

# КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

## бакалавр

(освітній ступінь (освітньо-кваліфікаційний рівень))

на тему: Автономні гібридні системи малої потужності

Виконав: студент 4 курсу, групи ЕТс-41  
спеціальнос  
ті 141

електроенергетика, електротехніка та  
електромеханіка

(шифр і назва спеціальності)

Корнят М.О.  
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник Філюк Я.О.  
(підпис) (прізвище та ініціали)

Нормоконтроль Мовчан Л.Т.  
(підпис) (прізвище та ініціали)

Завідувач  
кафедри Коваль В.П.  
(підпис) (прізвище та ініціали)

Рецензент Федак С.І.  
(підпис) (прізвище та ініціали)

Міністерство освіти і науки України  
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії  
(повна назва факультету)

Кафедра Електричної інженерії  
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Коваль В.П.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

« 02 » січня 2026 р.

**ЗАВДАННЯ**  
**НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

на здобуття освітнього ступеня бакалавр  
(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 141 – електроенергетика, електротехніка та електромеханіка  
(шифр і назва спеціальності)

студенту Корнят Миколі Орестовичу  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Автономні гібридні системи малої потужності

Керівник роботи ... Філюк Я.О., к.т.н., доц.

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від « 31 » Грудня 2025 року № 4/7-1164

2. Термін подання студентом завершеної роботи червень 2026 року

3. Вихідні дані до роботи Структури та принципи роботи автономних гібридних систем малої потужності, режими їх функціонування та технічні рішення щодо підвищення ефективності використання відновлюваних джерел енергії і систем накопичення електроенергії.

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

1. Аналітичний розділ

2. Проектно-конструкторський розділ

3. Розрахунковий розділ

4. Безпека життєдіяльності, основи охорони праці

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

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Безпека життєдіяльності, основи охорони праці	Гурик О. Я. к.т.н., доцент кафедри МТ		
Нормоконтроль	Мовчан Л.Т., к.т.н., доц		

7. Дата видачі завдання 2 січня 2026 року

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Вступ	20.01.2026	
2	Аналітичний розділ	03.02.2026	
3	Проектно-конструкторський розділ	10.03.2026	
4	Розрахунковий розділ	14.04.2026	
5	Безпека життєдіяльності, основи охорони праці	05.05.2026	
6	Висновки	31.05.2026	
7	Оформлення пояснювальної записки	26.05.2026	
8	Оформлення графічної частини	10.06.2026	

Студент

\_\_\_\_\_ (підпис)

Корнят М.О.

\_\_\_\_\_ (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

\_\_\_\_\_ (підпис)

Філюк Я.О.

\_\_\_\_\_ (прізвище та ініціали)

## РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота бакалавра. Кафедра електричної інженерії, група ЕТс–41 - Т. : ТНТУ, 2026.

Стор.58; рис.24 ; табл.9 ; джерел 13; додатків -.

Тема кваліфікаційної роботи бакалавра: «Автономні гібридні системи малої потужності».

Метою кваліфікаційної роботи є дослідження, розрахунок та обґрунтування параметрів автономної гібридної системи малої потужності на основі відновлюваних джерел енергії.

Перший розділ присвячений аналізу автономних гібридних систем малої потужності та дослідженню особливостей використання ВДЕ. Також розглянуто природно-кліматичні умови України та їх вплив на ефективність роботи автономних систем електропостачання.

Другий розділ містить розрахунок електричних навантажень і оцінку потенціалу використання сонячної та вітрової енергії в умовах України. На основі досліджень підтверджено доцільність застосування комбінованої автономної гібридної системи малої потужності.

Третій розділ присвячений вибору та розрахунку основних елементів автономної гібридної системи електропостачання, а також аналізу її енергетичного балансу. Крім того, у середовищі MATLAB/Simulink створено модель системи та досліджено режими її роботи.

*Ключові слова:* автономна гібридна система, відновлювані джерела енергії, сонячна електростанція, вітроенергетична установка, акумуляторна батарея.

## ЗМІСТ

РЕФЕРАТ	3
ЗМІСТ	4
ВСТУП	5
1. АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ	7
1.1 Аналіз та оцінка сучасного стану використання ВДЕ в автодомах	7
1.2 Загальні географічні та кліматичні відомості для експлуатації в Україні	12
1.3 Висновки до розділу	17
2. ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ	19
2.1 Розрахунок електричних навантажень	19
2.2 Оцінка потенціалу енергії вітру в Україні	23
2.3 Оцінка потенціалу використання сонячної енергії в Україні	27
2.4 Висновки до розділу	32
3. РОЗРАХУНКОВИЙ РОЗДІЛ	34
3.1 Вибір та обґрунтування складу автономної системи електропостачання автодому	34
3.2 Моделювання автономної системи електропостачання	41
3.3 Висновки до розділу	48
4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ	49
4.1 Загальні вимоги	49
4.2 Значення охорони праці в системах електричного освітлення	53
4.3 Вимоги безпеки під час виконання робіт в електроустановках під напругою	53
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	56
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	57

## ВСТУП

Стрімкий розвиток відновлюваної енергетики, зростання вартості традиційних енергоресурсів та необхідність підвищення енергетичної незалежності споживачів зумовлюють активне впровадження автономних гібридних систем малої потужності. Такі системи поєднують різні джерела електричної енергії, зокрема сонячні фотоелектричні модулі, вітроенергетичні установки, акумуляторні батареї та резервні генератори, що дозволяє забезпечити надійне та безперебійне електропостачання незалежно від стану централізованих електричних мереж.

Особливої актуальності автономні гібридні системи набувають в умовах України, де через пошкодження енергетичної інфраструктури, перебої в електропостачанні та необхідність забезпечення енергетичної безпеки виникає потреба у створенні надійних локальних джерел електроенергії. Такі системи можуть застосовуватися для електропостачання приватних будинків, фермерських господарств, телекомунікаційного обладнання, мобільних об'єктів, туристичних комплексів та інших споживачів невеликої потужності.

Важливою перевагою гібридних систем є можливість комплексного використання різних відновлюваних джерел енергії. Поєднання сонячної та вітрової енергії дозволяє зрівноважити добові та сезонні коливання виробітку електроенергії, а використання акумуляторних батарей забезпечує накопичення надлишкової енергії та її подальше використання під час пікових навантажень або несприятливих погодних умов. Резервний генератор підвищує надійність системи та гарантує безперервне електропостачання у випадку тривалої відсутності генерації від відновлюваних джерел.

Розвиток сучасних силових напівпровідникових пристроїв, систем керування, високоефективних інверторів та літійових акумуляторних батарей значно розширює можливості застосування автономних гібридних систем малої потужності та підвищує їх техніко-економічну ефективність. У зв'язку з цим дослідження, розрахунок та обґрунтування параметрів таких систем є актуальним науково-технічним завданням.

Метою кваліфікаційної роботи є дослідження, розрахунок та обґрунтування параметрів автономної гібридної системи малої потужності на основі відновлюваних джерел енергії.

Для досягнення мети необхідно виконати наступні завдання:

- провести аналіз сучасних автономних гібридних систем малої потужності та особливостей їх використання;
- виконати розрахунок електричних навантажень автономної системи;
- оцінити потенціал використання ВДЕ для потреб споживачів;
- обґрунтувати вибір основних елементів автономної гібридної системи, зокрема сонячних модулів, вітроенергетичної установки, акумуляторної батареї, інвертора та резервного генератора і провести розрахунок енергетичного балансу системи;
- розробити імітаційну модель автономної гібридної системи в середовищі MATLAB/Simulink та дослідити режими роботи системи при зміні навантаження та умов генерації електроенергії;

# 1. АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ

## 1.1 Аналіз та оцінка сучасного стану використання ВДЕ в автодомах

Сучасний автодім, створений на базі автомобіля Mercedes-Benz Sprinter, який поєднує функції транспортного засобу та комфортного мобільного житла. Такі транспортні засоби набувають все більшої популярності у світі завдяки можливості автономного проживання та здійснення тривалих подорожей без прив'язки до стаціонарної інфраструктури. Автодоми широко використовуються для туризму, експедицій, службових відряджень та активного відпочинку, забезпечуючи високий рівень комфорту та мобільності. [1]

На рисунку 1.1 представлено зовнішній вигляд сучасного автодому на базі Mercedes-Benz Sprinter. Даний автомобіль відзначається високою надійністю, економічністю та значним внутрішнім простором, він є одним із найпопулярніших для виготовлення будинків на колесах.



Рисунок 1.1 – Зовнішній вигляд автодому на базі Mercedes-Benz Sprinter

Основою автодому є серійний автомобіль Mercedes-Benz Sprinter, загальний вигляд якого наведено на рисунку 1.2. Його конструкція дозволяє встановлювати

додаткове обладнання, системи автономного енергозабезпечення, меблі та інженерні комунікації без суттєвого погіршення експлуатаційних характеристик транспортного засобу. [2]



Рисунок 1.2 – Загальний вигляд базового автомобіля Mercedes-Benz Sprinter

Планування внутрішнього простору автодому наведено на рисунку 1.3. Житловий відсік складається зі спальної зони, кухні, обіднього столу, санітарного вузла, місць для зберігання речей та інших необхідних елементів, що забезпечують комфортне проживання під час подорожей.



Рисунок 1.3 – Планування житлового відсіку автодому

Сучасний автодім обладнується значною кількістю електротехнічних пристроїв. До них належать системи внутрішнього та зовнішнього освітлення, холодильник, кухонне обладнання, вентиляція, кондиціонування, системи опалення,

телевізор, водяний насос, зарядні пристрої для мобільної техніки, а також різноманітні побутові прилади. Надійна робота всіх цих систем потребує ефективного та автономного електропостачання.

Традиційно електрообладнання автодому поділяється на кілька незалежних систем живлення. Низьковольтні споживачі працюють від бортової мережі напругою 12 або 24 В, яка живиться від акумуляторної батареї. Побутові прилади, що використовують змінну напругу 230 В, можуть отримувати живлення через інвертор від акумуляторної батареї або від зовнішньої мережі під час стоянки. Додатковим джерелом електроенергії можуть бути паливні генератори, однак їх використання супроводжується шумом, витратами пального та шкідливими викидами. [3]

У зв'язку зі стрімким розвитком відновлюваної енергетики все більшої популярності набуває використання сонячних фотоелектричних модулів та вітроенергетичних установок у мобільних системах електропостачання. Сонячна та вітрова енергія є практично невичерпними та доступними джерелами енергії, а сучасні технології дозволяють ефективно використовувати їх навіть у компактних автономних системах.

Особливу актуальність використання відновлюваних джерел енергії в автодомах обумовлює необхідність забезпечення тривалої автономної роботи електрообладнання без підключення до стаціонарних мереж. Сонячні панелі можуть бути встановлені на даху транспортного засобу та забезпечувати заряджання акумуляторних батарей протягом світлового дня. Вітроенергетичні установки можуть використовуватися як додаткове джерело електроенергії під час тривалих стоянок у районах зі сприятливими вітровими умовами. [4]

Найбільш ефективними є комбіновані системи електропостачання, які поєднують кілька незалежних джерел енергії. У таких системах основним джерелом електроенергії виступають сонячні батареї та вітроустановка, а резервним – паливний генератор або зовнішня електромережа. Енергія накопичується в акумуляторних батареях, а інвертор забезпечує перетворення постійної у змінну напругу 230 В для живлення побутових споживачів.

Використання комбінованих автономних систем електропостачання має низку переваг:

- підвищення енергетичної незалежності автодому;
- зменшення витрат пального;
- зниження експлуатаційних витрат;
- підвищення надійності електропостачання;
- зменшення негативного впливу на навколишнє середовище;
- забезпечення комфортного проживання під час тривалих подорожей.

На рисунку 1.4 наведено загальний вигляд житлової та кухонної зон автодому, які забезпечують комфортні умови проживання.



Рисунок 1.4 – Інтер'єр житлової та кухонної зон автодому

На рисунку 1.5 показано спальне місце, обладнане для повноцінного відпочинку під час подорожей.



Рисунок 1.5 – Спальна зона автодому

На рисунку 1.6 представлено санітарний вузол автодому, який містить душову кабінку, туалет та умивальник.



Рисунок 1.6 – Санітарний вузол автодому

Таким чином, сучасний автодім на базі Mercedes-Benz Sprinter є перспективним об'єктом для впровадження автономних систем електропостачання на основі ВДЕ. Застосування сонячних батарей, вітроенергетичних установок та акумуляторних систем накопичення енергії дозволяє значно підвищити автономність транспортного засобу, забезпечити надійне живлення бортового електрообладнання та скоротить використання традиційних джерел енергії. Розвиток сучасних технологій накопичення та перетворення електроенергії робить застосування таких систем економічно доцільним і технічно ефективним, що визначає перспективність їх широкого використання в автотуризмі та мобільних житлових комплексах. [5]

## **1.2 Загальні географічні та кліматичні відомості для експлуатації в Україні**

Україна має великий потенціал для впровадження автономних систем на основі ВДЕ. Географічне положення держави, особливості рельєфу та помірно-континентальний клімат створюють сприятливі умови для експлуатації сонячних та вітроенергетичних установок, що особливо важливо для мобільних систем електропостачання автодомів. Ефективність таких систем залежить від кліматичних умов, тому при проєктуванні необхідно враховувати географічні та метеорологічні особливості України. [6-8]

Україна розташована між 44° та 52° північної широти. Загальна площа держави становить понад 603 тис. км<sup>2</sup>. Територія країни характеризується переважно рівнинним рельєфом, лише на заході розташовані Українські Карпати, а на півдні – Кримські гори. Значна частина території представлена відкритими рівнинами, що створює умови для використання ВДЕ.

На рисунку 1.7 наведено основні природно-кліматичні зони України.



Рисунок 1.7 – Основні географічні та кліматичні зони України

Територія України умовно поділяється на три основні природні зони:

- Полісся;
- Лісостеп;
- Степ.

Окремо виділяють гірські райони Українських Карпат та Кримських гір.

Полісся характеризується помірною сонячною активністю та достатньою кількістю опадів. Лісостепова зона має більше умов для використання енергії сонця, а степова зона відзначається найбільшою тривалістю сонячного сяйва та значними швидкостями вітру. [8]

Клімат України є помірно-континентальним. Його основними особливостями є тепле літо, помірно холодна зима та чітко виражена сезонність погодних умов. Середньорічна температура коливається від +6 °C у північних районах до +13 °C на південному узбережжі.

Для роботи автономних систем електропостачання важливими параметрами є:

- середньорічна температура повітря;
- тривалість сонячного сяйва;
- швидкість вітру;
- кількість атмосферних опадів;
- сезонні зміни погодних умов.

Одним із головних факторів, що визначає ефективність є сонячна радіація. Територія України характеризується досить високими показниками сонячної активності. [9]

На рисунку 1.8 представлено розподіл сонячної радіації по території України.

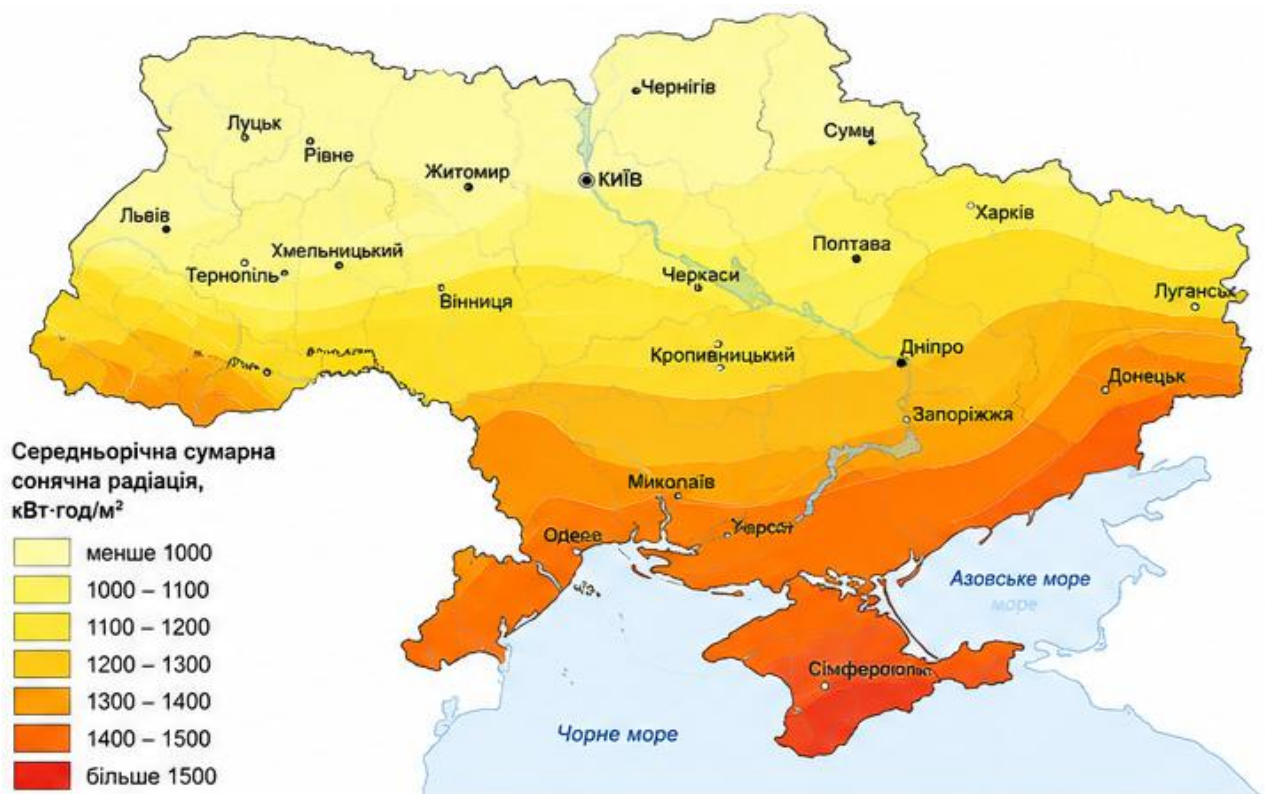


Рисунок 1.8 – Розподіл сонячної радіації в Україні

Середньорічна сумарна сонячна радіація становить:

- Полісся – 1000...1100 кВт·год/м²;
- Лісостеп – 1100...1250 кВт·год/м²;
- Степ – 1250...1450 кВт·год/м²;
- Південні області – до 1500 кВт·год/м².

Найкращі умови для роботи сонячних батарей спостерігаються в Одеській, Миколаївській, Херсонській, Запорізькій областях та Закарпатті. [10]

Для мобільних систем електропостачання важливою характеристикою є тривалість сонячного сьйва. В Україні вона змінюється від 1700 на півночі до 2400 годин на півдні країни.

Особливістю використання сонячної енергетики є сезонність виробітку електроенергії. У літній період сонячні панелі можуть забезпечувати практично всі потреби автотому в електроенергії, тоді як взимку їхня продуктивність зменшується через скорочення світлового дня та збільшення хмарності.

Крім сонячної енергії, перспективним джерелом електропостачання є енергія вітру. Значна частина території України характеризується достатнім вітровим потенціалом.

На рисунку 1.9 наведено карту середньорічних швидкостей вітру.



Рисунок 1.9 – Розподіл середньорічних швидкостей вітру в Україні

Середня швидкість вітру :

- Карпатський регіон – 4...6 м/с;
- Полісся – 3...5 м/с;
- Лісостеп – 4...6 м/с;
- Степова зона – 5...8 м/с;
- Узбережжя Чорного та Азовського морів – до 8...10 м/с.

Для сучасних компактних вітроустановок мінімальна швидкість запуску становить близько 3 м/с, що дозволяє ефективно використовувати їх на значній частині території України.

Для мобільних систем електропостачання автодомів доцільним є комбіноване використання сонячних батарей та вітроенергетичних установок. У літній період основне навантаження забезпечують фотоелектричні модулі, а в осінньо-зимовий період виробництво електроенергії частково компенсується роботою вітрогенератора. [11]

Основні кліматичні характеристики України наведені в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Основні кліматичні характеристики регіонів України

Регіон	Сонячна радіація, кВт·год/м <sup>2</sup>	Швидкість вітру, м/с
Полісся	1000–1100	3–5
Лісостеп	1100–1250	4–6
Степ	1250–1450	5–8
Карпати	1050–1200	4–6
Південні області	1400–1500	6–8

Особливістю клімату України є нерівномірність виробництва енергії протягом року. Максимальна генерація сонячної енергії спостерігається в літній період, тоді як максимальна ефективність вітроустановок часто припадає на осінньо-зимовий сезон.

На рисунку 1.10 наведено сезонну зміну потенціалу використання ВДЕ.

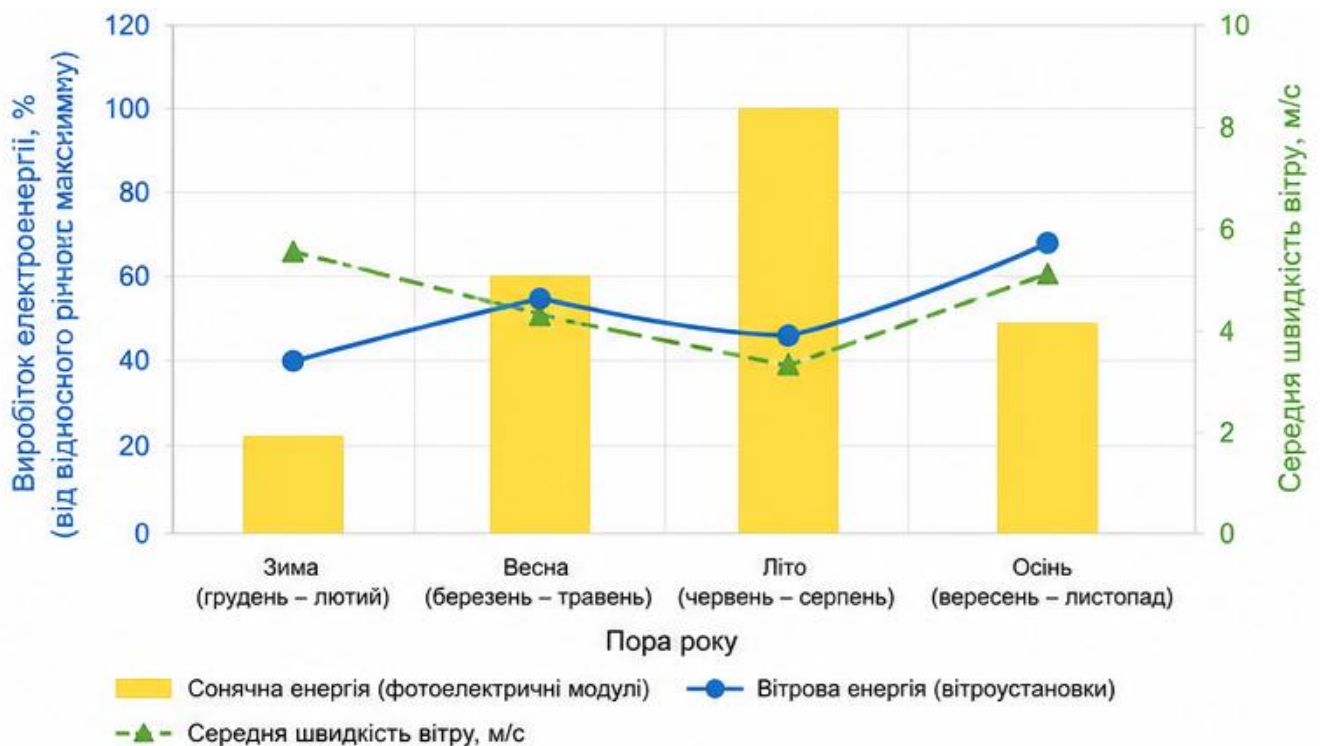


Рисунок 1.10 – Сезонна зміна потенціалу сонячної та вітрової енергії в Україні

Аналіз географічних та кліматичних умов України свідчить про наявність сприятливих передумов для використання автономних систем електропостачання автомобілів на основі відновлюваних джерел енергії. Практично на всій території країни існують достатні ресурси сонячної енергії, а в південних, степових та гірських районах – також значний потенціал використання енергії вітру.

Поєднання сонячних батарей, вітроенергетичних установок, акумуляторних систем накопичення енергії та сучасних інверторів дозволяє створити високоефективну автономну систему електропостачання автомобіля, здатну забезпечити надійну роботу побутового обладнання під час подорожей територією України незалежно від наявності централізованих джерел електроенергії. [12]

### 1.3 Висновки до розділу

Проведено аналіз сучасних автономних систем електропостачання автомобілів на основі ВДЕ та досліджено географічні й кліматичні особливості України.

Встановлено, що сучасні автономи потребують надійних автономних джерел живлення для забезпечення роботи побутового та допоміжного електрообладнання.

Розглянуто особливості використання сонячних фотоелектричних модулів, вітроенергетичних установок, акумуляторних батарей та інверторів у складі автономних систем електропостачання. Показано, що комбіноване використання відновлюваних джерел енергії підвищує енергетичну незалежність автоному та зменшує витрати традиційних енергоносіїв.

Аналіз природно-кліматичних умов України підтвердив наявність достатнього сонячного та вітрового потенціалу для ефективної експлуатації таких систем. Результати свідчать про ефективність застосування автономних комбінованих систем електропостачання автономів і створюють основу для їх подальшого проектування та розрахунку в наступних розділах кваліфікаційної роботи.

## 2. ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

### 2.1 Розрахунок електричних навантажень

Одним із етапів є проектування автономної системи електропостачання автодому є визначення електричних навантажень. Від правильності виконання цього розрахунку залежить вибір потужності сонячних фотоелектричних модулів, акумуляторної батареї, інвертора, контролера заряду та інших елементів системи електроживлення.

Основними споживачами електричної енергії в автодомі є побутові електроприлади, що забезпечують комфортні умови проживання під час подорожей. До них належать електроплита, холодильник, електрочайник, фен, персональний комп'ютер, телевізор, кондиціонер, електричний обігрівач, освітлення та інші допоміжні пристрої.

Під час розрахунку приймається, що всі електроприлади не працюють одночасно, проте система електропостачання повинна забезпечувати їх нормальне функціонування в найбільш навантажених режимах.

Основні електроприймачі автодому наведені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Основні електроприймачі автодому

Приміщення	Встановлювані електропобутові прилади	Номінальна потужність, кВт
Житловий відсік	Ел. плита	1,5
	Холодильник	0,07
	Чайник	1,7
	Фен	0,9
	ПК	0,05
	Телевізор	0,04
	Праска	1
	Кондиціонер (літо)	0,95
	Обігрівач	1,2
	Освітлення (світлодіодні лампи)	0,1
Підсумок:		7,5

Сумарна встановлена потужність становить близько 7,5 кВт.

Оскільки потреба в електроенергії змінюється протягом року, розрахунок добового електроспоживання проводиться окремо для кожної пори року.

Зимовий період

У зимовий період найбільшим споживачем електроенергії є система опалення. Крім того, збільшується час використання освітлення через короткий світловий день.

Основні результати розрахунку наведені в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Добове електроспоживання автомобілю взимку

Встановлювані електричні прилади	Номінальна потужність, кВт	Години використання, год/добу	Споживана енергія, кВтг за Доба
Ел. плита	1,5	1	1,5
Холодильник	0,075	8	0,6
Чайник	1,7	0,4	0,425
Фен	0,9	0,4	0,225
ПК	0,05	3	0,15
Телевізор	0,04	2	0,08
Праска	1	0,4	0,25
Обігрівач	1,2	6	7,2
Освітлення	0,1	6	0,6
Підсумок:			11,03

Сумарне добове споживання електроенергії становить  $W_{ЗИМ} = 11,0 \text{ кВтг} / \text{год}$

Найбільшу частку споживання складають:

- електрообігрівач;
- електроплита;
- холодильник;
- освітлення.

Навесні температура навколишнього середовища підвищується, тому потреба в обігріві зменшується.

Добове споживання становить  $W_{BEC} = 8,3 \text{ кВт} / \text{год}$

Основними споживачами залишаються побутові електроприлади та система освітлення.

Літній період

У літній період опалення не використовується, проте виникає необхідність експлуатації кондиціонера.

Добове електроспоживання дорівнює  $W_{ЛІТО} = 5,9 \text{ кВт} / \text{год}$

Саме в цей період ефективність сонячних батарей є максимальною, що забезпечує найкращий енергетичний баланс автономної системи.

Восени знижується температура повітря та збільшується тривалість роботи системи освітлення і обігрівача.

Добове споживання складає  $W_{ОСІНЬ} = 8,4 \text{ кВт} / \text{год}$

Проведені розрахунки свідчать про значну сезонну нерівномірність електроспоживання.

Для вибору параметрів автономної системи електропостачання необхідно визначити місячне споживання електроенергії.

На основі сезонних навантажень отримано орієнтовне споживання за місяцями, яке наведено в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Орієнтовне місячне електроспоживання автомобілю

Місяць	Споживання, кВт·год
Січень	342
Лютий	309
Березень	258
Квітень	250
Травень	258
Червень	178
Липень	184
Серпень	178
Вересень	261
Жовтень	253
Листопад	261
Грудень	342

На рисунку 2.1 наведено графік зміни місячного електроспоживання автодому.

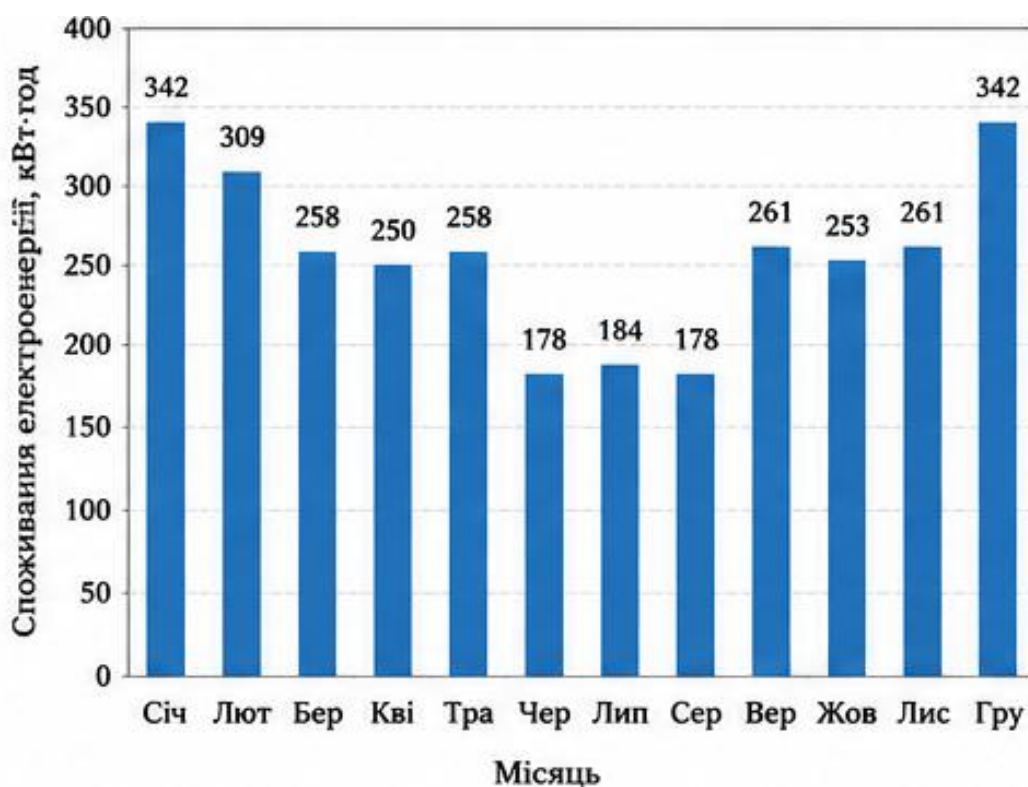


Рисунок 2.1 – Зміна споживання електроенергії автодомом протягом року

Аналіз отриманих результатів показує, що найбільше споживання електроенергії спостерігається у зимові місяці, коли збільшується тривалість роботи системи опалення та освітлення. Максимальне навантаження припадає на грудень і січень. Найменше споживання характерне для літнього періоду, коли відсутня потреба в опаленні та значно скорочується використання освітлення.

Отриманий графік електроспоживання є основою для подальшого проєктування автономної системи електропостачання автодому. На його основі визначаються необхідна потужність фотоелектричних модулів, ємність акумуляторної батареї, параметри інвертора та інших елементів системи.

Таким чином, проведений розрахунок електричних навантажень показав, що добове споживання електроенергії автодому змінюється від 5,9 кВт·год у літній період до 11,0 кВт·год у зимовий, а річний графік має виражений сезонний характер. Це підтверджує доцільність використання комбінованої автономної системи електропостачання на основі сонячних фотоелектричних модулів, акумуляторних

батареї та додаткових резервних джерел енергії, що забезпечить надійну та економічно ефективну роботу автодому в кліматичних умовах України.

## 2.2 Оцінка потенціалу енергії вітру в Україні

Одним із перспективних ВДЕ для автономного електропостачання автодомів є енергія вітру. Використання малих вітроенергетичних установок дозволяє частково компенсувати сезонне зменшення виробітку сонячних панелей та забезпечити додаткове заряджання акумуляторних батарей, особливо в осінньо-зимовий період. Для оцінки доцільності використання вітрогенератора необхідно дослідити вітровий потенціал території України.

Швидкість та напрямок вітру формуються під впливом загальної атмосферної циркуляції, особливостей рельєфу місцевості, близькості водойм та інших природних факторів. Найсприятливіші умови для використання вітроенергетичних установок спостерігаються в південних областях України, на узбережжі морів, а також у гірських районах Карпат.

На рисунку 2.2 наведено карту розподілу середньорічних швидкостей вітру на території України.

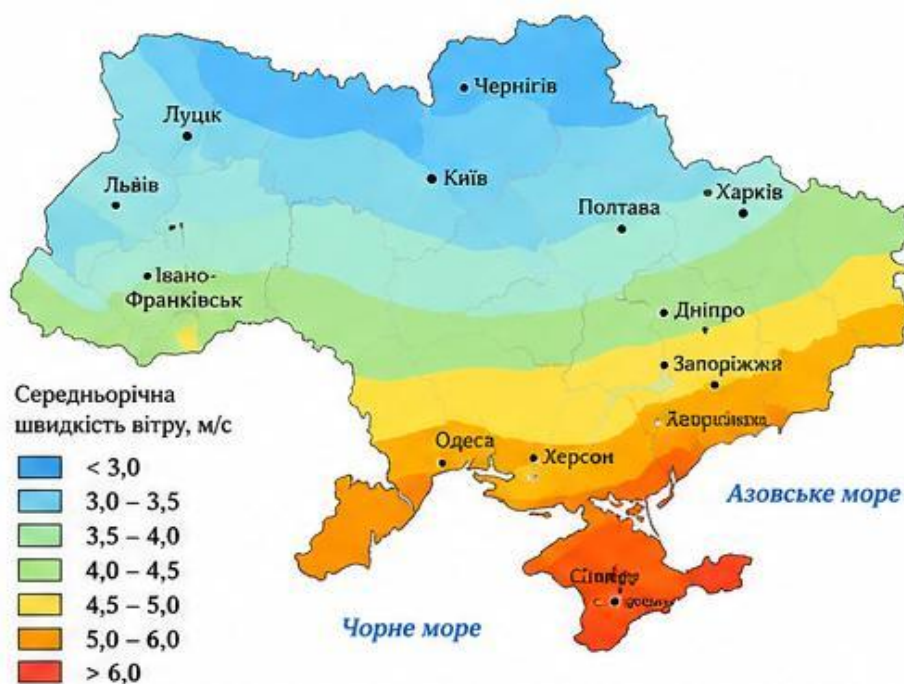


Рисунок 2.2 – Карта середньорічних швидкостей вітру на території України

Для проектування автономної системи електропостачання автотранспорту використаємо усереднені багаторічні метеорологічні дані для території України. Основні значення середньомісячної швидкості вітру наведено в таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 – Середньомісячна швидкість вітру в Україні

Місяць	Швидкість вітру, м/с
Січень	4,8
Лютий	4,9
Березень	5,1
Квітень	4,7
Травень	4,2
Червень	3,8
Липень	3,6
Серпень	3,5
Вересень	3,9
Жовтень	4,3
Листопад	4,7
Грудень	4,9

За результатами таблиці побудовано графік зміни середньомісячної швидкості вітру представленої на рисунку 2.3.

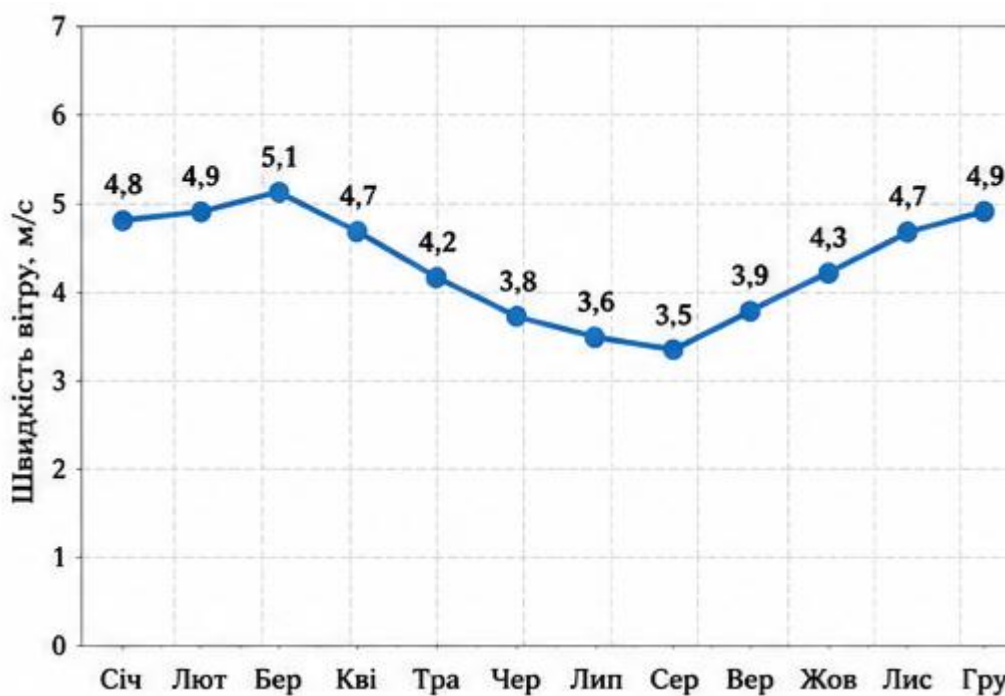


Рисунок 2.3 – Зміна середньомісячної швидкості вітру в Україні

Для оцінки можливості використання вітроенергетичної установки визначають середню швидкість вітру:

$$V_{\text{сep}} = \frac{\sum_{i=1}^n V_i}{n} \quad (2.1)$$

де  $V_i$  – швидкість вітру в окремий момент часу;  $n$  – кількість вимірювань.

Потужність повітряного потоку визначається залежністю:

$$P = \frac{\rho A V^3}{2} \quad (2.2)$$

де  $P$  – потужність повітряного потоку,  $Вт$ ;

$(\rho)$  – густина повітря,  $кг/м^3$ ;

$A$  – площа, описана лопатями віротурбіни,  $м^2$ ,

$V$  – швидкість вітру,  $м/с$

Площа, що описується лопатями ротора, визначається:

$$A = \pi R^2 \quad (2.3)$$

де  $R$  – радіус ротора вітроустановки

Оскільки реальні вітроенергетичні установки не можуть перетворити всю енергію повітряного потоку в електричну, вводиться коефіцієнт використання енергії вітру:

$$P_{\text{BEY}} = \frac{\rho A V^3 C_p \eta}{2} \quad (2.4)$$

де  $C_p$  – коефіцієнт використання енергії вітру;

( $\eta$ ) – ККД генератора та механічної передачі.

Для сучасних малих вітроустановок приймають:

$$\begin{aligned} C_p &= 0.35 \dots 0.45 \\ \eta &= 0.85 \dots 0.95 \end{aligned} \quad (2.5)$$

З аналізу таблиці 2.4 видно, що максимальні швидкості вітру спостерігаються в зимовий та весняний періоди року, тоді як мінімальні – влітку. Така закономірність є позитивною для автономних систем електропостачання, оскільки в зимовий період ефективність сонячних панелей знижується, а виробіток вітроенергетичної установки збільшується.

Для оцінки середньорічної швидкості вітру використовується вираз:

$$V_{\text{Рік}} = \frac{\sum_{i=1}^{12} V_i}{12} \quad (2.6)$$

Після підстановки даних таблиці отримуємо:

$$V_{\text{Рік}} = 4,37 \text{ м / с} \quad (2.7)$$

Отримане значення перевищує мінімальну швидкість запуску сучасних малих вітроенергетичних установок, яка становить приблизно 3 м/с. Це свідчить про можливість ефективного використання вітрогенератора в автономній системі електропостачання автодому.

Аналіз сезонного розподілу швидкості вітру показує, що максимальна генерація електроенергії припадає на осінньо-зимовий період, коли виробіток сонячних панелей є мінімальним. Завдяки цьому комбінована система електропостачання, що складається із сонячних батарей та вітроенергетичної установки, забезпечує більш рівномірний виробіток електричної енергії протягом року.

Таким чином, проведений аналіз вітрового потенціалу України підтверджує доцільність використання малих вітроенергетичних установок у складі автономної системи електропостачання автодому. Поєднання вітрогенератора із сонячними фотоелектричними модулями та акумуляторною батареєю дозволяє підвищити надійність електропостачання, зменшити залежність від зовнішніх джерел енергії та забезпечити ефективну експлуатацію автодому в різних кліматичних умовах України.

### **2.3 Оцінка потенціалу використання сонячної енергії в Україні**

Одним із найбільш перспективних відновлюваних джерел енергії для автономного електропостачання автодомів є сонячна енергія. Сучасні фотоелектричні модулі характеризуються високою надійністю, тривалим терміном експлуатації та відсутністю рухомих механічних елементів, що робить їх особливо придатними для використання в мобільних енергетичних системах. Використання сонячних батарей дозволяє забезпечити безперервне заряджання акумуляторних батарей та живлення побутового електрообладнання автодому під час стоянки та подорожей.

Ефективність роботи сонячних панелей значною мірою залежить від географічного положення місцевості, тривалості світлового дня, інтенсивності сонячної радіації, погодних умов та правильного вибору кута нахилу фотоелектричних модулів.

Україна має достатньо високий потенціал сонячної енергії. Найбільш сприятливими регіонами є південні області країни, де річна інсоляція перевищує 1400 кВт·год/м<sup>2</sup>. Для центральних та західних регіонів цей показник становить 1200...1350 кВт·год/м<sup>2</sup>, а для північних областей — близько 1100...1200 кВт·год/м<sup>2</sup>.

На рисунку 2.4 наведено карту сонячної активності території України.



Рисунок 2.4 – Розподіл сонячної радіації на території України

Одним із важливих параметрів при проектуванні автономної системи електропостачання є тривалість світлового дня.

Основні дані наведені в таблиці 2.5.

Таблиця 2.5 – Середня тривалість світлового дня в Україні

Пора року	Схід	Захід	Тривалість
Зима	8:00	16:15	8 год 15 хв
Весна	6:10	18:40	12 год 30 хв
Літо	4:45	21:05	16 год 20 хв
Осінь	6:20	18:20	12 год 00 хв

Із таблиці, найбільша тривалість світлового дня спостерігається в літній період, що забезпечує максимальну продуктивність сонячних панелей.

На рисунку 2.5 наведено сезонну зміну тривалості світлового дня.

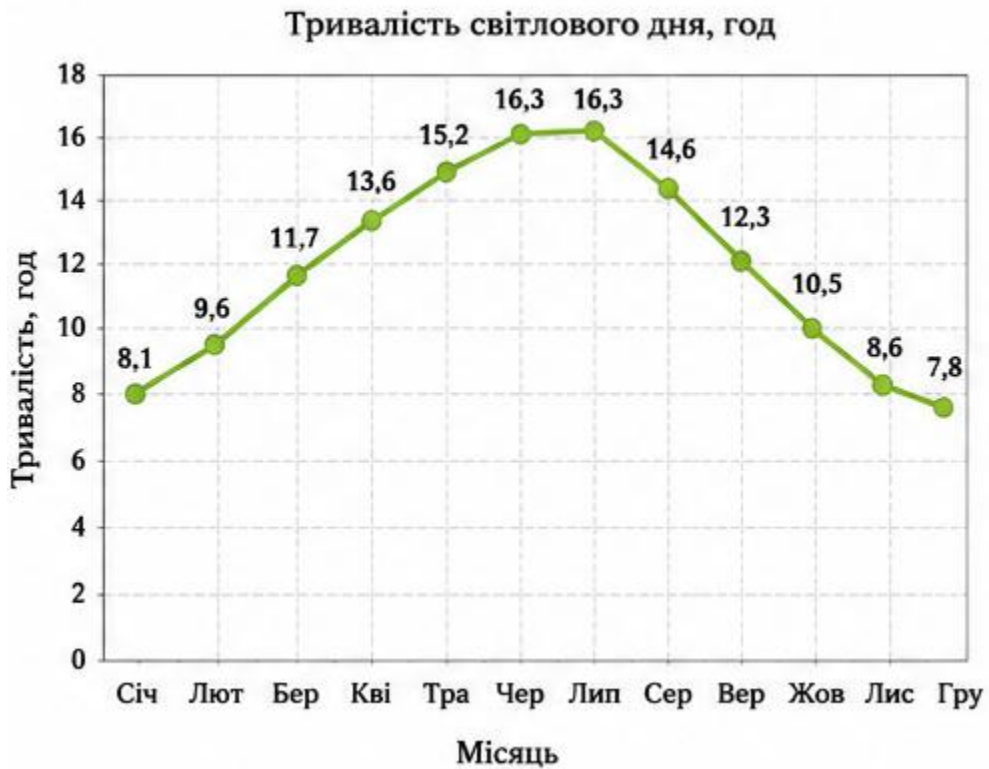


Рисунок 2.5 – Залежність тривалості світлового дня від пори року

Для оцінки продуктивності сонячної електростанції визначають кількість сонячної енергії, яка надходить на поверхню фотоелектричного модуля.

$$Q = P_{PV} \cdot H \quad (2.8)$$

де  $Q$  – добова генерація електроенергії;

$P_{PV}$  – встановлена потужність сонячних модулів;

$H$  – середня кількість годин ефективного сонячного випромінювання

Для визначення добового виробітку електроенергії з урахуванням ККД системи використовується вираз

$$W = P_{PV} \cdot H \cdot \eta \quad (2.9)$$

де  $W$  – добовий виробіток електроенергії;

$\eta$  – загальний коефіцієнт корисної дії системи.

Загальний ККД враховує:

- втрати в інверторі;
- втрати в контролері заряду;
- втрати в кабельних лініях;
- температурні втрати;
- втрати на забруднення поверхні панелей.

Для сучасних автономних систем приймають  $\eta = 0.75...0.85$

Оптимальний кут для сонячних модулів визначається географічною широтою місцевості.

Для території України можна використовувати залежність  $\beta = \varphi$

де  $\beta$  – оптимальний кут нахилу;  $\varphi$  – географічна широта місцевості.

Для збільшення ефективності допустиме сезонне регулювання кута нахилу:

Для літнього періоду  $\beta = \varphi - 15^\circ$ . Для зимового періоду  $\beta = \varphi + 15^\circ$ .

Для більшості території України оптимальний кут нахилу сонячних модулів знаходиться в межах  $30^\circ...40^\circ$ .

Для оцінки можливостей автономної системи розглянемо сонячну електростанцію потужністю 1 кВт.

Середньомісячна генерація електроенергії наведена в таблиці 2.6.

Таблиця 2.6 – Орієнтовна генерація сонячної електростанції потужністю 1 кВт

Місяць	Генерація, кВт·год
Січень	55
Лютий	72
Березень	104
Квітень	128
Травень	145
Червень	152
Липень	150
Серпень	140
Вересень	112
Жовтень	84
Листопад	52

Грудень	45
---------	----

З аналізу таблиці 2.6 видно, що понад 55 % річної генерації сонячної електростанції припадає на період з травня по серпень. У зимовий період виробіток електроенергії зменшується майже втричі, що підтверджує необхідність використання акумуляторної батареї та додаткового джерела електроживлення, яким може виступати малогабаритна вітроенергетична установка.

Після таблиці 2.6 можна додати:

$$W_{рік} = \sum_{i=1}^{12} W_i \quad (2.10)$$

Після підстановки:

$$W_{рік} = 1239 \text{ кВт} \cdot \text{год} \quad (2.11)$$

За результатами таблиці побудовано графік сезонної генерації.

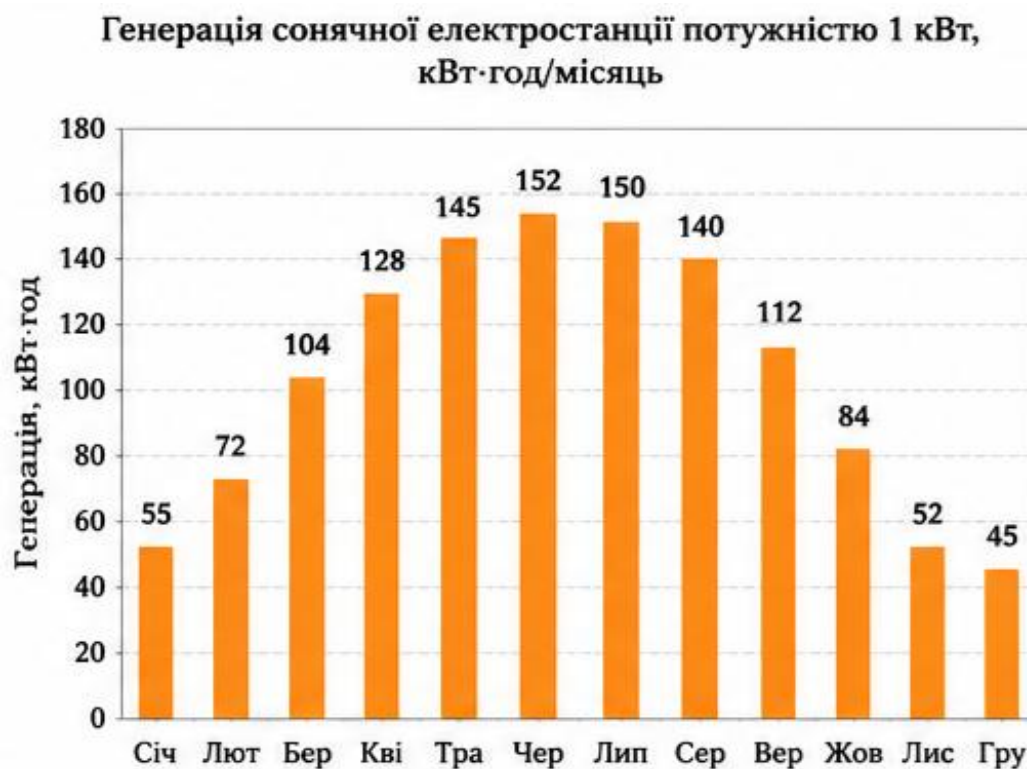


Рисунок 2.6 – Генерація сонячної електростанції потужністю 1 кВт протягом року

Для оцінки відповідності виробітку та споживання визначають коефіцієнт покриття навантаження.

$$K = \frac{W_{\text{ген}}}{W_{\text{СП}}} \quad (2.12)$$

де  $W_{\text{ген}}$  – вироблена електроенергія;

$W_{\text{СП}}$  – спожита електроенергія.

Якщо  $K > 1$  то виробництво перевищує споживання.

Якщо  $K < 1$  то необхідне використання акумуляторної батареї або резервного джерела живлення.

Аналіз результатів показує, що генерація сонячної електроенергії максимальна припадає на травень—серпень, тоді як мінімальна спостерігається у грудні та січні. Саме тому для автономного електропостачання автодому доцільно використовувати комбіновану систему, яка складається із сонячних фотоелектричних модулів, акумуляторної батареї та вітроенергетичної установки.

Дослідження підтверджує, що умови України є сприятливими для використання сонячної енергії. Встановлення сонячних батарей на автодомі дозволяє забезпечити значну частину потреб в електроенергії, зменшити експлуатаційні витрати та підвищити енергетичну незалежність мобільної системи електропостачання. Спільне використання сонячної та вітрової енергії забезпечує більш рівномірний виробіток електроенергії протягом року та підвищує надійність автономної системи електроживлення.

## 2.4 Висновки до розділу

Виконано розрахунок електричних навантажень автодому та проведено оцінку потенціалу використання вітрової і сонячної енергії в умовах України. Встановлено,

що добове споживання має виражений сезонний характер і змінюється залежно від умов експлуатації та пори року.

Аналіз показав, що умови України є сприятливими для використання як сонячних фотоелектричних модулів, так і малих вітроенергетичних установок. При цьому сонячна генерація є найбільш ефективною в літній період, а вітрова – в осінньо-зимовий, що забезпечує взаємне доповнення цих джерел енергії.

Встановлено, що найбільш доцільним рішенням для автономного електропостачання автотранспорту є комбінована система, яка поєднує сонячні панелі, вітрогенератор, акумуляторну батарею та інвертор. Це забезпечує надійне електропостачання, підвищує енергетичну незалежність та створює основу для подальшого проектування системи в наступному розділі роботи.

### 3. РОЗРАХУНКОВИЙ РОЗДІЛ

#### 3.1 Вибір та обґрунтування складу автономної системи електропостачання автодому

Одним із етапів проектування автономної системи електропостачання автодому є вибір її основних елементів та визначення їх параметрів. Проведені в попередньому розділі дослідження показали, що добове споживання змінюється залежно від пори року та може досягати 11 кВт·год. Крім того, аналіз кліматичних умов України підтвердив доцільність використання комбінованої системи електропостачання, що поєднує сонячну та вітрову енергію із резервним джерелом живлення.

До складу автономної системи електропостачання входять:

- сонячні фотоелектричні модулі;
- вітроенергетична установка;
- акумуляторна батарея;
- гібридний інвертор;
- резервний генератор;
- система захисту та комутації.

Структурну схему автономної системи електропостачання наведено на рисунку 3.1.

Основним джерелом електроенергії є сонячні фотоелектричні модулі. Необхідна встановлена потужність сонячної електростанції визначається за формулою

$$P_{PV} = \frac{W_{\text{доб}}}{H\eta} \quad (3.1)$$

де  $W_{\text{доб}}$  – добове споживання електроенергії;

$H$  – середня кількість годин ефективного сонячного випромінювання

$\eta$  – ККД системи .

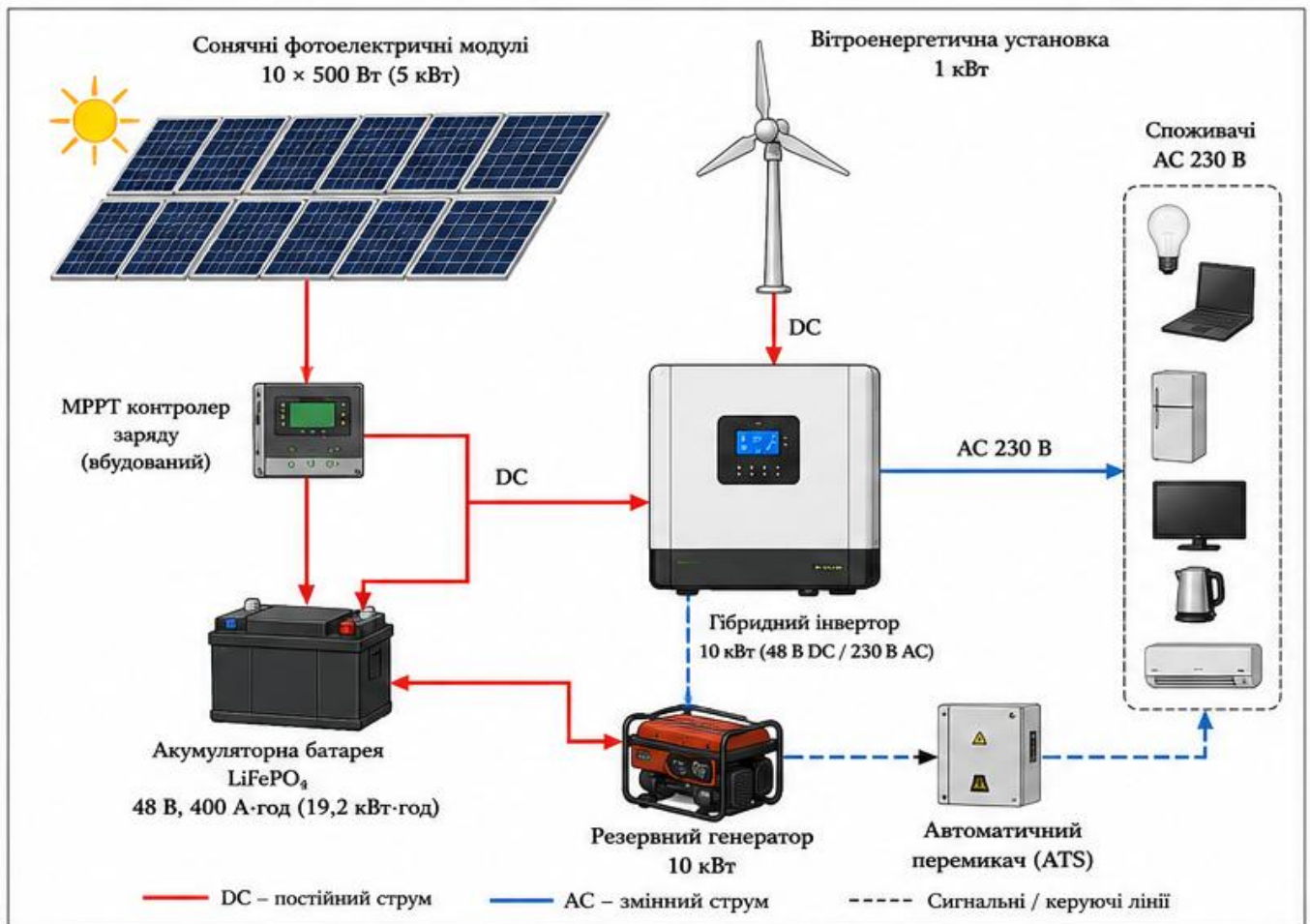


Рисунок 3.1 – Структурна схема автономної системи електропостачання автодому

Приймаємо

$$W_{\text{доб}} = 11 \text{ кВт} \cdot \text{год};$$

$$H = 4 \text{ год};$$

$$\eta = 0,8$$

Після підстановки отримуємо  $P_{PV} = 3,44 \text{ кВт}$

Для забезпечення надійної роботи автономної системи в осінньо-зимовий період, компенсації втрат та створення запасу потужності приймається сонячна електростанція потужністю  $P_{PV} = 5 \text{ кВт}$ .

Для реалізації системи використовуються сонячні модулі потужністю 500 Вт.

$$\text{Кількість модулів визначається } N = \frac{5000}{500} = 10.$$

Отже, до складу автономної системи входить десять сонячних панелей потужністю 500 Вт кожна.

Для забезпечення роботи системи в нічний час та за поганих погодних умов потрібно вибрати акумуляторну батарею.

Ємність АКБ визначається із:

$$C = \frac{W_{рез}}{U \cdot DOD \cdot \eta} \quad (3.2)$$

де  $W_{рез}$  – необхідний запас енергії;

$U$  – напруга акумуляторної системи;

$DOD$  – допустима глибина розряду;

$\eta$  – ККД акумуляторної батареї.

Приймаємо

$$W_{рез} = 11 \text{ кВт} \cdot \text{год};$$

$$U = 48 \text{ В};$$

$$DOD = 0,8;$$

$$\eta = 0,95.$$

Після розрахунку отримуємо  $C = 302 \text{ А} \cdot \text{год}$

З урахуванням резерву приймається акумуляторна батарея типу LiFePO4 з такими параметрами:

- номінальна напруга – 48 В;
- ємність – 400 А·год;
- запас енергії – 19,2 кВт·год.

Для живлення споживачів змінного струму використовується гібридний інвертор. Його потужність визначається:

$$P_{inv} = K_3 P_{max} \quad (3.3)$$

де  $K_3$  – коефіцієнт запасу;

$P_{max}$  – максимальна потужність навантаження

Приймаємо  $K_3 = 1,3; P_{max} = 7,5 \text{ кВт}$ .

Тоді  $P_{inv} = 9,75 \text{ кВт}$ .

Приймається гібридний інвертор потужністю 10 кВт із вбудованим MPPT-контролером заряду.

Для підвищення автономності системи передбачається використання вітроенергетичної установки. Її потужність визначається співвідношенням

$$P_{BEV} = 0,2P_{PV} \quad (3.4)$$

Тоді  $P_{BEV} = 1 \text{ кВт}$

Приймається горизонтальна вітроенергетична установка номінальною потужністю 1 кВт.

Для забезпечення гарантованого електропостачання під час тривалої відсутності сонячного випромінювання та слабкого вітру використовується резервний генератор.

Його потужність визначається:

$$P_{ген} = 1,2P_{max} \quad (3.5)$$

Після підстановки  $P_{ген} = 9 \text{ кВт}$

Приймається резервний бензиновий або дизельний генератор потужністю 10 кВт з автоматичним запуском.

Для оцінки ефективності роботи автономної системи електропостачання проведено аналіз річного балансу виробництва та споживання електроенергії. Розрахунок виконано для сонячної електростанції встановленою потужністю 5 кВт, що складається з десяти фотоелектричних модулів потужністю 500 Вт кожний.

Результати наведені в таблиці 3.1, а графічна інтерпретація – на рисунку 3.2.

Таблиця 3.1 – Баланс виробництва та споживання електроенергії автономної системи електропостачання автодому

Місяць	Сонячна радіація, кВт·год/м <sup>2</sup>	Потреба автодому, кВт·год	Генерація одного модуля, кВт·год	Генерація 10 модулів, кВт·год	Баланс, кВт·год
Січень	106,8	341,93	22,42	224,2	-117,73
Лютий	144,9	308,84	30,42	304,2	-4,64
Березень	152,4	258,23	32,12	321,2	+62,97
Квітень	167,4	249,91	25,14	251,4	+1,49
Травень	175,5	258,23	26,25	262,5	+4,27
Червень	176,7	177,92	26,51	265,1	+87,18
Липень	177,3	183,83	26,59	265,9	+82,07
Серпень	174,0	177,92	26,11	261,1	+83,18
Вересень	144,9	261,33	30,42	304,2	+42,87
Жовтень	109,2	252,91	22,91	229,1	-23,81
Листопад	89,7	261,33	18,83	188,3	-73,03
Грудень	70,2	341,93	14,74	147,4	-194,53
Разом	1689,0	3074,31	302,46	3024,60	+364,03 / -413,74

На підставі результатів, наведених у таблиці 3.1, побудовано графік річного балансу виробництва та споживання електроенергії автономної системи, який наведено на рисунку 3.2.

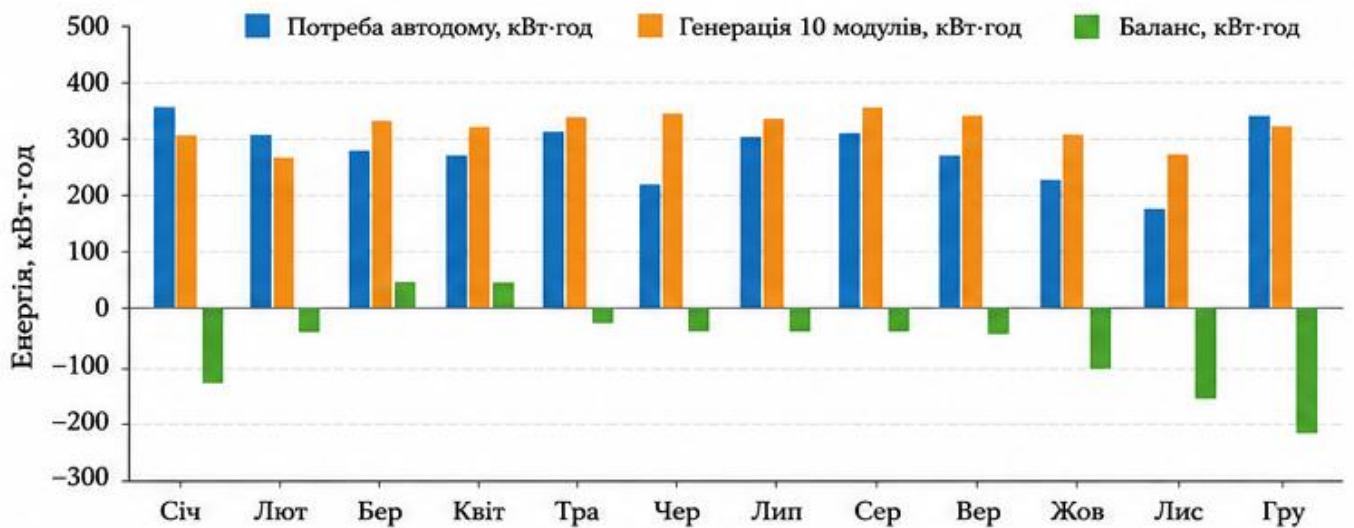


Рисунок 3.2 – Річний баланс виробництва та споживання електроенергії автономної системи

Аналіз отриманих результатів показує, що в період з березня по вересень сонячна електростанція забезпечує повне покриття потреб автодому та формує певний надлишок електроенергії. Найбільший профіцит спостерігається в літні місяці і може використовуватися для заряджання акумуляторної батареї.

У зимовий період виробництво сонячної електроенергії є недостатнім для повного забезпечення потреб автономної системи. Найбільший дефіцит електроенергії припадає на грудень та січень. Для його компенсації передбачено використання акумуляторної батареї, вітроенергетичної установки потужністю 1 кВт та резервного генератора потужністю 10 кВт.

Загалом проведені розрахунки підтверджують, що автономна система електропостачання автодому, яка складається із сонячної електростанції потужністю 5 кВт (10 фотоелектричних модулів по 500 Вт), акумуляторної батареї LiFePO<sub>4</sub> ємністю 19,2 кВт·год, гібридного інвертора потужністю 10 кВт, вітроенергетичної установки потужністю 1 кВт та резервного генератора потужністю 10 кВт, забезпечує надійне електропостачання автодому в умовах експлуатації на території України. Використання комбінованої схеми електроживлення дозволяє максимально ефективно використовувати енергію відновлюваних джерел та підвищити енергетичну автономність транспортного засобу.

На рисунку 3.3 наведено співвідношення основних елементів автономної системи електропостачання.

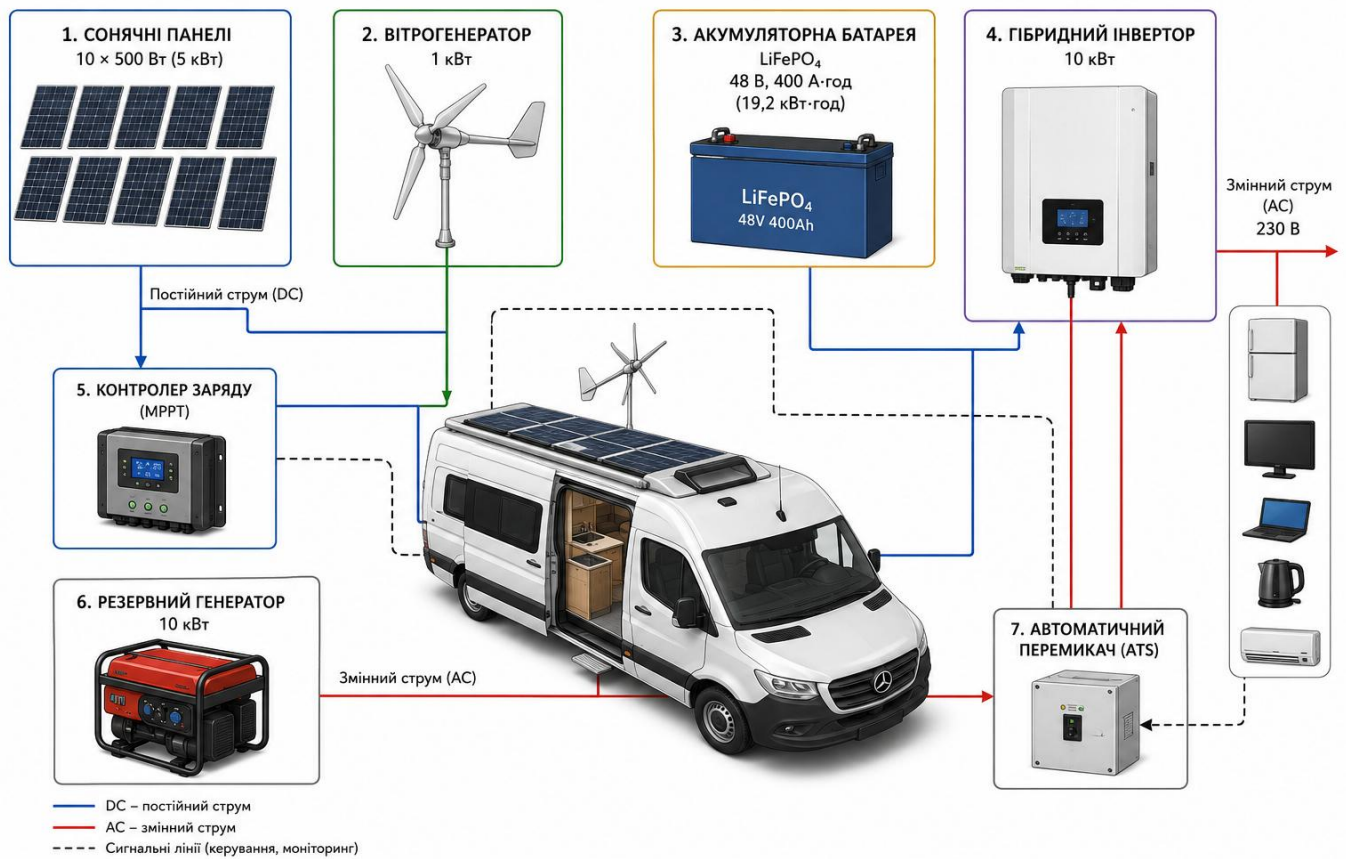


Рисунок 3.3 – Основні елементи автономної системи електропостачання автодому

Основні технічні характеристики системи наведені в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Основні елементи автономної системи електропостачання

Елемент	Параметри
Сонячні панелі	10 × 500 Вт
Загальна потужність СЕС	5 кВт
Акумуляторна батарея LiFePO <sub>4</sub>	48 В, 400 А·год
Запас енергії АКБ	19,2 кВт·год
Гібридний інвертор	10 кВт
Вітрогенератор	1 кВт
Резервний генератор	10 кВт

Таким чином, проведені розрахунки показали, що запропонована автономна система електропостачання, до складу якої входять сонячна електростанція потужністю 5 кВт, акумуляторна батарея LiFePO<sub>4</sub> ємністю 19,2 кВт·год, гібридний інвертор потужністю 10 кВт, вітроенергетична установка потужністю 1 кВт та резервний генератор потужністю 10 кВт, забезпечує надійне електроживлення автодому в умовах експлуатації на території України та дозволяє максимально використовувати енергію відновлюваних джерел.

### **3.2 Моделювання автономної системи електропостачання**

Одним із важливих етапів розробки автономної системи електропостачання автодому є дослідження режимів роботи сонячних фотоелектричних модулів та акумуляторної батареї за допомогою імітаційного моделювання. Використання програмного комплексу MATLAB/Simulink дозволяє оцінити ефективність роботи системи ще на стадії проєктування, визначити її основні електричні характеристики та перевірити працездатність в різних режимах експлуатації.

На підставі виконаних розрахунків та прийнятої структури автономної системи електропостачання побудовано імітаційну модель сонячного модуля, підключеного до акумуляторної батареї через систему керування зарядом та балансування. Використання такого підходу дає можливість дослідити процеси генерації, накопичення та передачі електричної енергії, а також оцінити вплив зміни сонячної радіації та навантаження на роботу всієї системи.

На рисунку 3.4 наведено схему підключення сонячного модуля до акумуляторної батареї із пристроєм балансування.

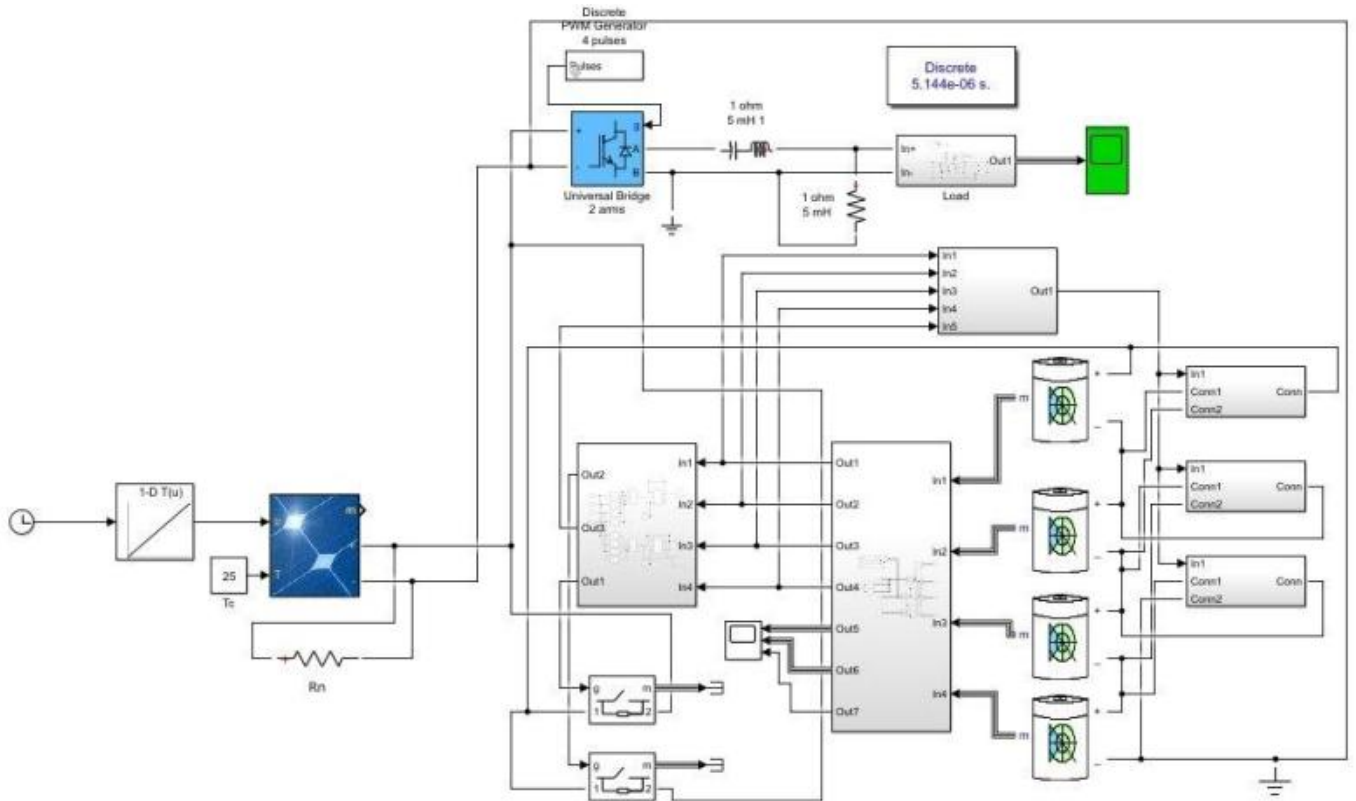


Рисунок 3.4 – Схема підключення сонячного модуля до акумуляторної батареї з пристроєм балансування

Однією з основних умов надійної роботи акумуляторної батареї є забезпечення однакового ступеня заряду всіх її елементів. У процесі експлуатації через технологічні особливості виготовлення та різні струми саморозряду окремих акумуляторів виникає нерівномірність їх зарядження. З часом це призводить до збільшення різниці між напругами окремих комірок та зменшення загальної ємності батареї.

Для усунення зазначеного недоліку використовуються системи балансування акумуляторних батарей. У даній роботі розглянуто принцип роботи пасивної системи балансування, яка забезпечує вирівнювання напруг окремих елементів шляхом розсіювання надлишкової енергії на баластних резисторах. Такий спосіб дозволяє підтримувати приблизно однаковий рівень заряду окремих акумуляторів та підвищує надійність роботи системи накопичення енергії. Водночас пасивне балансування не компенсує відмінності у фактичній ємності окремих елементів

батареї, тому тривалість автономної роботи всієї акумуляторної системи визначається акумулятором із найменшою ємністю.

У процесі моделювання задавалися основні технічні характеристики фотоелектричного модуля, зокрема номінальна потужність, напруга холостого ходу, струм короткого замикання, максимальна робоча напруга та максимальний робочий струм. Це дозволило максимально наблизити математичну модель до реальних експлуатаційних характеристик обладнання.

На рисунку 3.5 представлені основні вихідні параметри сонячного модуля, отримані в результаті моделювання.

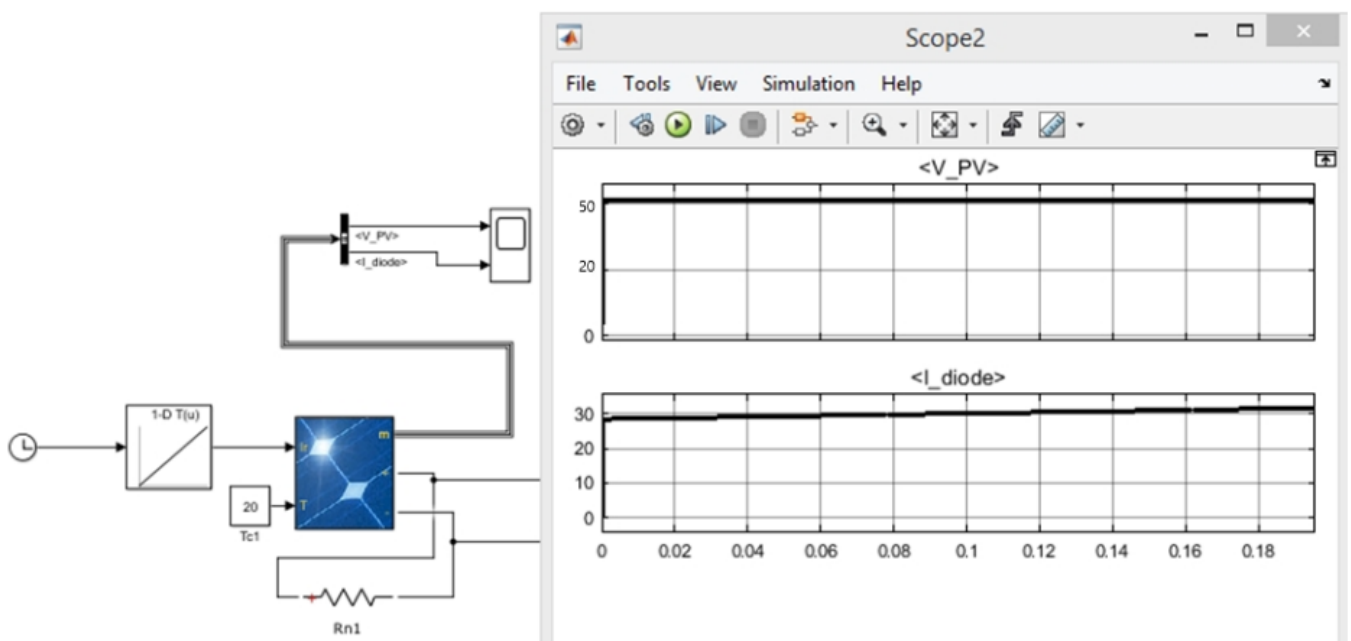


Рисунок 3.5 – Вихідні параметри сонячного модуля

Отримані результати показують стабільну роботу фотоелектричного модуля та підтверджують правильність вибору його параметрів для автономної системи електропостачання автодому. Зміна вихідної напруги та струму відповідає характеру зміни сонячного випромінювання та навантаження системи.

Особливу увагу під час дослідження було приділено роботі акумуляторної батареї, оскільки саме вона забезпечує накопичення виробленої електроенергії та живлення споживачів у нічний час або за несприятливих погодних умов.

На рисунку 3.6 наведено електричні характеристики на виході акумуляторної батареї.

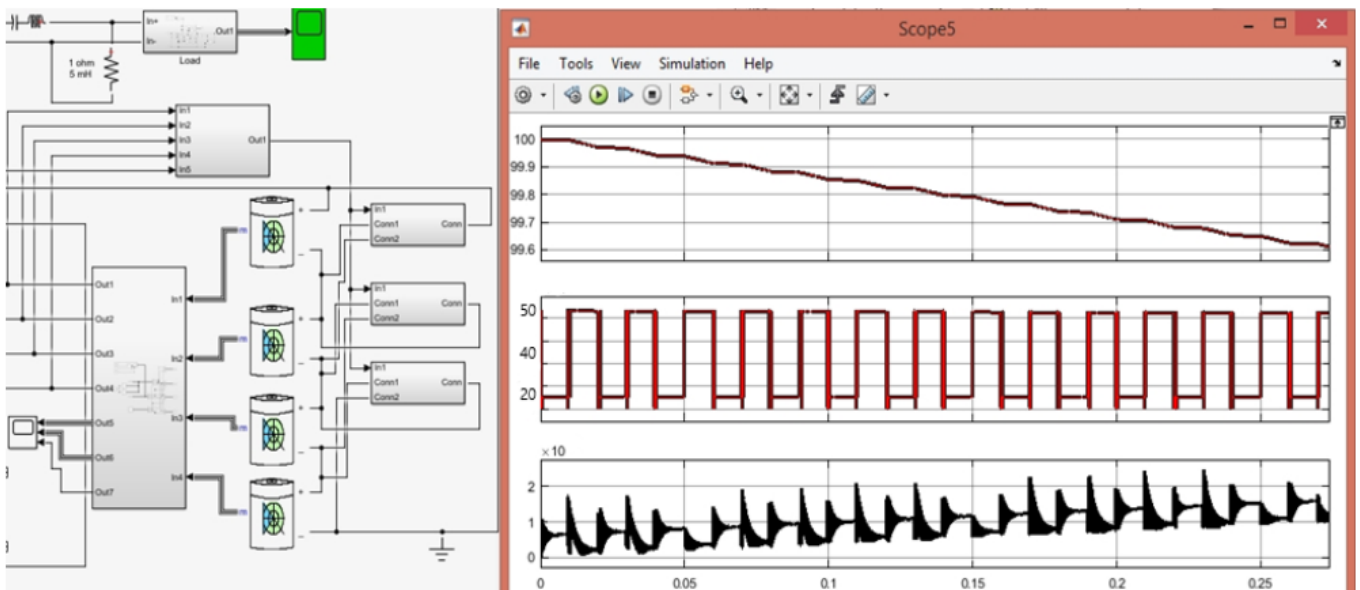


Рисунок 3.6 – Характеристики на виході акумуляторної батареї

Аналіз отриманих характеристик показує, що система забезпечує стабільні значення вихідної напруги та струму, необхідні для надійного функціонування електрообладнання автотранспорту. При цьому процеси зарядження та розрядження акумуляторної батареї відбуваються без суттєвих коливань, що позитивно впливає на термін її експлуатації та ефективність роботи всієї системи.

Для більш детального аналізу працездатності автономної системи електропостачання проведено дослідження її роботи при змінних режимах навантаження та різній інтенсивності сонячного випромінювання.

На рисунку 3.7 наведено графік зміни навантаження системи.

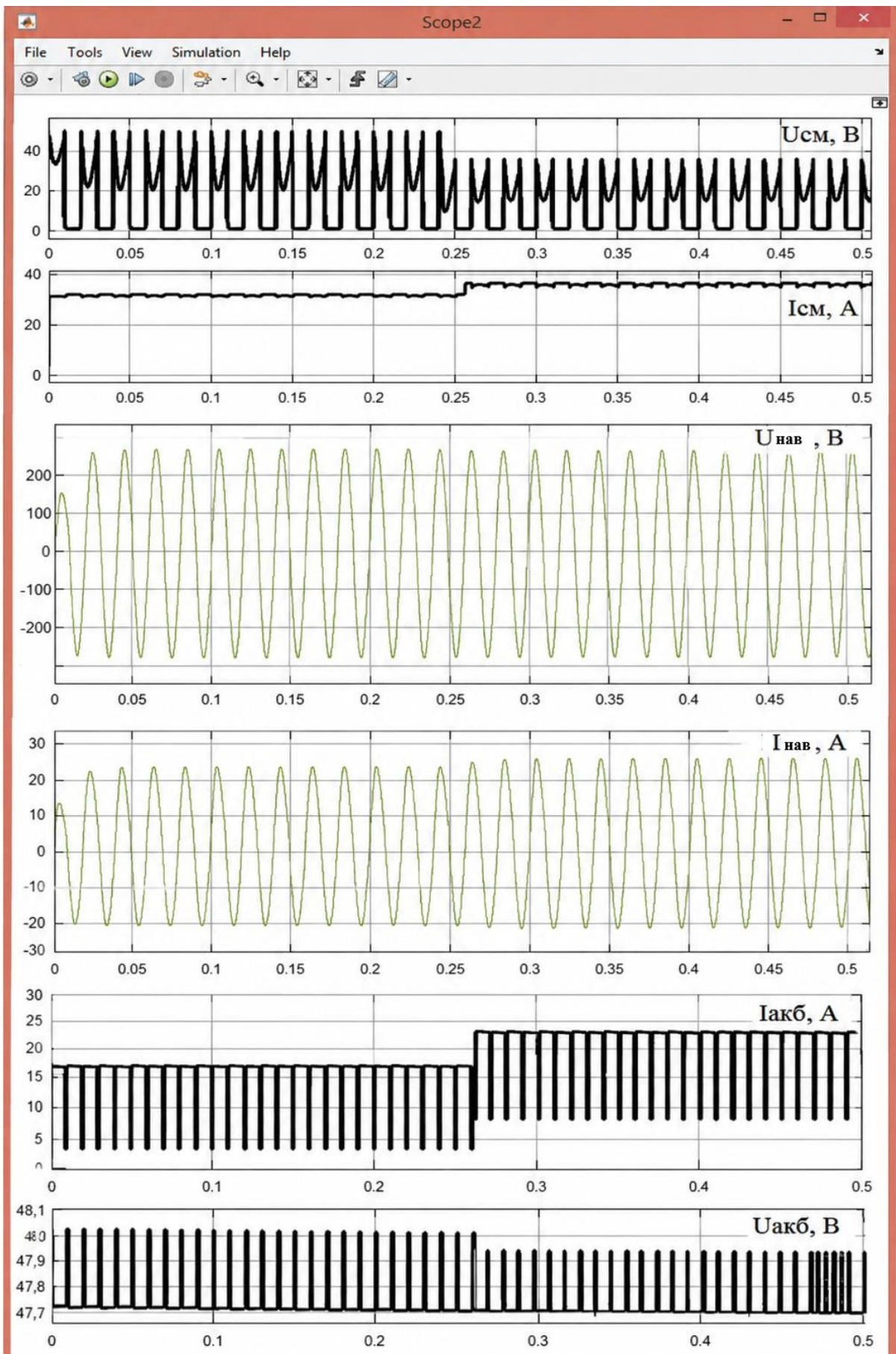


Рисунок 3.7 – Графік зміни навантаження та скидання навантаження

Отримані результати свідчать про те, що при різкій зміні потужності споживачів система швидко адаптується до нового режиму роботи та забезпечує стабільні параметри електроживлення без виникнення небезпечних перехідних процесів.

Для оцінки впливу зміни сонячного випромінювання на роботу автономної системи було побудовано графік зміни освітленості, який наведено на рисунку 3.8.

Проведене моделювання показало, що навіть при значних коливаннях інтенсивності сонячного випромінювання система зберігає працездатність та забезпечує безперервне живлення споживачів завдяки використанню акумуляторної батареї та системи керування зарядом.

Порівняння результатів моделювання з технічними характеристиками сонячного модуля, заявленими виробником, показало їх високу відповідність. Відхилення між розрахунковими та паспортними параметрами не перевищують допустимих значень, що підтверджує адекватність створеної математичної моделі.

Таким чином, результати імітаційного моделювання підтвердили працездатність запропонованої автономної системи електропостачання автодому. Дослідження показали, що сонячний модуль, акумуляторна батарея та система керування забезпечують стабільні вихідні параметри при зміні навантаження та сонячного випромінювання. Застосування системи балансування сприяє підвищенню надійності роботи акумуляторної батареї, а використання сучасних засобів накопичення та перетворення електроенергії забезпечує ефективне функціонування всієї автономної системи електропостачання в умовах експлуатації на території України.

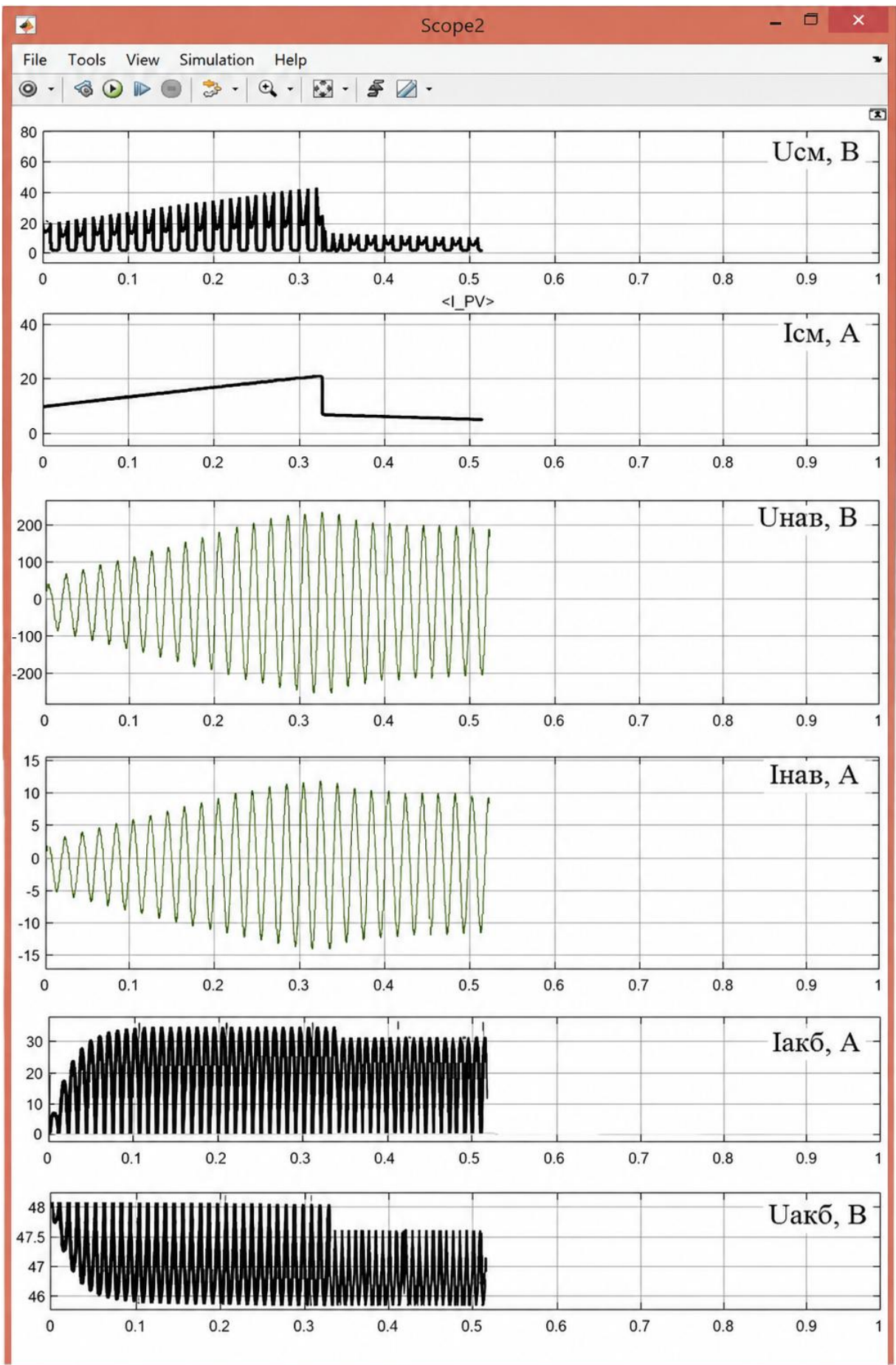


Рисунок 3.8 – Графік зміни сонячного випромінювання

### 3.3 Висновки до розділу

У третьому розділі кваліфікаційної роботи бакалавра виконано вибір та обґрунтування основних елементів автономної системи електропостачання автодому, а також проведено моделювання її роботи в середовищі MATLAB/Simulink. На основі виконаних розрахунків обрано сонячну електростанцію потужністю 5 кВт, акумуляторну батарею LiFePO<sub>4</sub> ємністю 19,2 кВт·год, гібридний інвертор потужністю 10 кВт, вітроенергетичну установку потужністю 1 кВт та резервний генератор потужністю 10 кВт.

Проведений аналіз балансу виробництва та споживання електроенергії показав, що запропонована система здатна забезпечити потреби автодому в різні пори року, а дефіцит електроенергії в зимовий період компенсується накопичувачем енергії та резервними джерелами живлення.

Результати імітаційного моделювання підтвердили працездатність автономної системи та стабільність її роботи при зміні навантаження і сонячного випромінювання. Отримані результати свідчать про технічну доцільність використання запропонованої комбінованої системи електропостачання автодому в умовах України.

## 4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

### 4.1 Загальні вимоги

Безпечна експлуатація електроустановок є однією з основних умов забезпечення надійної роботи електрообладнання, запобігання аваріям, пожежам та ураженню персоналу електричним струмом. Для цього під час монтажу, технічного обслуговування та експлуатації електричних мереж і установок необхідно дотримуватися встановлених вимог нормативних документів, які регламентують порядок їх безпечного використання.

До основних вимог щодо експлуатації електроустановок належать такі положення:

1.1. Усе електрообладнання (корпуси електричних машин, трансформаторів, апаратів, світильників, розподільчих щитів, щитів управління, металеві корпуси пересувних і переносних електроприймачів тощо) підлягає зануленню або заземленню відповідно до вимог розділів Правил улаштування електроустановок (ПУЕ) [13].

1.2. На підприємстві слід встановити порядок відключення напруги з електрообладнання, силових та контрольних кабелів на випадок пожежі. При цьому електроживлення систем пожежної автоматики, протипожежного водопостачання та експлуатаційного (аварійного) освітлення не повинно відключатися.

1.3. В усіх приміщеннях, які після закінчення роботи замикаються і не контролюються черговим персоналом, з усіх електроустановок та електроприладів, а також з мереж їхнього живлення повинна бути відключена напруга (за винятком чергового освітлення, протипожежних та охоронних установок, а також електроустановок, які за вимогами технології працюють цілодобово). При цьому в будівлях усі електроустановки, які працюють цілодобово, повинні бути заживлені самостійними лініями, починаючи від увідного пристрою в будівлю. Кожна така електроустановка повинна мати свій апарат захисту (запобіжник або автоматичний

вимикач). Вимкнення електропостачання повинно виконуватися від одного загального вимикача, до якого є вільний доступ електротехнічному персоналу та який розміщений біля виходу з будівлі.

1.4. Електроприлади та апаратура повинні вмикатися в електромережу тільки за допомогою справних штепсельних з'єднань та електророзеток заводського виготовлення.

1.5. Електричні машини, апарати, обладнання (апарати управління, пускорегулювання, контрольно-вимірювальні прилади, електродвигуни, світильники тощо), електропроводи та кабелі за виконанням та ступенем захисту повинні відповідати класу зони згідно з ПУЕ, мати апаратуру захисту від струмів короткого замикання та інших аварійних режимів.

1.6. Плавкі вставки запобіжників повинні бути калібровані із зазначенням на клеймі номінального струму вставки (клеймо ставиться заводом-виготовлювачем або електротехнічною лабораторією).

1.7. Температура зовнішньої поверхні електроопалювальних приладів у найбільш нагрітому місці в нормальному режимі роботи не повинна перевищувати 85 °С.

1.8. Несправності в електромережах та електроапаратурі, які можуть викликати іскріння, коротке замикання, понаднормовий нагрів горючої ізоляції кабелів і проводів, повинні негайно ліквідуватися черговим персоналом. Пошкоджену електромережу потрібно відключати до приведення її в пожежобезпечний стан.

1.9. Замір опору ізоляції електричних мереж та електроустановок має проводитися в особливо вологих і жарких приміщеннях, у зовнішніх установках, а також у приміщеннях з хімічно активним середовищем у повному обсязі не рідше 1 разу на рік, в інших випадках — 1 раз на 2 роки, якщо інші терміни не обумовлені правилами технічної експлуатації.

1.10. На електродвигуни, світильники, інші електричні машини, апарати та обладнання, встановлені у вибухонебезпечних або пожежонебезпечних зонах,

повинні бути нанесені знаки, які вказують на ступінь їхнього захисту згідно з чинними стандартами.

1.11. Електропостачання всіх протипожежних пристроїв (пожежних насосів, вогнезатримуючих клапанів з електроприводом, централізованої системи оповіщення про пожежу, установок охоронно-пожежної сигналізації, пожежогасіння, електрозасувки на протипожежних водопроводах, сигналізаторів вибухонебезпечних концентрацій горючих газів, вибухонебезпечних парів, пилу тощо слід виконувати за першою категорією надійності, крім випадків, обумовлених у нормативних документах.

2. Не дозволяється:

2.1. Відкрите прокладання електропроводів і кабелів транзитом через пожежонебезпечні і вибухонебезпечні зони будь-якого класу і ближче 1 м і 5 м від них відповідно, а також у сходових майданчиках;

2.2. Прокладання проводів і кабелів (за винятком тих, які прокладаються в сталевих трубах) безпосередньо поверхнею металевих панелей та плит з полімерними утеплювачами, а також установлення електричних апаратів, щитів тощо ближче 1 м від указаних конструкцій;

2.3. Проходження повітряних ліній електропередач та зовнішніх електропроводок над горючими покрівлями, навісами, штабелями лісу, складами паливно-мастильних матеріалів, торфу, дров та інших горючих матеріалів;

2.4. Експлуатація кабелів і проводів з пошкодженою або такою, що в процесі експлуатації втратила захисні властивості, ізоляцією;

2.5. Залишення під напругою кабелів та проводів з неізольованими струмопровідними жилами;

2.6. Застосування саморобних подовжувачів, які не відповідають вимогам ПУЕ до переносних (пересувних) електропроводок;

2.7. Застосування електричних опалювальних приладів у приміщеннях категорій за вибухопожежонебезпекою А та Б, у пожежонебезпечних зонах складських приміщень, у будівлях архівів, музеїв, картинних галерей, бібліотек (крім спеціально призначених і обладнаних для цього приміщень);

2.8. Застосування для опалення приміщення нестандартного (саморобного) електронагрівального обладнання або ламп розжарювання;

2.9. Улаштування та експлуатація тимчасових електромереж;

2.10. Користування пошкодженими розетками, відгалужувальними та з'єднувальними коробками, вимикачами та іншими електровиробами, а також лампами, скло яких має сліди затемнення або випинання;

2.11. Установлення будь-яких місцевих вимикачів або штепсельних роз'єднувачів у мережах аварійного (евакуаційного) освітлення;

2.12. Підвішування світильників безпосередньо на струмопровідні проводи, обгортання електроламп і світильників папером, тканиною та іншими горючими матеріалами, експлуатація їх зі знятими ковпаками (розсіювачами);

2.13. Використання електроапаратури та приладів в умовах, які не відповідають вказівкам підприємств-виготовлювачів;

2.14. Застосування в пожежонебезпечних зонах складських приміщень світильників з відбивачами та розсіювачами, виготовленими з горючих матеріалів;

2.15. Використання в пожежонебезпечних зонах світильників з лампами розжарювання без захисного суцільного скла (ковпаків);

2.16. Залишення без догляду при виході з приміщення увімкнених в електромережу нагрівальних приладів, телевізорів, радіоприймачів тощо;

2.17. Складування горючих матеріалів на відстані менше 1 м від електроустаткування та під електрощитами;

2.18. Використання роликів, вимикачів, штепсельних розеток для підвішування одягу й інших предметів;

2.19. Заклеювання відкрито прокладених електропроводів і кабелів папером, горючими тканинами;

2.20. Використання побутових електронагрівальних приладів (прасок, чайників, кип'ятильників тощо) без негорючих теплоізоляційних підставок та в місцях (приміщеннях), де їх застосування не передбачено технологічним процесом або іншими нормативними документами

## **4.2 Значення охорони праці в системах електричного освітлення**

Організація безпечних умов праці є одним із найважливіших аспектів під час проектування, монтажу та експлуатації систем вуличного освітлення. З урахуванням того, що електрообладнання знаходиться під високою напругою та розміщується на відкритих ділянках, особливе значення набуває дотримання правил техніки безпеки та протипожежного захисту.

Роботи, пов'язані з монтажем і обслуговуванням електричних мереж, відносяться до **підвищеної небезпеки**, а отже, вимагають особливої уваги до підготовки працівників, наявності відповідного інструменту та використання захисних засобів.

## **4.3 Вимоги безпеки під час виконання робіт в електроустановках під напругою**

Експлуатація, технічне обслуговування та ремонт електроустановок належать до робіт підвищеної небезпеки, оскільки пов'язані з ризиком ураження електричним струмом, виникнення електричної дуги, опіків, пожеж та інших аварійних ситуацій. Тому під час виконання будь-яких робіт в електроустановках необхідно суворо дотримуватися вимог нормативних документів з охорони праці, правил технічної експлуатації електроустановок та інструкцій з електробезпеки.

До виконання робіт в електроустановках допускаються лише особи, які досягли 18-річного віку, пройшли відповідне навчання, медичний огляд, перевірку знань правил безпечної експлуатації електроустановок та мають необхідну кваліфікаційну групу з електробезпеки. Працівники повинні володіти навичками надання домедичної допомоги потерпілим від дії електричного струму, а також знати порядок дій у разі виникнення аварійних ситуацій.

Особливу увагу необхідно приділяти роботам, що виконуються безпосередньо поблизу струмопровідних частин, які перебувають під напругою. Такі роботи допускаються лише у виняткових випадках та за умови виконання комплексу

організаційних і технічних заходів безпеки. Перевага завжди надається роботам зі зняттям напруги та накладанням переносних заземлень.

Під час роботи категорично забороняється торкатися відкритих струмопровідних частин електрообладнання, проводів, шин та контактів, що перебувають під напругою. Навіть короткочасний контакт із струмоведучими елементами може призвести до тяжких травм або смертельного ураження електричним струмом. Забороняється також використовувати пошкоджені електроінструменти, несправні вимірювальні прилади, засоби індивідуального захисту із закінченим терміном випробування або обладнання з пошкодженою ізоляцією.

Виконання ремонтних, налагоджувальних та монтажних робіт повинно здійснюватися тільки після відключення електроустановки від джерела живлення. Після вимкнення необхідно перевірити відсутність напруги за допомогою справного покажчика напруги, виконати заходи щодо запобігання помилковому поданню напруги та встановити переносні заземлення. На приводах комутаційних апаратів вивішуються плакати безпеки з написами «Не вмикати! Працюють люди» або аналогічними попередженнями.

Важливою умовою безпечного виконання робіт є правильне використання засобів індивідуального захисту. До основних захисних засобів належать діелектричні рукавички, діелектричне взуття, ізолювальні штанги, кліщі, покажчики напруги та інструмент з ізольованими ручками. Усі засоби захисту повинні проходити періодичні електричні випробування та мати відповідні маркування про придатність до експлуатації.

Перед початком робіт працівник повинен ретельно перевірити технічний стан інструментів, справність засобів захисту та наявність необхідної документації. Особлива увага приділяється перевірці цілісності ізоляції ручного електроінструменту, відсутності механічних пошкоджень кабелів та надійності контактних з'єднань. Використання несправного обладнання є неприпустимим.

Робоче місце повинно бути належним чином підготовлене. Для цього встановлюються захисні огорожі, попереджувальні плакати та знаки безпеки, які

інформують про наявність небезпечної напруги та забороняють доступ сторонніх осіб до зони виконання робіт. У місцях можливого наближення до струмоведучих частин застосовуються додаткові ізолювальні накладки та захисні екрани.

Однією з важливих організаційних вимог є проведення цільового або позапланового інструктажу з охорони праці перед виконанням робіт. Працівники повинні бути ознайомлені з особливостями електроустановки, можливими небезпеками, порядком виконання технологічних операцій та заходами реагування у випадку аварії. Керівник робіт зобов'язаний переконатися у достатній підготовці персоналу та забезпечити постійний контроль за дотриманням вимог безпеки.

Під час виконання робіт у приміщеннях з підвищеною небезпекою, таких як вологі, запилені або особливо жаркі приміщення, необхідно застосовувати додаткові заходи захисту. До них належать використання пониженої напруги для ручного інструменту, застосування захисних вимикачів диференційного струму, посилений контроль стану ізоляції та використання додаткових засобів індивідуального захисту.

У разі виникнення аварійної ситуації або виявлення ознак несправності обладнання роботи необхідно негайно припинити. Персонал повинен повідомити відповідального керівника та вжити заходів для недопущення розвитку аварії. Якщо сталася електротравма, насамперед потрібно звільнити потерпілого від дії електричного струму без загрози для власного життя, викликати швидку медичну допомогу та надати домедичну допомогу до прибуття медичних працівників.

Таким чином, безпечна робота в електроустановках забезпечується комплексним виконанням організаційних і технічних заходів, використанням справних засобів захисту, належною підготовкою персоналу та суворим дотриманням вимог нормативних документів з охорони праці та електробезпеки. Це дозволяє мінімізувати ризик виробничого травматизму, забезпечити надійну експлуатацію електрообладнання та зберегти життя і здоров'я працівників.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У ході виконання роботи проведено аналіз енергетичних потреб автодому та визначено основні фактори, що впливають на ефективність роботи автономної системи електропостачання. Виконано розрахунок електричних навантажень, який показав нерівномірність споживання електроенергії протягом року та необхідність використання систем накопичення енергії й резервних джерел живлення.

Проведено аналіз сонячної радіації та швидкості. Встановлено, що використання сонячних фотоелектричних модулів забезпечує основну частину виробництва електроенергії, а застосування вітроенергетичної установки дозволяє компенсувати сезонне зниження сонячної генерації та підвищити надійність електропостачання.

Здійснено вибір та обґрунтування складу автономної системи електропостачання та визначено основні параметри її обладнання. До складу системи включено сонячну електростанцію потужністю 5 кВт, акумуляторну батарею LiFePO<sub>4</sub> ємністю 19,2 кВт·год, гібридний інвертор потужністю 10 кВт, вітроенергетичну установку потужністю 1 кВт та резервний генератор потужністю 10 кВт. Аналіз енергетичного балансу показав, що запропонована система забезпечує ефективне покриття потреб автодому в електроенергії та дозволяє компенсувати сезонні коливання виробітку енергії.

Досліджено працездатність розробленої системи за допомогою сучасних засобів комп'ютерного моделювання. У середовищі MATLAB/Simulink побудовано імітаційну модель автономної системи електропостачання та проведено дослідження режимів її роботи при зміні сонячного випромінювання та навантаження. Результати моделювання підтвердили стабільність роботи сонячних модулів, акумуляторної батареї та системи керування, а також відповідність отриманих характеристик розрахунковим параметрам. Дослідження показали, що запропонована система здатна підтримувати необхідні значення напруги та струму, забезпечуючи безперервне електроживлення споживачів.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Sanda, M.G.; Emam, M.; Ookawara, S.; Hassan, H. Techno-enviro-economic evaluation of on-grid and off-grid hybrid photo-voltaics and vertical axis wind turbines system with battery storage for street lighting application. *J. Clean. Prod.* 2025.
2. Samatar, A.M.; Mekhilef, S.; Mokhlis, H.; Kermadi, M.; Alshammari, O. Performance analysis of hybrid off-grid renewable energy systems for sustainable rural electrification. *Energy Convers. Manag.* X 2024,24.
3. Alkahtani, A.A.; Al-Shetwi, A.Q.; El-Hameed, M.A.; Atawi, I.E.; Sahli, F.A.; Adaqriri, M.H. Hybrid Renewable Energy and Smart App-Based Management for Efficient and Sustainable EV Charging Infrastructure. *Int. J. Energy Res.* 2025.
4. Пляшевський, В. В., Ухач, І. І., & Філюк, Я. О. (2024). Використання альтернативні джерела енергії для побутових споживачів. Збірник тез доповідей XIII Міжнародної науково-практичної конференції молодих учених та студентів „Актуальні задачі сучасних технологій“, 281-281.
5. Філюк, Я. О., Андрійчук, В. А., Лисий, А. М., & Кваковський, Д. І. (2022). Системи керування автономною фотоелектричною установкою для віддалених споживачів. Матеріали XI Міжнародної науково-практичної конференції молодих учених та студентів „Актуальні задачі сучасних технологій“, 97-97.
6. Герега, С., Коваль, В. П., & Філюк, Я. О. (2017). Збільшення ефективності використання сонячних панелей. Матеріали III Всеукраїнської науково-технічної конференції „Теоретичні та прикладні аспекти радіотехніки і приладобудування“, 202-202.
7. Andriychuk, V., & Filyuk, Y. (2017). Research of energy potential of solar radiation in Ternopil. *Scientific Journal of the Ternopil National Technical University*, (1), 85.
8. Andriychuk, V., & Filyuk, Y. (2017). Use of solar energy for the outdoor lighting of Ternopil. *Scientific journal of the Ternopil national technical university*, (3), 126-133.

9. Andreychuk, V., & Filyuk, Y. (2017). Analysis of the energy potential of solar light of the western region of Ukraine with the account of climatic conditions. EUREKA: Physics and Engineering, (4), 25-32.

10. Філюк, Я. О., & Андрійчук, В. А. (2016). Вимірювання енергії сонячного випромінювання на широті Тернопільського регіону. Матеріали ХІХ наукової конференції Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя, 175-175.

11. Коваль, В. П., & Похилий, О. І. (2025). Вітроенергетика України: проблеми та перспективи будівництва нових вітрових електростанцій. Матеріали ХІV Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів „Актуальні задачі сучасних технологій“, 399-401.

12. Тарасенко М.Г., Коваль В.П., Буняк О.А., Мовчан Л.Т. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи бакалавра для здобувачів першого рівня вищої освіти за ОПП Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка/ В.П. Коваль, М.Г. Тарасенко, О.А. Буняк, Л.Т. Мовчан – Тернопіль: ТНТУ, 2024. – 50 с.

13. Методичні вказівки для написання розділу «Безпека життєдіяльності, основи охорони праці» в кваліфікаційних роботах здобувачів освітнього рівня „бакалавр”. Для студентів всіх форм навчання рівень вищої освіти перший (бакалаврський) / укл. : О. Я. Гурик, І. Б. Окіпний. – Тернопіль : ТНТУ імені Івана Пулюя, 2021. - 20 с.