна робота. Кафедра енергетики. ЛНУ ветеринарної медицини та біотехнологій імені С.З. Гжицького, 2025, 49 с. текст. част., 21 рис., 6 табл., 12 слайдів презентацій Power Point і перелік використаних посилань з 14 найменувань

Метою кваліфікаційної роботи є розробка проекту реконструкції ділянки вуличного освітлення з підвищенням її енергетичної ефективності та гібридним живленням від сонячних панелей і трифазної мережі. Для досягнення поставленої мети проведено попередній огляд стану вуличного освітлення, характеристик типових вуличних світильників та їх енергетичних параметрів.

Обґрунтовано схеми реконструкції вуличного освітлення окремими ділянками з поетапною заміною зношених світильників енергоощадними світлодіодними. Розроблено структуру фотоелектричної установки для часткового заміщення енергії освітлювальної мережі у піковий період. Проведено розрахунок добових, сезонних та енергетичних параметрів проектованої системи освітлення та запропоновано відповідну комплектацію фотоенергетичної установки. Проведено економічний та енергетичний аналіз перспективності проекту.

ЗМІСТ

	Вступ.....	6
1	ЗАСОБИ ВУЛИЧНОГО ОСВІТЛЕННЯ	7
1.1	Об’єкт проектування та його актуальність	7
1.2	Загальні вимоги до вуличного освітлення	8
1.3	Сучасні та енергоощадні джерела світла і світильники	12
2	ОСОБЛИВОСТІ ЖИВЛЕННЯ ВУЛИЧНИХ СВІТИЛЬНИКІВ	17
2.1	Енергетика світлодіодів і LED- світильників	17
2.2	Енергетика сонячних елементів і панелей	20
2.3	Фотоелектричні установки та системи	22
3	ВИБІР ЕЛЕМЕНТІВ ФОТОЕЛЕКТРИЧНОЇ УСТАНОВКИ	26
3.1	Взаємозаміна світильників	26
3.2	Розробка схеми комутації джерел живлення	27
3.3	Енергетичний баланс системи вуличного освітлення з використанням сонячних панелей	30
3.4.	Фотоелектрична установка гібридного живлення вуличного освітлення	35
3.4.1	Особливості структури та роботи фотоелектричної установки	35
3.4.2	Вибір сонячних панелей	35
3.4.3	Вибір контролера заряду	37
3.4.5	Вибір акумулятора та інвертора	39
3.4.6	Засоби комутації живлення	40
4	ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	45
5	ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА	44
	ВИСНОВКИ	47
	ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ПОСИЛАНЬ	48

ВСТУП

Вуличне освітлення є важливою складовою інфраструктури населених пунктів, яка сприяє безпеці руху транспорту і пішоходів, високому комфорту проживання населення та естетичному оформленню міського простору у темний час доби. Проте традиційні системи освітлення, що базуються на централізованому електропостачанні, мають низку недоліків: високе енергоспоживання, залежність від електромережі та значні витрати на обслуговування. В Україні ці недоліки посилюються проблемами ненадійного централізованого електропостачання внаслідок браку маневрових потужностей, частими диверсійними пошкодженнями електромереж а та зношенням енергетичної інфраструктури багатьох населених пунктів за тривалий повномасштабних військових операцій агресора.

Перелічені вище проблеми у знаній мірі вдається подолати комплексний підходом, який полягає в осучасненні освітлювальних приладів і технологій керування світловими потоками, використанні відновлюваних джерел енергії для зменшення залежності від централізованого енергопостачання з одночасним підвищенням його надійності, а також впровадженням сучасних енергоощадних джерел світла з продовженим ресурсом їх експлуатації.

Найрадикальнішим методом приведення системи освітлення до належного стану є її повний демонтаж з реалізації нового проекту з комплектацією набором сучасних елементів, широко представлених на ринку світлотехніки. Але місцевим громадам з обмеженим бюджетом такі проекти важко реалізувати, тому доцільніше вдатися до заходів з поетапної заміни окремих елементів освітлювальної системи відповідно до загального проекту глибокої реконструкції. Відтак тема дипломного проекту відповідає актуальним проблемам забезпечення інфраструктурних об'єктів населених пунктів з врахуванням поточного стану вітчизняної енергосистеми. Її розкрито на прикладі технічного рішення для реконструкції системи освітлення вулиці у місті Калуш, прилеглої до військового меморіалу.

Розділ 1. ЗАСОБИ ВУЛИЧНОГО ОСВІТЛЕННЯ

1.1 Об'єкт проєктування та його актуальність

Генеральним планом розвитку інфраструктури м. Калуша передбачено оновлення мережі вуличного освітлення з морально і технічно застарілими та затратними в експлуатації освітлювальними приладами. Для прикладу освітлення вулиці о забезпечують енергоощадними, як на час останньої реконструкції, світильниками типу ЖКУ з газорозрядними лампами типу ДНАТ, встановленими на старих 18 дерев'яних опорах. На сьогоднішній день усе обладнання уже вичерпало свій ресурс, а світлотехнічні та економічні показники джерел світла не відповідають ще й сучасним архітектурним та естетичним поглядам на планування прилеглих до військового меморіалу територій.

Наведені вимоги найкраще задовольняють проекти реконструкції з використанням світлодіодних систем вуличного освітлення, однак занадто дорогих для їх фінансування місцевими бюджетами, обмежених військовим станом. Тому з економічної точки зору їх реальніше реалізувати по чергово і бажано за позабюджетні кошти – переважно інфраструктурні внески потенційних забудовників, спонсорські внески приватного капіталу та благодійних організацій тощо. У такому випадку проєкт повинен передбачити можливість його поетапної реалізації у декілька етапів, починаючи з найефективніших для зменшення поточних бюджетних витрат на зовнішнє освітлення. У першу чергу, наприклад, слід замінити газорозрядні лампи більш ефективними світлодіодними такої ж світловіддачі сумісними з монтажними показниками наявних світильників. Таким чином заощаджені кошти можна скерувати на реалізацію наступних етапів реконструкції. Відтак початковий варіант проєкт повинен містити актуальне для багатьох громад обґрунтування оптимального алгоритму його реалізації.

В Україні дотепер найбільш вживаними освітлювальними приладами систем вуличного освітлення є світильники типу РКУ і ЖКУ з комплектацією енергоощадними (як на час їх придбання) газорозрядними лампами. У першому застосовують дугові газорозрядні лампи типу ДРЛ, з маркуванням відповідним потужності ламп 125 і 250 Вт: РКУ-125 і РКУ-250 з лампами ДРЛ 125 і ДРЛ 250. Другий тип світильників ЖКУ обладнують натрієвими лампами високого тиску ДНаТ. Їх поділяють на два типи: ЖКУ-70, ЖКУ-100 з лампами ДНаТ 70 і ДНаТ 100, потужністю 70 і 100 Вт, відповідно. Їх продовжують експлуатувати з огляду на значно меншу вартість заміни ламп, порівняно з придбанням набагато дорожчих світлодіодних, зазвичай вмонтованих у світильник. Відтак доцільність реалізації проектів з підвищення ефективності діючих систем освітлення необхідно ще обґрунтовувати такими економічними критеріями, як доступність інвестицій, тривалість реалізації проекту, експлуатаційні витрати, термін окупності капіталовкладень, гарантіями їх повернення тощо.

Оптичні та енергетичні характеристики сучасних світлодіодних світильників переважно сумісні з існуючими газорозрядними. Тому в оптимальному випадку реконструкція зводиться до простої заміни світильників, що не вимагає великих затрат на заміну опор вуличних електромереж, які зберігають несучі властивості десятки років. Технічні характеристики усіх типів світильників вибирають з каталогів виробників, представлених на ринку світлотехнічної продукції або в Інтернеті. Там також часто пропонуються повнокомплектні комплектні засоби вуличного освітлення разом з засобами керування режимами їх роботи і діагностики поточного стану

1.2. Загальні вимоги до вуличного освітлення

До 95% інформації з зовнішнього світу людина одержує через органи зору, за умови доступних та комфортних умов сприйняття людиною параметрів світлового поля. Тому основне завдання штучного освітлення

полягає у створенні зручних умов для сприйняття світлової інформації для реалізації цілеспрямованих задач повсякденної діяльності. Системи вуличного освітлення, зокрема, призначені забезпечувати належний рівень освітленості проїжджої частини, тротуарів, перехресть, зупинок громадського транспорту, пішохідних переходів тощо. За належного утримання вони сприяють підвищенню безпеки дорожнього руху, зменшенню аварійності, безпечному пересування у темну пору доби, а також створення комфортних умов для проживання населення.

Рівень світлового комфорту оцінюють за якісними суб'єктивними та кількісними об'єктивними характеристиками: перші враховують особливості сприймання людиною світлових явищ, а другі – ґрунтуються на фізичних закономірностях та законах геометричної оптики. [1, 2]. На практиці вони узагальнені стандартами з освітлення та нормативними вимогами. Вимоги до якості вуличного освітлення в Україні регламентовані ДБН В.2.5-28-2006 "Природне і штучне освітлення". Вони обов'язкові для усіх організацій, що здійснюють діяльність в області будівництва і монтажу опор зовнішнього освітлення в міських і сільських поселеннях. Параметри освітлення вулиць, доріг і площ з регулярним транспортним рухом населених пунктах за вимогам СНІП 23-05-95, наведені у таблиці 1.1.

Табл. 1.1

Норми яскравості і освітленості дорожнього покриття

Категорія	Максимальна інтенсивність руху транспорту в обох напрямках, од/год	Середня яскравість покриття, кд/м ²	Середня освітленість покриття, лк
В	Вулиці і дороги місцевого значення		
	500 і більше	0,4	6
	Менше 500	0,3	4
	Поодинокі автомобілі	0,2	4

Рівень освітлення для доріг з асфальтобетонним покриттям нормується не величиною освітленості, а яскравості його поверхні у напрямі спостерігача,

що знаходиться вздовж осі руху транспорту. Бо мокрий асфальт має різко виражений дзеркальний характер відбивання, внаслідок чого величина освітленості не може характеризувати видимість.

Натомість у "Вказівках з проектування вуличного освітлення" (СН 278-64) регламентується ряд інших, дуже важливих світло і електротехнічних, а також експлуатаційних показників і даються відповідні рекомендації по їх реалізації. До них відносяться висота підвісу світильників та умовами обмеження засліпленої зони, економічні типи світильників і джерел світла, залежно від місця їх застосування, облаштування загальноміського, автоматичного управління освітленням та ін.

Освітлення вулиць і доріг з нормованою середньою яскравістю $0,4 \text{ кд/м}^2$ і вище або середньою освітленістю 4 лк і вище повинно виконуватися світильниками, що забезпечують широкий або напівширокий просторовий світлорозподіл [2, 3].

Освітлення алей, пішохідних доріжок, а також центральних входів в парки, сади, стадіони, лікарні, санаторії, пансіонати і будинки відпочинку рекомендовано виконувати світильниками розсіяного світла. Освітлення майданчиків масових ігор і майданчиків перед естрадами, атракціонами вимагається здійснювати світильниками широкого світлорозподілу [4, 5].

Зовнішнє освітлення вулиць, доріг і площ територій міст рекомендується виконувати світильниками, розташованими на спеціальних опорах висотою від 6 до 12 метрів. Норми освітленості поверхонь регламентуються державним документом: СНиП 23-05-2010 "Природне і штучне освітлення", які візуально ілюстровано на рисунку 1.1

Під час організації вуличного освітлення на автомобільних дорогах, тротуарах, прилеглих до автошляхів зонах, потрібно звертати увагу на наступні характеристики та норми :

- забезпечувати необхідну яскравість проїжджої частини, рівномірно розподіляти світло по частинах дороги та тротуару;

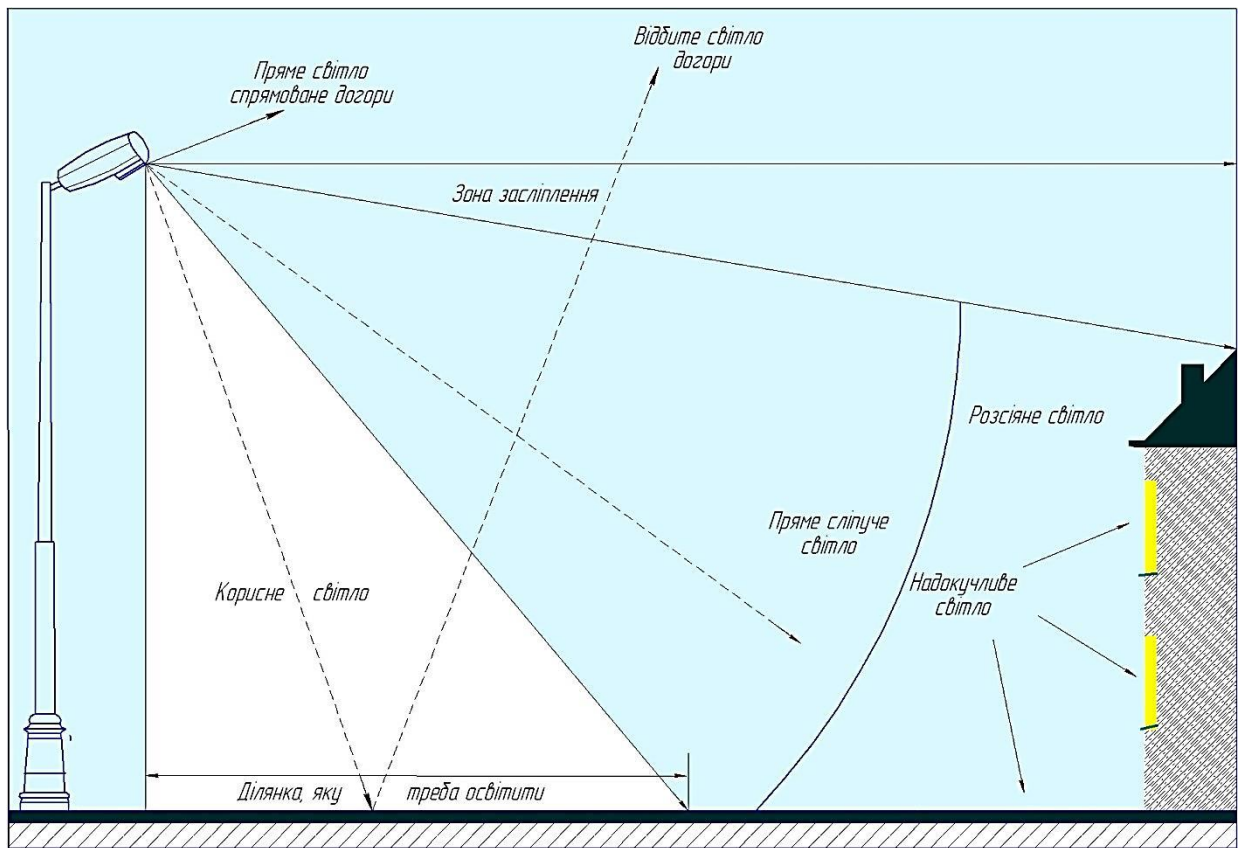


Рисунок 1.1 Зонування світлорозподілу вуличного світильника

- освітлення повинно виділяти зони підвищеної небезпеки дорожнього руху, наприклад на перехрестях, зупинках громадського транспорту, мостах і шляхопроводах, звуженнях тощо. Змінюючи в них кольоровість джерел світла, розміщення, висоту або конструкцію опор і світильників. На ділянках з пожевавленою інтенсивністю пішоходів, задля їхньої безпеки, потрібно збільшити яскравість освітлення в 1,5-2 рази з покращеною видимістю для водіїв. Одночасно у таких зонах потрібно забезпечити безперервність роботи освітлення;
- забезпечити відсутність дезорієнтації водіїв і пішоходів рекламними банерами, вітринами магазинів тощо;
- Забезпечити плавний перехід між освітлювальною частиною дороги і не освітлювальною. Довжина цієї зони змінюється від 50 до 250м, у залежності від яскравості.

Наведені вимоги до освітлення у проектах забезпечують вибором світлотехнічних засобів, їх просторовим розміщенням, схемними рішеннями, алгоритмів керування та графіками роботи тощо.

1.3 Сучасні та енергоощадні джерела світла і світильники

Кількісна оцінка освітленості у люксах ґрунтується на еритемній (вітальній) системі світлових величин, адаптованих до чутливості людського ока. У ній основною одиницею є сила світла I (luminous intensity) – фізична величина, що характеризує світіння джерела видимого світла у певному напрямі з розмірністю $\dim I_v = J$ та одиницю вимірювання канделу (кд, cd).

1 кд = 1 лм/ср (ср. скорочена назва одиниці просторового кута «стерадіан»)

В енергетичній системі світлових величин їй відповідає це потужність світлової енергії у розбіжному пучку світлових променів.

Енергетичну ефективність джерел світла оцінюють за їх світловіддачею, рівною відношенню спожитої потужності W у ватах до випроміненої у люменах.

Освітленість – це кількість світла, що падає на одиницю площі поверхні, позначається буквою E і вимірюється в люксах (лк). Один люкс дорівнює одному люмену на метр квадратний: (1 лк = 1лм/м²). Освітленість поверхні від точкового джерела прямо пропорційна добутку сили світла на косинус кута освітлення θ , обернено пропорційна квадрату віддалі і розраховується за формулою:

$$E = \frac{I}{d^2} \cos \theta \quad (1.1)$$

Вулиця освітлюється лампами, підвішеними на певній висоті h , співмірної з розмірами освітленої поверхні, тому її освітленість завжди нерівномірна і найбільша значення біля основи опори – перпендикуляра h , опущеного з лампи до освітленої поверхні (рис. 1).

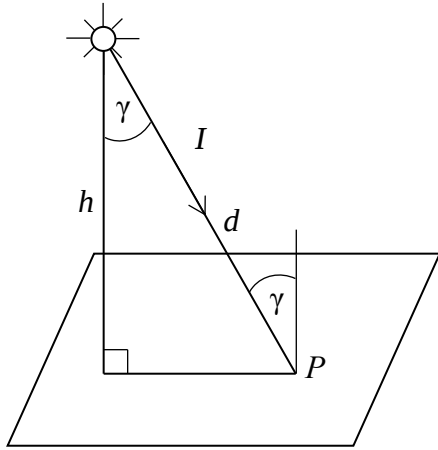


Рисунок 1.2 Ілюстрація до розрахунку освітленості горизонтальної поверхні

А з врахуванням очевидного співвідношення $h = d \cos \theta$, у довільній точці поверхні освітленість розподіляється пропорційно кубу кута падіння. Відтак у довільній точці P освітленість розраховується за такою формулою [5]:

$$E = \frac{I}{h^2} \cos^3 \theta \quad (1.2)$$

Газорозрядні лампи вуличного освітлення можна вважати точковими джерелами світла, які для формування рівномірного світлового потоку розміщують всередині світильників з відбиваючими внутрішніми поверхнями та прозорими з призматичними розсіювачами. Об'ємну фігуру навколо світильника, утворену точками однакої сили світла називають фотометричним тілом (рис. 1.3а), а лінії перетину його поверхні освітленою площиною – кривими сили світла (КСС) – рис. 1.3б [2, 4, 5].

Типові КСС джерелу світла наведені на рисунку 1.4. Вказані на діаграмах значення сили світла, як правило, стосуються ламп зі світловим потоком у 1000 лм, тому для інших ламп потрібно помножити або поділити наведені величини на новий номінальний потік. На рис. 1.5 наведено КСС вітчизняного вуличного світильника для газорозрядної лампи.

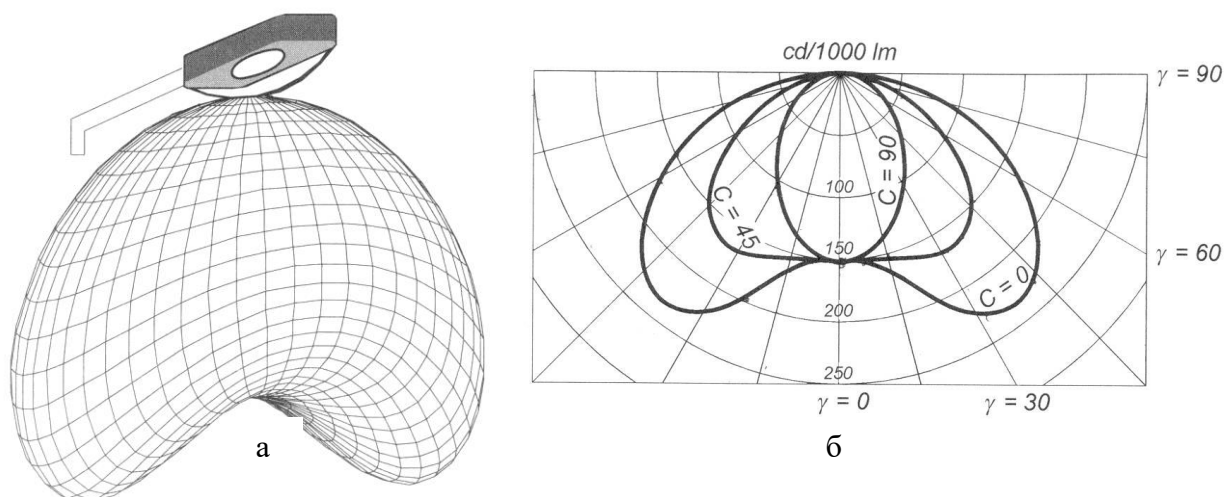


Рис. 1.3. Фотометричне тіло вуличного світильника з газорозрядною лампою (а) та його КСС (б) [5]

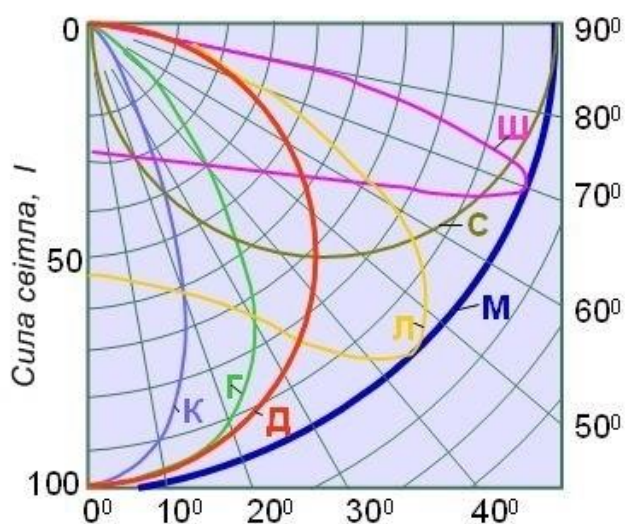


Рисунок 1.4 Діаграми кривих сили світла (КСС), побудованих у відносних одиницях

Таблиця 1.2. Класи і параметри КСС світильників

Клас розподілу світлового потоку	Назва КСС	Кутові обмеження світлового потоку*
К	Концентрована	$0 - 15^\circ$
Г	Глибока	$180-150^\circ; 0-30^\circ$
Д	Косинусна	$180-145^\circ; 0-35^\circ$
Л	Напівширока	$145-125^\circ; 35-55^\circ$

Ш	Широка	55-85°; 125-95°
М	Рівномірна	0-180°
С	Синусна	110-90°; 70-90°
*кути розподілу світлового потоку в поздовжній і поперечній площинах		

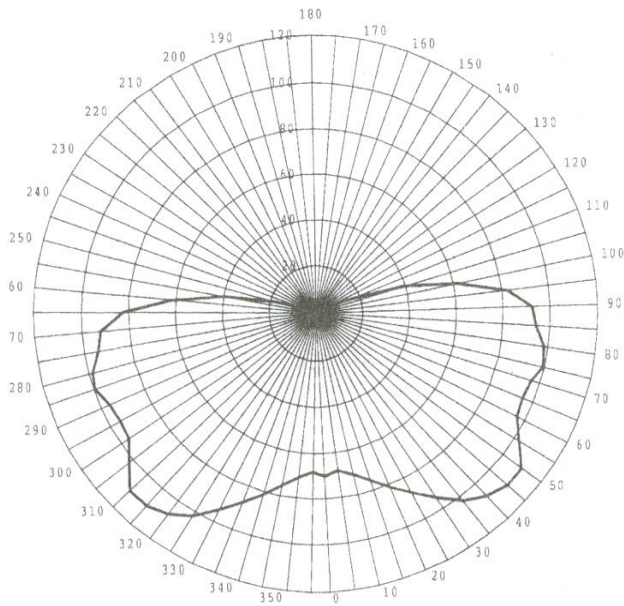


Рис. 1.5
КСС світильника типу
ЖКУ виробництва корпорації
«ВАТРА»

Коефіцієнтом корисної дії світильника називають відношення світлового потоку на його виході до світлового потоку встановленої у ньому лампи. К. к. д. складається з двох частин: верхньої напівсфери простору (ULOR) та к.к.д. нижньої напівсфери простору (DLOR) [5]. DLOR оцінюють відношенням спрямованого донизу світлового потоку Φ_0 до всього світлового потоку, випромінюваного лампою:

$$DLOR = \Phi_0 / \Phi \quad (3.1)$$

Підвищення DLOR досягається відбивачами, що контролюють напрямки світла. Світильники поділяють на класи за їх світлорозподілом у залежності від світлового потоку, випромінюваного світильником у верхню напівсферу, до загального потоку (рис.1.5).

Сучасні енергоощадні вуличні світильники складають окремих світлодіодів вмонтованих в індивідуальні відбивачі ніші плоскої матриці. Світлодіоди мають косинусний світлорозподіл типу Д з кутом розкриття світлового потоку понад 120° , тому рівномірну освітленість дорожнього полотна забезпечують індивідуальною орієнтацією матричних фотодіодів.

Ступінь захисту світильника від погодних впливів, згідно з міжнародною системою класифікації «IP», визначається двома цифрами: перша з них характеризує ступінь захисту від проникнення пилових частинок, а друга – води. Чим більша цифра, тим кращий захист.

Як правило, для вуличних світильників необхідний рівень захисту IP56, який означає лише частковий захист від пилу та струменів води під тиском і довільним кутом падіння. Однак на сьогодні світильники з вмонтованою чутливою електронікою вимагають повного захисту IP66 від проникнення пилу [3].

При реконструкції системи освітлення без зміни опор, нові світильники обирають за відповідністю їх характеристик світлорозподілу – кривими сили світла. Якщо наявні залізобетонні опори знаходяться у задовільному стані то заміну старих світильників новими можна виконувати у кілька етапів у міру надходження коштів та їх фізичного зносу.

Енергоощадні технології у вуличному освітленні не обмежуються тільки використанням світлодіодних ламп з високою світловіддачею. На практиці впроваджують керуванням рівнем освітленості відповідно добовим ритмам транспорту чи активності пішоходів. Системи регулювання (редукції,) світлового потоку ґрунтуються на залежності світловіддачі фотодіодів від параметрів струму живлення, а відповідні пристрої керування називають димерами.

Розділ 2 ЖИВЛЕННЯ ВУЛИЧНИХ СВІТИЛЬНИКІВ

2.1 Енергетика світлодіодів і LED- світильників

Світлодіод або світло випромінюючий діод – це напівпровідниковий прилад з p - n переходом або контактний метал-напівпровідник, який при пропусканні електричного струму генерує оптичне випромінювання. Світло генерується при рекомбінації активованих струмом електронів і дірок в області p - n переходу. Конструктивно світлодіод виконують у вигляді невеликих, зазвичай 5-мм кристалів з двома виводами – анодом і металевим катодом, який одночасно виконує функцію відбивача.

Світлодіодні лампи тепер визнані найперспективнішими джерелами світла для систем зовнішнього освітлення через високу світловіддачу, великою яскравістю при невеликій споживаній потужності, високій надійності роботи завдяки стійкості до механічних і кліматичних впливів, а також сумісності з інтегральними схемами пристроїв керування. Завдяки малим розмірам випромінюючої поверхні їх світло легко концентрувати за допомогою дзеркальних відбивачів та формувати світлові потоки потрібної направленості. Тому освітлювальні Led-лампи переважно виготовляють разом з відбивачами-концентраторами. Параметри концентрації та кут розходження змінюються у широких межах.

Параметри живлення одного світлодіоду визначається його навантажувальною вольт-амперною характеристикою, наведеною на рис 2.2.



Рисунок 2.2. Навантажувальна ВАХ світлодіоду

Світлодіод починає випромінювати починаючи з напруги 2,7 В, а за перевищення так званої порогової напруги (понад 3 В), струм через діод швидко зростає до небезпечного рівня, який найпростішому випадку обмежують послідовно ввімкненим резистором.

Вуличні світлодіодні світильники зазвичай розраховані на живлення від мережі змінного струму напругою 220 В через вмонтовані проміжні схеми перетворення параметрів струму і напруги. Всередині матриці живлення світлодіодів найчастіше відповідає змішаній схемі, наведеній на рис. 2.3 з сумарним струмом

$$I = N \frac{U_{\text{живл}} - nU_{\text{led}}}{R} \quad (2.1)$$

Де: N – число віток; n – кількість діодів одної вітки; U_{led} – спад напруги на діоді і R – баластний опір.

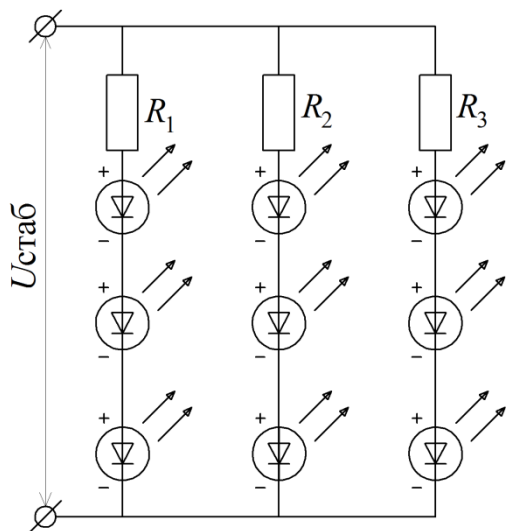


Рисунок 2.3 Змішана схема живлення світлодіодів матричного світильника

Для зменшення омичних втрат обмежувальний резистор замінюють стабілізаторами (драйверами), зібраними на мікросхемах типу KP142EH12A. Недоліком лінійних стабілізаторів є невисокий к.к.д., значні розміри, втрати на нагрівання при стабілізації великих струмів. Тому перспективнішими вважають імпульсні перетворювачі та стабілізатори, які разом зі світлодіодом утворюють єдиний модуль.

Вуличні світильники живлять від мережі змінного струму з попереднім випрямленням та наступним генеруванням імпульсних струмів підвищеної частоти (див. рис. 2.4). Їх часову розгортку характеризують співвідношенням ширини імпульсів t_i та пауз t_{π} послідовності пульсацій з періодом $T = t_i + t_{\pi}$.

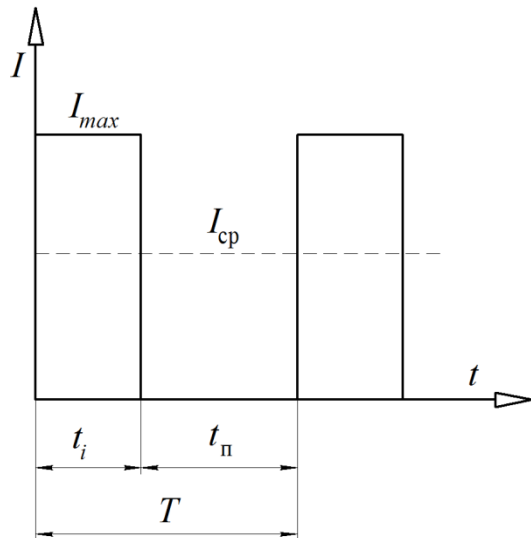


Рисунок 2.4. Часова діаграма імпульсного джерела живлення світлодіодних ламп:

t_i – тривалість імпульсу і t_{π} – паузи $T = t_i + t_{\pi}$ – період пульсацій

Середнє та максимальне значення імпульсного струму розраховують за такими формулами відповідно :

$$I_{max} = I_{cp} \frac{t_i}{t_i + t_{\pi}} \quad (2.1)$$

$$I_{max} = I_{ном} \frac{t_i}{t_i + t_{\pi}} \quad (2.1)$$

Ефективність світлодіодів оцінюють за їх світловіддачею у лм/Вт, чисельно рівною відношенню вихідної світлової потужності у люменах до вхідної електричної у ватах. Цей показник різко погіршується з температурою світлодіодів, тому їх монтують на радіаторах та ізолюють від блоків живлення. Виносні блоки називають драйверами а внутрішні, вмонтовані у світильник – драйверами.

Як відомо джерелом, джерелами струму називають генератори, у яких величина струму не залежить від опору навантаження. Натомість джерелом напруги називають модуль, напруга на виході якого не змінюється при зміні вихідного струму. Відтак на практиці під блоком живлення частіше мають на увазі саме джерело напруги, а під драйвером

– джерело струму. Для світлодіодних елементів різного призначення пріоритет віддається тій чи іншій величині, тому й говорять, що стрічки, наприклад, підключають через блоки живлення, а всередині ламп встановлюють драйвери. Вуличні Led-світильники з потрібними просторовим розподілом зазвичай складають у матриці з кількох, найчастіше понад десяток, світлодіодів. Відтак реконструкція вуличного освітлення у найпростішому випадку зводиться до простої заміни старих світильників новими світлодіодними з близькими характеристиками.

2.2 Енергетика сонячних елементів і панелей

Сонячні елементи використовують протилежне світлодіодним лампам явище – розділенню зарядів у p - n переході між контактуючими поверхнями двох напівпровідників з різною концентрацією носіїв. При замиканні протилежних поверхонь через опір навантаження протікає фотострум. Ефективність сонячних елементів та складених з них сонячних панелей оцінюють за експериментальними вольт-амперними (ВАХ) $P(I)$ та навантажувальними $P(U)$ характеристиками – див. рис. 2.5.

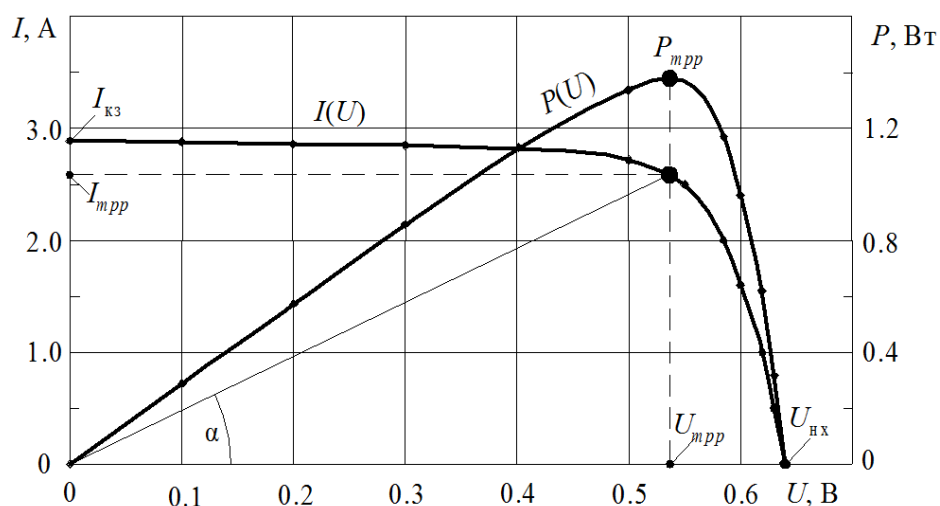


Рисунок 2.5 – Навантажувальні характеристики сонячного елемента

Точці P_{mpp} кривої $P(U)$ відповідають координати струму I_{mpp} та напруги U_{mpp} ВАХ, а двом крайнім – режими короткого замикання з максимальним значенням струму $I_{kz} = I_n(max)$ і близькою до нуля напругою $U_n = \rightarrow 0$ та

холостого ходу при розімкненому колі навантаження, коли $U_{xx} = U_H (max)$ та $I_H = 0$. Обидві характеристики змінюються з освітленістю чутливої поверхні і температурою $p-n$ переходу, тому їх графіки будують за результатами вимірювання струму і напруги на клеммах змінного резистивного опору навантаження R_H [6]. Додатково вимірюють значення струму короткого замикання $I_{кз}$, напруги холостого ходу U_{xx} (неробочого $U_{нх}$) і максимальної потужності P_{mpp} . Загальний вигляд та окремі параметри навантажувальних характеристик змінюються протягом дня, як схематично показано на рисунку. 2.6.

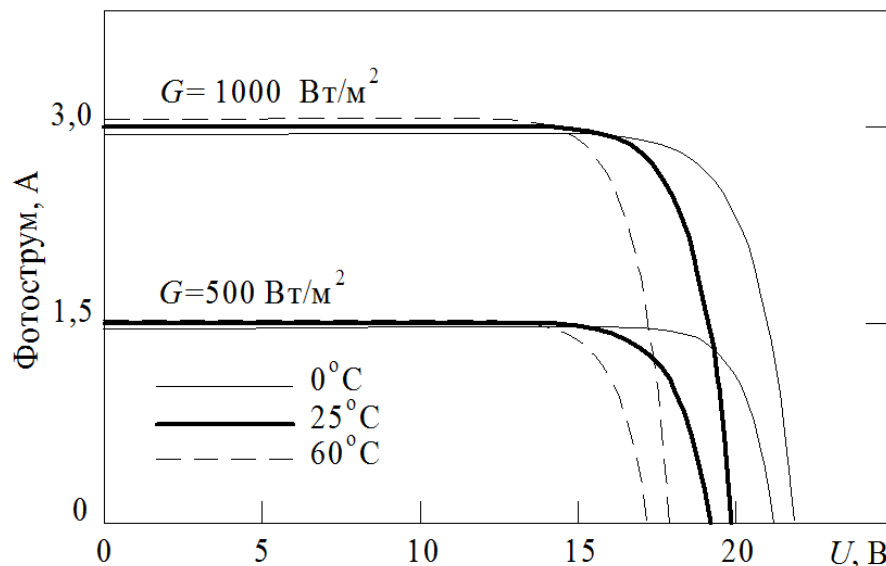


Рисунок 2.6 – Типові зміни ВАХ фотомодуля з освітленістю і температурою

Струми короткого замикання зазвичай вважають незалежними від температури та пропорційнимб освітленості поверхні. Тоді як напругу холостого ходу навпаки – незалежною від світлового потоку і пропорційною зміні температури сонячних елементів чи панелей. Температурні коефіцієнти зміни цих параметрів тепер наводять супровідній технічній документації фотоелектричних панелей (модулів).

Якість сонячної панелі найперше оцінюють за її коефіцієнтом корисної дії η . Чисельно він рівний відношенню енергетичної освітленості поверхні фотомодуля до вихідної електричної потужності у режимі точки P_{mpp}

навантажувальної вольт-ватної характеристики. Значення к.к.д. фотомодуля при регламентованих стандартом *STC* режимах інсоляції – освітленості поверхні у 1000 В/м^2 і температурі сонячних елементів 25°C – наводять у паспорті приладу. Практичні розрахунки виконують з використанням енергетичних характеристик сонячних панелей у типових умовах їх експлуатації, регламентованих стандартом *NOCT* при освітленості фотомодуля у 800 Вт/м^2 , температурі довкілля 20°C та швидкості вітру 1 м/с на метеорологічній висоті 10 м .

Протягом дня постійно змінюються незалежні вхідні енергетичні величини освітленість і температура сонячних панелей: перша у відповідності з координатами Сонця на небосхилі, а друга – відповідно температурі довкілля та умов тепловідводу від нагрітих фотомодулів. Завдяки стандартизованим параметрами фотомодуля оцінку його поточної потужності та годинної експозиції при ясному небі можна виконати шляхом моделювання параметрів інсоляції нахиленої поверхні. У випадку середньої хмарності використовують середньоденні експозиції поверхні, нахиленої під сталим кутом до площини горизонту, які наведені в доступних базах даних актинометричних величин, наприклад [7, 8].

Такі оцінки передують проектуванню фотоелектричної системи автономного електропостачання для обґрунтування енергетичних характеристик обладнання, прогнозування об'ємів фотоелектричної генерації та її раціонального використання відносно дорогої фотоелектрики. У випадку вуличного освітлення потрібно ще розрахувати його добову тривалість, та загальну потужність електроламп у номінальних режимах їх навантаження, а також і можливі втрати на керування режимами їх роботи

2.3 Фотоелектричні установки та системи

Найпростіша фотоелектрична установка електропостачання складається сонячних панелей, закріпленої на відкритому до Сонця підвищенні, найчастіше даху будинку, під оптимальним кутом нахилу до

площини горизонту. Сумарну площу фотопанелей розраховують відповідно середньоденному споживанню електроенергії з врахуванням об'єму її акумуляування на випадок негоди упродовж принаймні наступної доби. Оціночні розрахунки зазвичай виконують за відомими значеннями вхідних інсоляційних величин, наведених в актинометричних базах даних [7] або довідниках з метеорології [8]. Структура фотоелектричних установок зазвичай відповідає одному з двох варіантів схем комутації силових елементів, наведеної на рис. 2. 7 [9].

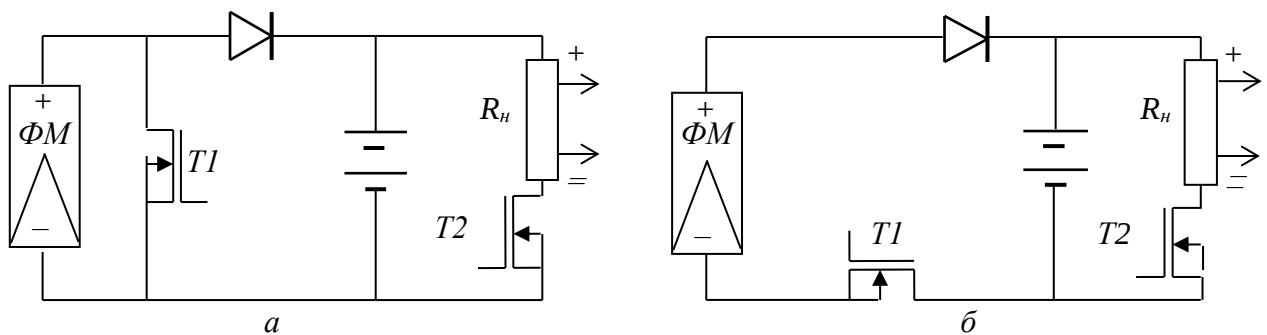


Рисунок 2.7. Варіанти комутації силових елементів ФЕУ за розташуванням фотомодуля і силового транзистора Т1: а) – паралельний (шунтовий); б) послідовний (серієсний).

У шунтовій схемі комутації транзистор Т1 закорочує фотомодуль для запобігання пошкодженню акумулятора від перенапруги. Такий режим навантаження безпечний як для фотомодуля, так і потужного енергетичного транзистора. Натомість транзистор Т2 відкривається для використання накопиченої енергії за досягнення номінальної напруги на клеммах акумулятора або за потреби – дозвільним сигналом зовнішнього пульту керування. За шунтовою схемою зазвичай складають фотоелектричні системи автономного освітлення, аварійного електропостачання та інших разових потреб.

У серієсній схемі комутації процеси заряджання і споживання фотоелектрики можна суміщати, тому за такою схемою переважно комутують фотоенергетичні установки з неперервного відбору максимальної

потужності фотомодуля P_{mpp} регуляторами (трекерами). В обох типах комутації дозвіл на використання фотоелектрики видає електрична схема через транзистор Т2, яка живиться безпосередньо від акумулятора. Так само як і сигнал обмеження струму навантаження або його блокування у випадку зменшення напруги на акумуляторі нижче допустимого рівня. Відтак проектуванню фотоелектричної установки завжди передують врахування потужності навантаження та складання графіку її споживання.

У схему комутації вводять діод для запобігання розрядці акумулятора через фотомодуль за відсутності інсоляції вночі або у негоду. Функції керування режимами роботи акумулятора протягом доби зазвичай виконує окремий пристрій – контролер заряду. Сучасні контролери не тільки керують роботою обох силових транзисторів, а й оптимізують роботу фотомодулів у режимі генерації максимальної потужності і водночас мінімізують втрати фотоструму вздовж ланцюжка її перетворень до кінцевого споживача. На схемах комутації контролер заряду зазвичай позначають окремим блоком.

У сучасних фотоелектричних установках фотомодуль разом з акумулятором найчастіше навантажують на інвертор для оптимізації режиму генерації живлення споживачів змінного струму. Енергетична ефективність такого перетворення залежить від способу перетворення, співвідношення напруг, форми синусоїди і потужності інвертора.

Замовниками проектів фотоелектричних установок живлення вуличного освітлення виступають органи місцевого самоврядування з обмеженим бюджетом. Тому їх проектуванню завжди передують оцінка економічної та суспільної доцільності з перспективами швидкої окупності. Найперше віддають перевагу енергоощадним світлодіодним джерелам світла, а кількість сонячних панелей визначають відповідно тривалості роботи системи освітлення в автономному режимі протягом зимової доби. На випадок тривалої негоди залишають можливість перемикання на мережеву лінію живлення, що зменшує початкові витрати на придбання акумулятора

великої ємності. Відтак наведена на рис. 2.8 структура функціонально подібна пристрою безперебійного живлення ламп вуличного освітлення.

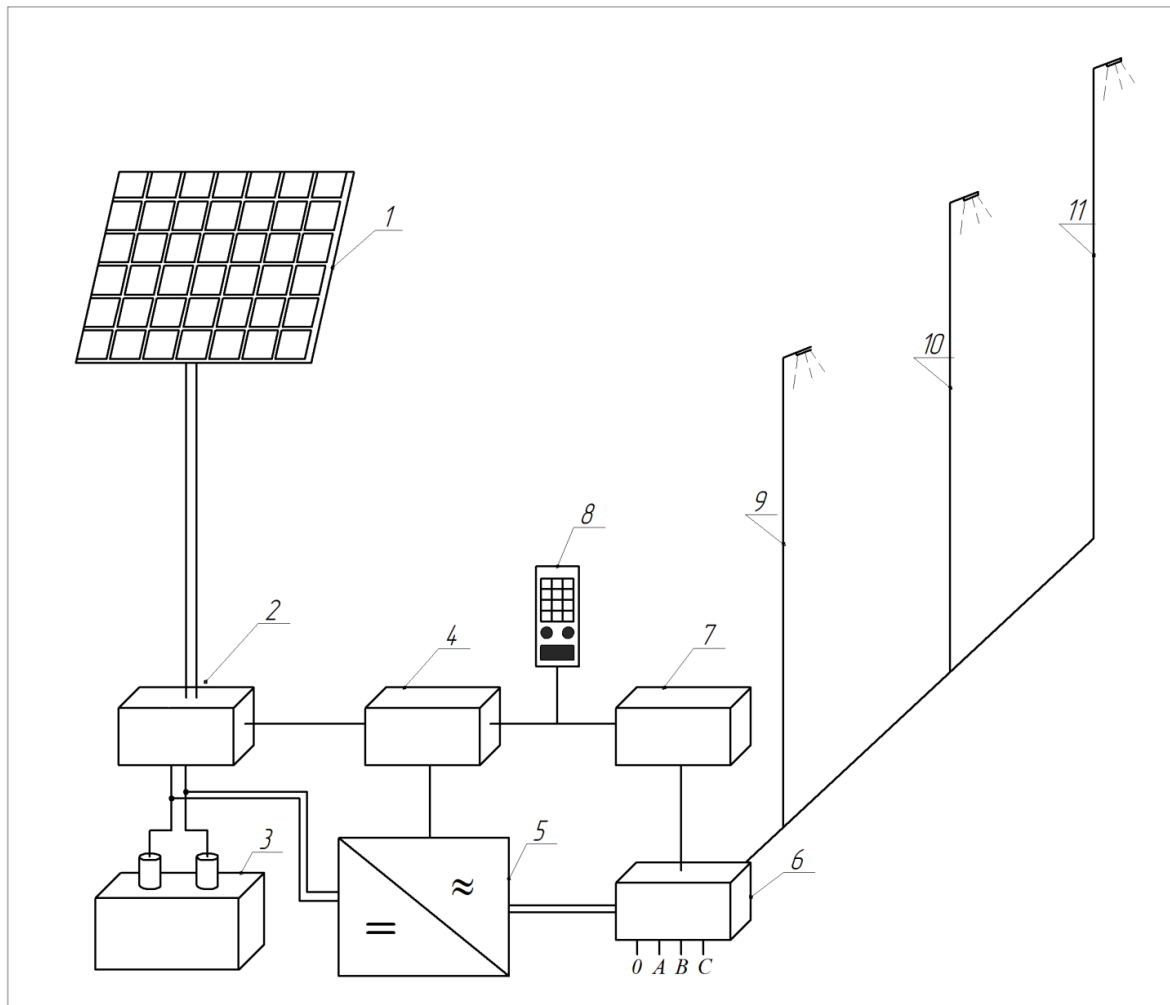


Рисунок 2.8 Варіант структури вуличного освітлення з гібридним живленням від сонячних панелей та мережі: 1 – фотомодуль; 2 – контролер заряду; 3– акумулятор; 4 – блок дистанційного вмикання; 5 – інвертор DC/AC; 6 – контактори вводу живлення світильників; 7 – блок комутації та налаштування; 8, 9, 10– опори світильників; 11 – диспетчерський зв’язок

Таким чином на першому етапі реконструкції основні затрати зводяться до придбання мережових Led-світильників, сонячних панелей, зарядного пристрою, акумулятора, інвертора DC/AC 12/220. Термін окупності такої установки безпосередньо оцінюють за вартістю заощадженої енергії. Тоді як суспільна вигода значно більша внаслідок зменшенні пікових навантажень на мережу та підвищення надійності електропостачання об’єктів вуличної інфраструктури, особливо актуального для воєнного часу.

Розділ 3 КОМПЛЕКТАЦІЯ ФОТОЕЛЕКТРИЧНОЇ УСТАНОВКИ

3.1 Взаємозаміна світильників

Світлодіодний світильник ТМ «Maxus assistance» (LED-світильник вуличний консольний Maxus assistance Street Basic 30W 850 GR (MAST-BSC-030-GR)" [10] створений з урахуванням усіх вимог та стандартів вуличного освітлення. Може бути повноцінною заміною стандартних вуличних світильників ЖКП під лампу ДНАТ 50W та під лампу ДРЛ 85W. Змінний діаметр хомута кріплення значно полегшує монтаж світильника. Діаметр посадкової труби – 50 мм без додаткових пристроїв.



Рисунок 2 .9 LED світильник вуличний консольний Maxus assistance Street Basic 30W 850 GR (MAST-BSC-030-GR)

При висоті підвісу 5,5 м та віддалі між опорами у 25 м, світлові поля між ними будуть частково перекриватися на $\pm 2,5$ м від середньої лінії з відповідним вирівнюванням освітленості.

Таблиця 3.1

Порівняння технічних характеристик ламп

Параметр	ДнАТ 50 Вт, Е27 «Іскра»	Led ТМ «Maxus assistance»
Потужність	50	30 Вт
Колірна температура	Природне біле світло	5000 К
Світловий потік	3600	3300 Лм
Енергоефективність	72 Лм/Вт	110 Лм/Вт
Індекс перед. кольору, Ra	> 80	> 80
Кут світлорозподілу	(світильника)	140°
Коефіцієнт потужності	не вказується	0,9
Матеріал корпусу	(лампи) Скло	Алюміній
Розміри	D/L (мм): 38	316 130 x 53 мм ø 50 мм (труба)
Напруга живлення	220...240	85-265 В
Ступінь захисту	IP65	IP65
Температурний режим	-40 +40 °С	-40 +40 °С
Термін служби, год	Від 10 000	25000 г.
Вартість, грн	(лампи) 191	(Світильн.), 882

3.1 Розробка схеми комутації джерел живлення

Установки освітлення з фотоелектричним живленням працюють у циклічному режимі денного акумуляування генерованої фотоелектрики та нічного розряджання. Його основними недоліками є залежність від сезонних змін тривалості сонячного сяйва, протилежних тривалості вуличного освітлення, та залежного від випадкових змін погоди. Надійність таких установок автономного енергопостачання зазвичай частково підвищують

збільшенням площі фотомодулів та ємності акумулятора, що економічно недоцільно. Бо у періоди стійкої сонячної погоди виникає проблема раціонального використання енергії надмірної генерації, що у свою чергу, потребує більших потужностей усіх пристроїв з перетворення фотоелектрики розширеному колу її споживачів, невибагливих до графіку її надходження.

Проблему епізодичного дефіциту фотоелектрики у системах вуличного освітлення доцільніше розв'язати вмиканням резервного живлення від існуючих електромереж. Відтак на першому етапі реконструкції доцільно обмежитись тільки демонтажем застарілих світильників і збереження чотири провідної ЛЕП їх живлення. Інші етапи реконструкції виконують для Підвищення ефективності нового обладнання та задля розширення кола споживачів фотоелектрики.

У точках приєднання резервного живлення потрібно встановити комутуючі пристрої, які спрацювують автоматично за сигналами контролера про небезпечне зменшення напруги акумулятора або пристрою програмованого реле з організації графіків та режимів освітлення протягом доби. Перемикання джерел живлення з мережевого трифазного на автономне від однофазного інвертора і навпаки виконують комутаторо вводу живлення за схемою, наведеною на. рис.3.1.

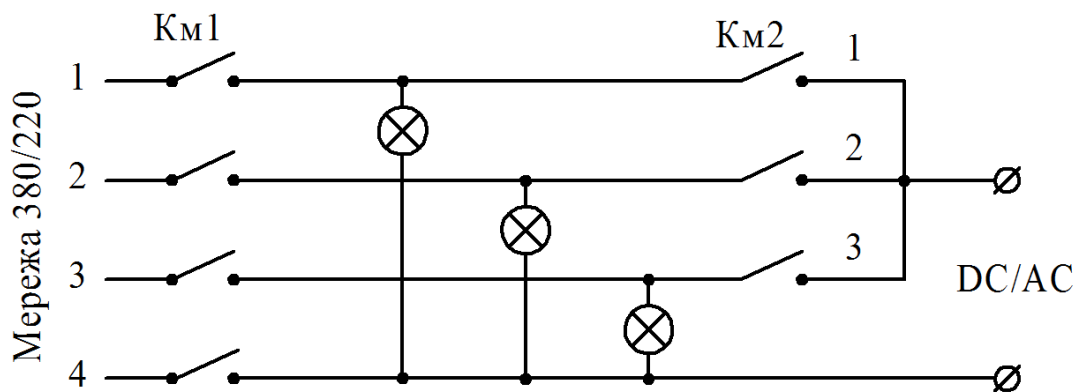


Рисунок 3.1. Схема перемикачання живлення Led-ламп з трифазної мережі на однофазне від інвертора DC/AC

Живлення Led-ламп зк цією схемою не вимагає збільшення перерізу провідників бо потужність їх менша на 40%.

Для реконструкції доцільно обрати тупиковий кінець наявної трифазної ЛЕП системи освітлення та змонтувати два розмикачі – трифазної мережі з боку генератора і однофазного від інвертора. Їх комутацію виконують контактори за сигналами диспетчера або програмованого таймера через Wifi модуль комутації ключів. Ручний варіант відповідної схеми перемикачів наведений рис. 3.2, який зручно використовувати під час налагоджувальних та сервісних операцій.

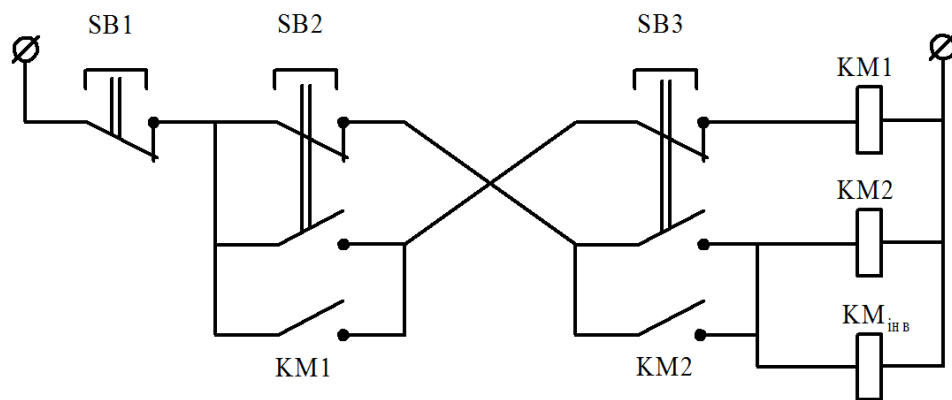


Рисунок 3.2 Схема ручного перемикачів джерел живлення світильників:

SB – вимикач кнопковий; KM1, KM2 – котушки контактора перемикача;

KM_{інв} котушка пускача інвертора; N, L – клеми ≈ 220 В

Наведений на рис. 3.2 варіант комутації відповідає денній відсутності напруги у трифазній мережі вуличного освітлення. Після її появи кнопкою SB3 вмикають інвертор, заживлюють від нього котушку KM2 контролера перемикача у стан автономної роботи від акумулятора. Такий режим живлення припиняється короточасним ручним вимиканням контакту SB2 з одночасним внаслідок заживлення котушки KM1 і контакту KM1 входу у трифазну мережу. За потреби його можна перервати кнопкою SB1, а у випадку дочасного знеструмлення трифазної мережі – відновити кнопкою SB3 у режимі автономного живлення.

3.2. Енергетичний баланс системи вуличного освітлення з використанням сонячних панелей

Основні енергетичні характеристики системи вуличного освітлення визначають за числом світлоточок, їх сумарною поточною потужністю P та графіком навантаження протягом доби. За умови використання уже існуючої енергетичної інфраструктури, кількість світлоточок реконструйованої тупикової ділянки рівна числу опор $N=12$. Старі світильники типу ЖКУ під газорозрядні лампи потужністю 100 Вт пропонується замінити світлодіодними потужністю споживання $P_d=30$ Вт з сумарною потужністю споживання

$$P_{oc} = N \times P_d = 30 \times 12 = 360 \text{ Вт} \quad (3.1)$$

З врахуванням коефіцієнта корисної дії інвертора η_i , на його вхід потрібно подавати потужність P_i , не меншу за

$$P_i \geq \eta_i N P_d = 360 / 0,95 = 379 \text{ Вт} \quad (3.2)$$

В атономному режим живлення інвертора забезпечує тільки акумулятор. Його енергетичну ефективність (к.к.д.) оцінюють за відношення зарядів або енергій на його виході до відповідних показників на вході:

$$\eta_w = \frac{W_p}{W_z} \quad (3.3)$$

К.к.д. акумулятора, у свою чергу, залежить від типу, режимів його роботи, якості контролера заряду, інтенсивності природного саморозряду тощо. На практиці цей показник насамперед залежить від якості контролера заряду.

Зарядну та розрядну ємність акумулятора оцінюють в А·год, тоді як годинну продуктивність фотомодуля у Вт·год. Відповідний перерахунок виконують через номінальну напругу U_n та ємність акумулятора C_n за формулою

$$W = C_n \times U_n \quad (3.3)$$

Поточну ємність акумулятора зазвичай оцінюють за напругою на його клеммах, яку відстежує контролер заряду фотоенергетичної установки та видає сигнали коерування зарядно-розрядними процесами. Від їх режимів

насамперед залежить ефективність відбору генерованої фотомодулем енергії, коефіцієнт корисної дії акумулятора та кількість зарядно-розрядних циклів до нормативного рівня зменшення його ємності $0,8C_n$. З метою оптимізації цих показників зарядно розрядні струми в амперах прийнято підтримувати у межах від 0,05 до 0,1 значення номінальної ємності акумулятора $I_3 \approx I_p \approx (0,05 \dots 0,1)C_n$.

Сучасні фотоелектричні установки зазвичай комплектують інверторами DC/AC 12/220 з вихідним синусоїдним струмом при ефективності (к.к.д) інвертора $\eta_{\text{інв}} \approx 0,95$, відтак

$$P_{\text{ламп}} = 30 \times 12 / 0,95 \approx 380 \text{ Вт.}$$

А з врахуванням ефективності контролера заряду, для підтримки потужності споживання на цьому рівні з виходу 12 вольтного акумулятора потрібно знімати потужність

$$P_A \geq P_{\text{ламп}} / 0,95 = 380 / 0,95 \approx 400 \text{ Вт} \quad (3.4)$$

Такий потужності відповідає розрядний струм i_p в амперах від 12 вольтного акумулятора з розрядною ємністю ΔC_n в для живлення світильників протягом години:

$$i_p = C_p = 400 / 12 = 33,3 \text{ (А; А·год)}. \quad (3.5)$$

За допустимої зміни ємності акумулятора на $\Delta C_n \leq 0,5C_n$ протягом часу освітлення $\tau_{\text{ос}}$ потрібно придбати акумулятор вдвічі більшої ємності:

$$C_n \geq 33,3 \times 2 \times \tau_{\text{ос}} = 66,6 \times \tau_{\text{ос}} \text{ А·год.}$$

Вуличне освітлення зазвичай вмикають після заходу Сонця і вимикають ще до його сходу наступного дня, а його тривалість приймають на годину меншою за різницю між тривалістю доби та світлої частини дня $\tau_{\text{ос}}$. Для кожної доби її розраховують за різницею моментів заходу і сходу Сонця

$$\tau_{\text{ос}} = 24 - (\tau_{\text{зх}} - \tau_{\text{сх}}) - 1 \quad (3.6)$$

Моменти $\tau_{\text{зх}}$ і $\tau_{\text{сх}}$ рівні відносно полудня і розраховуються за формулою:

$$\tau_{\text{зх}} = -\tau_{\text{сх}} = \frac{1}{\omega} \arccos(-\text{tg}\varphi \cdot \text{tg}\delta), \quad (3.7)$$

де: φ – географічна широта населеного пункту; δ – сонячне схилення, яке станом на порядковий номер n дня у році розраховують за формулою Купера

$$\delta = \delta_0 \sin \frac{284 + n}{365} 360, \text{ град.} \quad (3.8)$$

Сонячне схилення зазвичай визначають в умовно середні дні місяця, для яких параметри інсоляції відповідають середньомісячним значенням [11]. Результати розрахунку середньої тривалості вуличного освітлення для широти м. Калуша $49,3^\circ$ наведені у таблиці 3.2, а їх графічна ілюстрація на рис. Найкоротшого зимового дня на широті 50° не перевищує 15 год а найдовшого влітку – 7 годин. Додатково розраховано тривалість у режимі освітлення до 23:00.

Таблиця 3.2

Часові та енергетичні параметри систем вуличного освітлення
для ДНаТ 50 Вт і Led 30 Вт

Тривалість освітлення та спожита енергія										Режим до 23:00	
Міс.	К-сть днів	T_d	T_m	W_d (грл)	W_m (грл)	W_d (led)	W_m (led)	ΔW_m	$\Sigma \Delta W_m$	ΔT_d led	$W_m(\Delta T)$ led
		год.		кВт·год						год	кВт·год
1	31	14,6	453	8,8	273	5,3	164,3	108,5	108,5	5,8	16,4
	28	13,2	370	7,9	221	4,8	134,4	86,8	195,3	5,1	51,5
3	31	11,4	355	6,9	214	4,1	127,1	86,8	282,1	4,2	46,4
4	30	9,51	285	5,7	171	3,4	102	69	351,1	3,2	34,7
5	31	7,8	244	4,7	146	2,8	86,8	58,9	410	2,4	26,7
6	30	6,96	209	4,2	126	2,5	75	51	461	2,0	21,6
7	31	7,33	227	4,4	136	2,6	80,6	55,8	516,8	2,2	23,9
8	31	8,77	272	5,3	164	3,2	99,2	65,1	581,9	2,8	32,2
9	30	10,65	320	6,4	192	3,8	114,0	78	659,9	3,7	40,0
10	31	12,52	388	7,5	233	4,5	139,5	93	752,9	4,7	52,2
11	30	14,2	426	8,5	255	5,1	153,0	102	854,9	5,5	59,7
12	31	15,05	467	9,0	279	5,4	167,4	111,6	966,5	6,0	66,6
Рік	365		4015		2410		1443,3	966,5	966,5		521,3

За максимальної і мінімальної тривалості тільки вечірнього вуличного освітлення фотоелектричну установку потрібно би укомплектувати акумулятором номінальної ємності C_n :

$$\text{взимку } C_n \geq 66,8 \times 6,0 \approx 400 \text{ А} \cdot \text{год};$$

влітку $C_n \geq 21,6 \times 2,0 \approx 42,2 \text{ А} \cdot \text{год}$

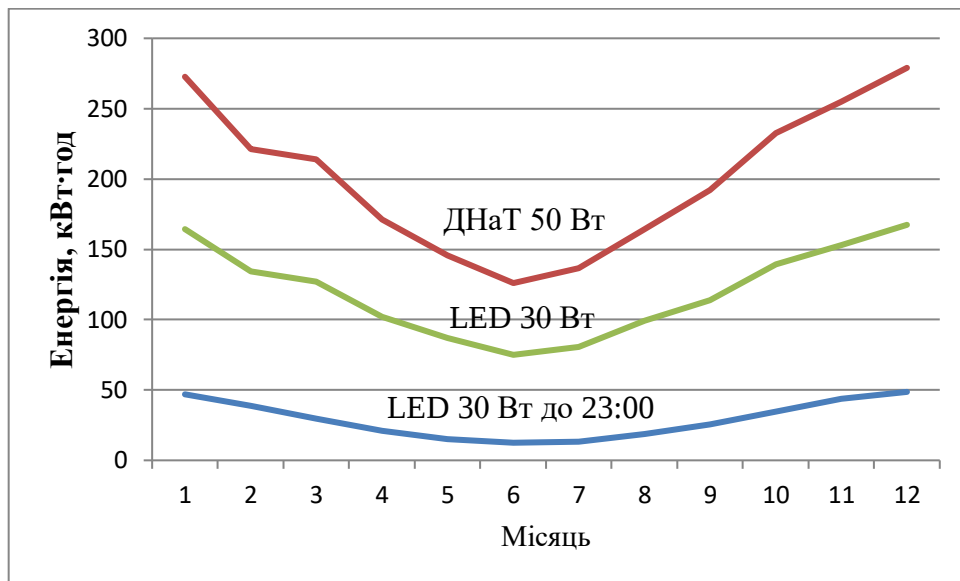


Рисунок 3.3 Помісячна потреба в електроенергії

Проміжне акумулювання енергії фотомодуля завжди супроводжується її втратами, залежними від типу акумулятора, контролера, схеми їх комутації та режимів зарядно-розрядного процесу. Зазвичай їх оцінюють на рівні $\eta_A \approx 10 \dots 15\%$. Відтак номінальну ємність акумулятора потрібно збільшити до

$$C_n \times \eta_A = 386 / 0,9 = 429 \text{ А} \cdot \text{год}.$$

Тоді енергія на виході фотомодуля буде рівна розрядній ємності $C_p = 0,5 C_n W_\phi$

$$W_\phi = (429 / 2) \times U = 215 \times 12 = 2573 \text{ Вт} \cdot \text{год}$$

Протягом дня 1 м^2 поверхні фотомодуля сучасного фотомодуля з коефіцієнтом корисної дії $\eta_\phi = 20\%$ згенерує енергію, рівну добутку його денної енергетичної експозиції H на к.к.д η_ϕ . Значення H для кожного місяця року наведені в актинометричній базі даних НАСА [7] Для грудневого дня експозиція 1 м^2 поверхні фотомодуля, нахиленої під кутом $\approx 49^\circ$ до пл. горизонту $H \approx 3240 \text{ Вт} \cdot \text{год} / \text{м}^2$. Оскільки енергія

$$W_\phi = \eta_\phi W \times H \times S,$$

то сумарна площа $\Sigma S W$ усіх фотомодулів приблизно рівна

$$\Sigma S = W_\phi / \eta_\phi \times H = 2573 / 0,2 / 3240 = 3,97 \text{ м}^2.$$

Цю величину уточнюють відповідно цілому числу придбаних фотомодулів.

Максимальну інтенсивність потоку сонячної енергії до фотомодуля при ясному небі розраховують через проміжну величину – енергетичну освітленість його поверхні усіма потоками сонячної енергії [11]. Відповідні поточні значення їх інтенсивності $G_b(\tau)$ можна розрахувати за формулою Європейського Атласу сонячної радіації (ESRA):

$$G_b(\tau) = G_{sn} e^{-0,8662 \cdot m \cdot \delta_R(m) \cdot T_{LK}(AM2)} . \quad (3.9)$$

Тут: τ – година дня за сонячним часом з відліком від моменту місцевого полудня; G_{sn} – значення середньої сонячної сталої станом на поточний день року з порядковим номером n ; m – оптична маса атмосферного повітря вздовж сонячного променя; $T_{LK}(AM2)$ – сезонне значення фактора мутності атмосфери за її подвійної оптичної маси $AM2$. Наведені тут, залежні від години дня, проміжні величини, розраховують за методикою моделювання, розробленою у монографії [11]. Результати їх моделювання для широти 50° станом середину липня при ясному і рівномірно яскравому небі ілюстровані на рис. 3.4. графіками зміни усіх потоків протягом дня.

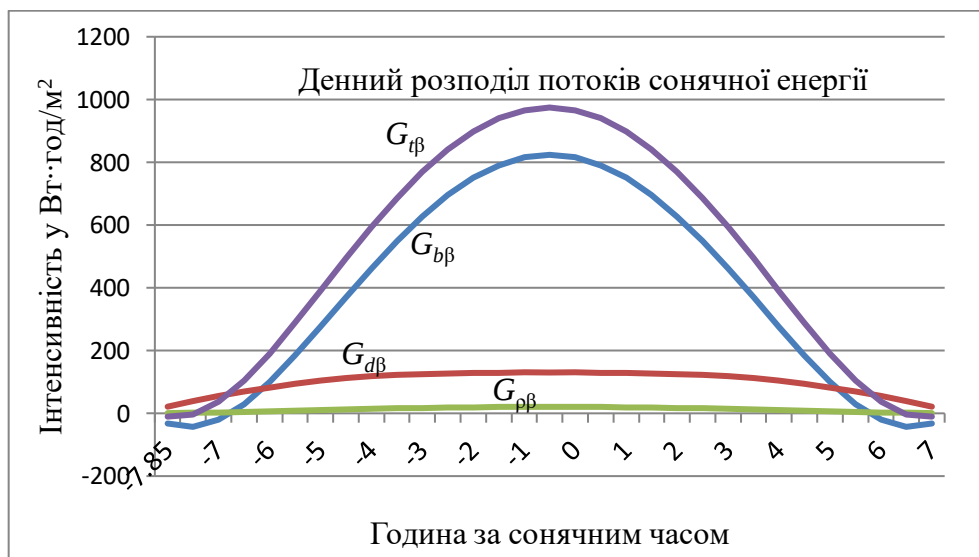


Рисунок 3.4 Потоки сонячної енергії до поверхні фотомодуля з кутом нахилу $\beta=50^\circ$ станом на середину липня: $G_{т\beta}$ – повним; $G_{b\beta}$ – прямим; $G_{d\beta}$ – дифузним; $G_{р\beta}$ – відбитим.

Від’ємним ділянкам $G_{b\beta}(\tau)$ відповідають інтервали ранкового і вечірнього затінення нахилоного фотомодуля. Максимальні значення

освітлення нахилених фотомодулів близькі до умов їх тестування за стандартом STC, тоді як поточні умови близькі до стандарту NOCT, за якими тепер оцінюють їх годинну і денну продуктивність.

3.4 Фотоелектрична установка гібридного живлення вуличного освітлення

3.4.1 Особливості структури та роботи фотоелектричної установки

Часовий алгоритм вмикання вуличного освітлення з частковим покриттям енергією сонячних панелей пропонується реалізувати за схемою гібридного живлення. У вечірний період з піковим навантаженням електромережі, його забезпечує акумульована вдень фотоелектрика. Тоді як на живлення від трифазної освітлювальної мережі починають у нічний період з надлишком потужності теплової та атомної генерації. Таким чином вимоги до площі фотомодулів та ємності акумуляторів мінімізуються з одночасною економією бюджетних витрат при високому піковому тарифі на електроенергію.

Відповідна такому алгоритму фотоелектрична установка складається з фотомодулів, контролера заряду, акумулятора, однофазного інвертора DC/AC та засобів їх комутації включно з перемикачами джерел живлення, керованих оператором (диспетчером) або програмованим таймером. Вибір представлених на ринку елементів фотоенергетичної установки зводиться до взаємного узгодження їх вихідних та вхідних характеристик вздовж ланцюжка перетворень від фотомодуля до світильників. За умови попередніх оцінок їх екстремальних значень та з врахуванням специфіки роботи у типових режимах навантаження.

.

3.4.2 Вибір сонячних панелей

Розрахованій сумарній площі фотомодулів $\Sigma S = 3,97 \text{ м}^2$ з к.к.д $\eta_{\text{ф}} \geq 20$ і відповідають дві сонячні панелі відомого виробника **JA Solar** з **JAM60S20 365-390/MR/1500V** з активною площею поверхні $S = 1,8 \text{ м}^2$ [12]. Їх технічні

характеристики наведені за двома стандартами тестування, що дозволяє оцінювати чи прогнозувати їх поточну продуктивність протягом усього дня.

Таблиця 3.3

Технічні характеристики фотомодуля JAM60S20-375/MR1500V

STC: спектр AM-1,5G; 1000 Вт/м²; T_c=25°C;		
Номінальна макс.потужність, P_{mpp}	Вт	375
Напр. розімкненого кола, U_{oc}	В	41,45
Напруга у точ. макс. потуж., U_{mpp}	В	34,5
Струм короткого замикання, I_{sc}	А	11,41
Струм у точці макс. потужн., I_{mpp}	А	10,87
Ефективність (к.к.д.), η	%	20,1
Температурний коефіцієнт, $\alpha(I_{sc})$	%/град	0,044
Температурний коефіцієнт, $\beta(U_{oc})$	%/град	-0,272
Температурний коефіцієнт потужності, $\gamma(P_{mpp})$	%/град	-0,35
Коефіцієнт заповнення ВАХ, FF		0,793
NOCT: спектр AM-1,5G; 800 Вт/м²; T_a = 20°C		
Номінальна макс.потужність, $P_{mpp}(N)$	Вт	284
Напр. розімкненого кола, $U_{oc}(N)$	В	38,89
Напруга у точці макс. потужн., $U_{mpp}(N)$	В	32,55
Струм короткого замикання, $I_{sc}(N)$	А	9,25
Струм у точці макс. потужн., $I_{mpp}(N)$	А	8,71
Рівноважна температура	T _N	45
Коефіцієнт заповнення ВАХ, FF		0,789
Площа поверхні, S	м ²	1,87

Наведені у таблиці 3.1 номінальні та екстремальні значення струму і напруги при освітленості 1000 Вт/м² обумовлюють критерії енергетичної сумісності з іншими елементами фотоенергетичної установки – контролера заряду, інвертора та засобів керування і комутації.

За критерієм площі активної поверхні, денну продуктивність у 3,97 м² забезпечують два фотомодулі з близькою сумарною площею 1,87×2=3,74 м². При їх паралельному сполученні максимальний струм у режимі короткого замикання $I_{max} = 11,4 \times 2 = 22,8$ А і такої ж максимальної напруги у режимі

холостого ходу $U_{xx} = 41,45$ В. За цими параметрами обирають контролери заряду та інвертори DC/AC.

3.4.3 Вибір контролера заряду

З представлених на ринку фотоенергетики обираємо контролер вітчизняного виробника JUTA 30A 12/24V PWM + USB WP3024D однофазний інвертор Tataliken 500w/1600w 12-220 В з чистою синусоїдою і поточною ринковою вартістю 699 грн []



Рисунок 3.4 Зовнішній вигляд контролера
30A 12/24V PWM + USB WP3024D JUTA

Високоінтелектуальний контролер моделі WP3024D PWM) JUTA призначений для заряду акумулятора від сонячної панелі. З вбудованим РК дисплеєм та гнучким налаштуванням усіх параметрів. На ньому можна зібрати невелику сонячну станцію потужністю до 400Вт для аварійного освітлення і заряду мобільних телефонів, живлення телевізора і роботи невеликого холодильника. Остання модель забезпечує відображення таких параметрів на РК дисплеї:

- автоматичне визначення робочої напруги інтелектуального ШІМ режиму заряду акумулятора;
- параметри керування зарядом-розрядом популярних типів АКБ – стартерних, гелевих, АГМ, залізо-літієвих та літій-іонних
- вибіркове керування режимами навантаження та його електронний

захист;

- показники таймера роботи навантаження;
- поточну напругу на клеммах АКБ;
- температуру навколишнього середовища;
- ввімкнення та вимкнення навантаження;
- струм від фотомодуля та живлення навантаження за період з моменту

їх останнього обнулення*;

- струм заряду від фотомодуля;
- напругу на АКБ, яка дозволяє підключити навантаження;
- напруга на АКБ, біля межі допустимого розряду акумулятора з примусовим його відключенням та індикація напруги відключення АКБ;
- індикація напруги відновлення живлення навантаження;
- індикація значення у відсотках ступеня накопиченого заряду АКБ;
- індикація обраного поточного режим роботи контролера;
- індикація досягнення АКБ стану перерозряду;

Індексом * позначені функції контролю відсутні в підроблених (фейкових) та урізаних версіях контролерів.

Технічні характеристики моделі - WP3024D

- номінальна напруга, В - 12/24
- максимальний струм заряду, А - 30
- режим заряду - ШІМ (PWM)
- максимальна вхідна напруга від сонячних панелей, В - 25/50
- напруга вирівнювання, вольт 14,6 (стартери), 14,2 (гель), 14,4 (AGM)
- за замовчуванням, літієві батареї - заряд згідно інструкції з напругою підзаряду, 13,8 Вольт
- захист від розряду АКБ, Вольт - 10,7
- напруга повторного підключення, Вольт - 12,6
- граничне напруга заряду, Вольт - 15.5

- вихідний струм USB - 2 порти, А - 2
- власне споживання, А - 0,03
- робоча температура - 10...+50
- клеми, кв. мм - 16
- габаритні розміри, мм - 187x98x50
- вага, кг - 0,37
- гарантійний термін, міс - 12

Послідовність підключення контролера в сонячну систему:

- підключаємо контролер до акумулятора;
- підключаємо навантаження до контролера (освітлення тощо);
- підключаємо сонячні панелі до контролера;
- підключаємо інвертор до акумуляторів;

3.4.4 Вибір акумулятора та інвертора

З врахуванням технічних характеристик контролера, напруги паралельно з'єднаних фотомодулів, та добового резервування енергії, акумулятор слід за номінальною напругою 12 вольт і ємністю, порядку 400 А·год. Серед популярних марок обираємо батарею з двох акумуляторів Dipower LiFePO4 12V/200AH (2560Wh), Smart BMS, Bluetooth APP (литій-залізо-фосфатний акумулятор для UPS), 11990 грн кожен.

Влітку, за меншої добової потреби у резервуванні, достатньо тільки одного.

Серед сумісних за вольтажем з попередніми силовими елементами обираємо інвертор **Tataliken** [13] (рис. 3.5) потужністю 1600W і ринковою вартістю 1669 грн станом на 6.06.2025 р.

Технічні характеристики:

- **Номінальна потужність:** 500 Вт за тривалого пікового навантаження до 1600 Вт і короткочасними пусковими перевантаженнями
- **Вхідна напруга:** 12 В (діапазон 10-15 В).
- **Вихідна напруга:** 220 В, частота 50 Гц $\pm$ 2 Гц.

- **Ефективність:** ККД понад 90%, з мінімальними втратами енергії.
- **Форма сигналу:** чиста синусоїда, безпечна для чутливої техніки.



Рисунок 3.5 Зовнішній вигляд
інвертора Tataliken 1600W

Експлуатаційні особливості:

- Автоматичний запуск на навантаження
- Можливість віддаленого керування/моніторингу
- Можливість паралельної роботи
- Можливість під'єднання акумуляторної батареї
- Функція вибору сили зарядного струму
- Функція керування джерелами електроенергії
- Захист від перегріву, перевантаження короткого замикання і низького заряду акумулятора
- Система примусового охолодження для підтримки температури
- Автоматичне відключення при критичних режимах

3.3.5 Засоби комутації живлення

Для перемикання входів живлення ламп від трифазної мережі 220/380 та інвертора DC/AC 12/220 передбачено контактор **Hager ESC428 - 230V/25A, 3НО+1НЗ** (рис. 3. 6) вартістю 968 грн з такими технічними характеристиками, наведеними в Інтернеті:

Кількість контактів — 4;

Котушка керування — 230V~;

Позиції контактів — 3 НВ + 1 НЗ;

Номинальний струм комутації — 25А



Рисунок 3.6 Контактор вводу/ виводу
живлення від мережі

На першому етапі впровадження та налагодження фотоелектричної установки перемикання джерел живлення виконує оператор кнопочними пермикачем за семою, наведеною на рис. 3.2. Автономне і дистанційне керування нею доцільно впроваджувати поступово – з придбанням додаткових спеціалізованих пристроїв та введення їх у схему комутації силових елементів. Зокрема керування режимами освітлення за гнучким річним графіком найпростіше реалізувати за допомогою програмованого астрономічного таймера. Дистанційний контроль та команди диспетчера передбачається здійснювати через Wi-Fi, сумісний з контролером заряду.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1 Умови безпечної роботи з сонячними панелями

Сонячні панелі складені з сонячних модулів, які генерують постійний струм напругою близько 22 при розімкненому зовнішньому колі та близько 15 вольт при розімкненому. При їх комутації у сонячні батареї напруга зростає до рівня, яка при збігу обставин може становити реальну небезпеку персоналу. Тому правила поводження з ними такі ж як і при роботі на електроустановках змінного струму. Монтаж, експлуатація і технічне обслуговування системи сонячного електропостачання вимагає відповідного рівня технічних знань і дотриманням загальних правил техніки безпеки при електромонтажних та налагоджувальних роботах.

Усі роботи, як правило, ведуть на висоті, поряд з повітряними лініями електропередачі, які вимагають додаткових організаційних заходів для безпеки. Перед початком робіт потрібно відвідати об'єкт з метою виявлення потенційних небезпек на місці монтажних робіт. Наприклад обмежити зону роботи огороженням, перебачити відповідне екіпірування – захисні каски, рукавички, нековзне спецвзуття.

Сонячні панелі та батареї та монтажні засоби часто громіздкі та незручні для переміщення на монтажному майданчику обмеженої площі. Тому будь-які операції з панелями з ними повинні виконуватися як мінімум удвох, щоб уникнути будь-яких травм або пошкоджень.

При монтажних роботах елементи фотоелектричних установок можуть випадково опинитися під напругою ві сонячних панелей, тому важливо дотримуватися запобіжних заходів – попередньо знеструмити об'єкт, перевірити відсутність напруги, не працювати під навантаженням. Металеві корпуси панелей потрібно заземлювати для відводу високовольтних імпульсів комутаційних напруг та впливу атмосферної електрики.

4.2 Умови безпечної роботи з акумуляторами

Сервісні роботи з наливними акумуляторними виконують у спеціальному одязі – гумових фартухах, чоботах і рукавичках, для

запобігання контакту руйнівню дією електроліту у вигляді хімічних опіків. При потраплянні рідини або електроліту на органи тіла потрібно змити їх рясним струменем 10% -го розчину соди або розчину нашатирного спирту у воді.

Після роботи з акумуляторами і перед прийняттям їжі необхідно ретельно вимити руки гарячою водою з милом. Забороняється палити, а також зберігати продукти і їжу в робочих приміщеннях, пов'язаних з обслуговуванням і ремонтом акумуляторів.

Батареї акумуляторів необхідно утримувати в чистоті; періодично (через кожні 15 днів) протирати їх поверхню чистою ганчіркою, попередньо злегка змоченою в 10% -му розчині нашатирного спирту для нейтралізації сірчаної кислоти, і потім ретельно витирати сухою ганчіркою. У працюючих акумуляторів слід систематично прочищати отвори в корках, для профілактики засмічення і зростання надлишкового тиску газів усередині комірок, для запобігання випучуванню та руйнуванню стінок.

Затискачі батареї і наконечники проводів необхідно очищати від оксидів і змащувати технічним вазеліном для запобігання від подальшого окислення. Контакт між затискачами і наконечникам проводів і клемми акумуляторів батареї повинен бути досить щільним, для запобігання їх ковзанню, іскрінню, короткому замиканню з швидкому розряджанню та можливою розгерметизацією. Тому приміщення з акумулятором повинно бути обладнане припливно-витяжною вентиляцією.

При роботі з акумуляторами всередині приміщень слід користуватися тільки вибухозахисними лампами напругою живлення не вищими за 12 в. У разі користування вилкою навантаження попередньо відкрити герметизуючі корки для запобігання скупченню газів всередині вибухонебезпечних газів.

Також не можна близько нахилитися до розгерметизованих акумуляторів через небезпеку подразнень слизової оболонки та очей. Під час їх заряджання не можна користуватися вилкою навантаження через можливе від іскріння на клеммах.

5 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

2.1 Оцінка показників ефективності реконструкції вуличного освітлення

За тривалого процесу реконструкції вуличного освітлення усього міста зазвичай проводять оцінку економічної ефективності кожного етапу. Якщо на першому етапі передбачено повну заміну світильників, то виконують порівняльний аналіз кількох варіантів комплектації.

У діючому варіанті виконується заміна ГРЛ світильників новими Helios 21 ЖКУ 01-70-002 вартістю **567,80 грн/шт** з лампою ДНаТ50 та витратами на їх заміну і щорічне сервісне обслуговування. Натомість у проектованому варіанті пропонується встановити світлодіодні світильник (у комплекті з джерелами світла). Експлуатаційні затрати у першому випадку передбачають поточне сервісне обслуговування та періодичну заміну джерел світла. В обох варіантах річні експлуатаційні затрати рівні сумі 4-х доданків

$$B_{\text{екс}} = B_{\text{св}} + B_{\text{лам}} + B_{\text{ел}} + B_{\text{обс}}, \quad (1.13)$$

де $B_{\text{св}}$ – вартість світильника, грн. ;

$B_{\text{лам}}$ – вартість лампи, грн. ;

$B_{\text{ел}}$ – вартість споживаної електроенергії, грн.;

$B_{\text{обс}}$ – вартість обслуговування світильника (умовна), грн.

За такими умовами оцінені затрати на експлуатацію освітлювального обладнання протягом кількох років у діючому і проектованому варіантах. Вартість нових світильників обох типів враховано тільки у затратах першого року експлуатації, а наступні роки – після періодичної заміни внаслідок відпрацювання закінчення її ресурсу ГРЛ 1, 75 року, а світлодіодних 12,5.

Економічну ефективність оцінено порівнянням річних сумарних затрат обох варіантів першого етапу реконструкції. Усі порівнювані показники для зручності зведено у порівняльну таблицю 5.1.

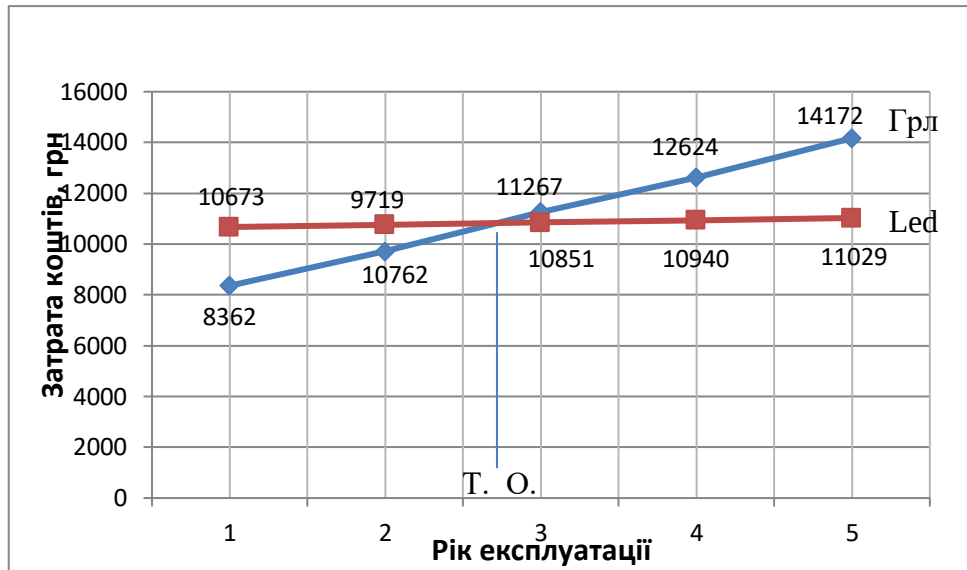
Таблиця 5.1

Порівняльна оцінка технічних рішень та їх ефективності

Поз.	Показник	Одиниця виміру	Світильник з лампою	
			Грл	<i>Led</i>
1	Тривалість роботи протягом року	год	2525	1281
2	Потужність споживання	Вт	70	30
3	Коефіцієнт потужності ПРА	%	0,95	0,99
4	Річне споживання енергії	кВт·год	221	108
5	Вартість спожитої енергії протягом року*	грн	955	89
6	Річна економія енергії	кВт·год	–	132
		грн	–	948
7	Вартість джерела світла*	грн	191	0
8	Вартість світильника під обрану лампу*	грн	6814	10584
9	Затрати на поточне обслуговування*	грн	320	0
10	Ресурс роботи лампи	год	7000	50000
11	Періодичність заміни лампи	год	1,75	12,5
12	Затрати за 1-й рік експлуатації	грн	8280	10673
13	Затрати за 2-й рік експлуатації	грн	1275	89
14	Затрати за 3-й рік експлуатації	грн	1466	89
15	Затрати за 4-й рік експлуатації	грн	1275	89
16	Затрати за 5-й рік експлуатації	грн	1466	89
17	Баланс витрат за 1-й рік	грн	8280	10673
18	Баланс витрат за 2-й рік	грн	9555	10762
19	Баланс витрат за 3-й рік	грн	11021	10851
20	Баланс витрат за 4-й рік	грн	12296	10940
21	Баланс витрат за 5-й рік	грн	13762	11029

Термін окупності розраховано за темпом зростання суми затрат протягом наступних п'яти років експлуатації. Вони візуалізовані на рис. 5 графіками динаміки щорічних затрат на роботу обох порівнюваних варіантів комплектації, побудованих у спільній системі координат. Точки їх перетину

відповідають відносному терміну окупності – моменту економічної переваги одного з варіантів комплектації.



Т

Рис. 5.1 Порівняльна динаміка річних затрат на обидва варіанти комплектації системи освітлення – з грл. світильником і світлодіодним (Led)

Графік не відображає затрати на комплектацію фотоелектричної установки:

- фотомодуль 2 шт – 8000 грн
- контролер заряду 1 шт – 669 грн
- інвертор 1 шт – 1699 грн
- акумулятор 1 шт – 11990 грн
- комутатор вводу живлення 1шт – 968 грн
- Разом – **22238** грн

Відтак червона лінія графіка на рис. 5.2 зміститься до по висоті на 22238 одиниць, з відповідним зміщенням точки перетину до значення, яке можна оцінити за очевидною з рис. 5.1 пропорцією:

$$\frac{10647 - 8280}{2,8 \text{ років}} = \frac{10647 + 22238 - 8280}{N \text{ років}} = \frac{2367}{2,8} = \frac{24635}{N}; N=29 \text{ років}$$

Відтак, за економічно неефективного використання інвестицій, для реалізації проекту потрібно мінімізувати затрати на обладнання, підвищувати його ефективність масштабуванням, можливості «зеленого тарифу», тощо.

ВИСНОВКИ І ПРОПОЗИЦІЇ

1. Обґрунтовано поетапну схему реконструкції вуличного освітлення окремими ділянками з заміною зношених світильників енергоощадними світлодіодними.
2. Розроблено структуру фотоелектричної установки для часткового заміщення енергії освітлювальної мережі у піковий т період.
3. Проведено розрахунок добових, сезонних та енергетичних параметрів проектованої системи освітлення.
4. Обґрунтовано критерії вибору комплектуючих фотоелектричної установки за їх енергетичною сумісністю.
5. Проведено економічний та енергетичний аналіз перспективності проекту з оцінкою перспектив його реалізації.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ПОСИЛАНЬ

1. Сук О.П., Базакуца В. А. Фізичні величини та одиниці. – Харків: ХДПУ, 1998. – 320 с.
2. Споживачі електричної енергії. Електричне освітлення : навч. посібник / О. І. Соловей, А. В. Чернявський, О. О. Ситник, В. Ф. Ткаченко, Г. В. Курбака ; за ред. Солов'я О. І. ; М-во освіти і науки України, Черкас. держ. технол. ун-т. – Черкаси : ФОП Гордієнко Є.І., 2018. – 132 с.
3. Салтиков В.О. Освітлення міст. Навч. посібник. — Харків: ХНАМГ, 2009.— 221 с.
4. Жаган В. Ілюмінація об'єктів. – Львів: ЕКОінформ, 2007. – 242 с.
5. Wojciech Żagan Podstawy techniki świetlnej. – Warszawa: Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, 2005 – 208 с.
6. Гаєвський О. Ю. Фотоенергетика. Частина І. Сонячна радіація і фотоелектричні модулі [Електронний ресурс]: підручник / О. Ю. Гаєвський. – Електрон. текстові дані (1 файл: 5,57 Мб). – Київ: КПІ імені Ігоря Сікорського, 2023. – 150 с.
7. NASA Surface meteorology and Solar Energy – Available Tables. URL: Електронний ресурс. Режим доступу <http://power.larc.nasa.gov>. Дата звернення: 12.04.2025 р.
8. Научно-прикладной справочник по климату СССР. Выпуск 10, Украинская ССР. Книга 1. Л: Гидрометиздат, 1990. 595 с.
9. Гальчак В.П., Боярчук В.М. Альтернативні джерела енергії. Енергія Сонця: навчальний посібник. – Львів, 2008. – 142 с.
10. Вуличний світильник. Електронний ресурс. Режим доступу: <https://elektroplus.com.ua/ru/svitylnyk-vulychnyi-maxus-assistance-street-basic-30w-850>. Дата звернення 12.04.2025 р.
11. Гальчак В.П., Боярчук В.М., Сиротюк С.В., Коробка С.В., Саницький Т.О. Сонячна енергія та інсоляція. Львів. Магнолія 2006, 2024. 242 с.

12. Сонячні модулі JA Solar. Електронний ресурс. Режим доступу www.jasolar.com Дата звертання 6.03.2025 р.

13. Контролер заряду. Електронний ресурс. Режим доступу: <https://ukrinnoteh.com.ua/ua/p370084559-kontroller-30a-1224v.html> Дата звертання 6.03.2025 р.

14. Інвертор. Електронний ресурс. Режим доступу: <https://mycar.dp.ua/ua/p2447177052-invertor-tataliken-500w1600w.html> Дата звертання 12.04.2025 р.