

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя
(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії
(назва факультету)

Кафедра електричної інженерії
(повна назва кафедри)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

магістр

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему:

**Розробка системи автономного енергозабезпечення
котеджного будинку**

Виконав: студент 6 курсу, групи ЕТм-62

напряму підготовки (спеціальності)

**141 «Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка»**

(шифр і назва напряму підготовки, спеціальності)

Керівник

Нормоконтроль

Завідувач кафедри

Рецензент

Кухарець Б.В.

(прізвище та ініціали)

Белякова І.В.

(прізвище та ініціали)

Коваль В.П.

(прізвище та ініціали)

Коваль В.П.

(прізвище та ініціали)

Габрусєв Г.В.

(прізвище та ініціали)

Тернопіль
2024

Факультет *прикладних інформаційних технологій та електроінженерії*
(повна назва факультету)

Кафедра *електричної інженерії*
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри *Коваль В.П.*

«_____» _____ 2024 р.

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня *магістр*
(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю *141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»*
(шифр і назва)

студенту *Кухарцю Богдану Валентиновичу*
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи *Розробка системи автономного енергозабезпечення
котеджного будинку*

Керівник роботи *Белякова Ірина Володимирівна, к.т.н., доцент*
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом по університету від *10 жовтня 2024 року № 4/7-984*

2. Термін подання студентом роботи *20 грудня 2024 р.*

3. Вихідні дані до роботи *Технічна характеристика будинку, кліматичні умови та місце роз-
ташування будинку, перелік електричних пристроїв, оцінка їх середнього та максимального
навантаження, інсоляція в регіоні, наявність централізованого електропостачання та газо-
постачання*

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

- 1. Аналітичний розділ.*
- 2. Розрахунково-дослідницький розділ.*
- 3. Проектно-конструкторський розділ.*
- 4. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях*

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

- 1. Загальний поповерховий план котеджного будинку.*
- 2. Загальна схема електропостачання по поверхах (вимикачі, розетки, проводка).*
- 3. Загальний план котеджу з розташуванням освітлювальних приладів*
- 4. Схема розподільчого щита котеджного будинку.*
- 5. Загальний вигляд, технічні характеристики та опис роботи автономних джерел живлення.*

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
<i>Охорона праці</i>	<i>к.т.н., доц. Гурик О.Я.</i>		
<i>Безпека в надзвичайних ситуаціях</i>	<i>ст. викл. Клепчик В.М.</i>		
<i>Нормоконтроль</i>	<i>к.т.н., доц. Коваль В.П.</i>		

7. Дата видачі завдання

02 вересня 2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Термін виконання етапів проекту	Примітка
1	Літературний огляд за напрямком дипломної роботи	16.09.24 – 18.10.24	
2	Підготовка основної частини пояснювальної записки дипломної роботи	21.10.24 – 01.11.24	
3	Підготовка розділу «Охорона праці та безпека в надзв. ситуаціях»	04.11.24 – 15.11.24	
4	Складання переліку використаних літературних джерел	18.11.24 – 29.11.24	
5	Підготовка вступу, висновків, змісту, реферату	02.12.24 – 13.12.24	
6	Отримання відгуку та рецензії на дипломну роботу, підготовка доповіді на захист	16.12.24 – 20.12.24	

Студент

(підпис)

Кухарець Б.В.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Белякова І.В.

(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Обсяг кваліфікаційної роботи магістра становить 68 сторінок. В роботі міститься 30 рисунків, 17 формул і 7 таблиць.

Дана кваліфікаційна робота присвячена проблемі стабільності та надійності енергопостачання споживачів.

Надійність є однією з найважливіших характеристик системи електропостачання, що багато в чому визначає можливість її практичного використання. Існуюча інфраструктура іноді не здатна забезпечити необхідну надійність електропостачання для сучасних котеджів із високим рівнем споживання електроенергії.

Розв'язання цих проблем можливе шляхом створення автономних систем енергозабезпечення з використанням відновлюваних джерел енергії.

Метою кваліфікаційної роботи є: підвищення надійності електропостачання індивідуального котеджу за рахунок використання відновлюваних джерел енергії.

Об'єктом дослідження є: система енергозабезпечення котеджного будинку, що включає всі компоненти, що забезпечують генерацію, зберігання та розподіл енергії для автономного функціонування.

Предметом дослідження є: принципи, методи та технічні засоби розробки автономної системи енергозабезпечення, зокрема:

1. Джерела відновлюваної енергії (сонячні панелі, вітрові генератори тощо).
2. Системи накопичення енергії (акумулятори, батареї).
3. Інвертори, контролери заряду та інші елементи управління.

Перелік ключових слів:

ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ,
КОТЕДЖНИЙ БУДИНОК, СИСТЕМА ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ, ВІДНОВ-
ЛЮВАНІ ДЖЕРЕЛА ЕНЕРГІЇ.

ЗМІСТ

	с.
ВСТУП.....	6
 1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ	 8
1.1 Проблема надійності електропостачання	8
1.2 Що дає резервне живлення	11
1.3 Джерела автономного резервного живлення	12
1.4 Перспективи застосування відновлювальних джерел енергії для електро-постачання.....	17
1.5 Висновки до розділу 1	20
 2 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ.....	 21
2.1 Опис об'єкта дослідження	21
2.2 Живлення від сонячної електростанції	27
2.2.1 <i>Визначення навантаження та споживання електричної енергії.....</i>	<i>28</i>
2.2.2 <i>Визначення параметрів необхідної ємності та кількості акумуляторних батарей</i>	<i>30</i>

2.2.3 Визначення необхідної кількості фотоелектричних модулів	36
2.2.4 Вибір інвертора	38
2.2.5 Вибір зарядного пристрою (контролера)	42
2.3 Висновки до розділу 2	43
3 РОЗРАХУНКОВО-ДОСЛІДНИЦЬКИЙ РОЗДІЛ.....	45
3.1 Розробка математичної моделі сонячної електростанції	45
3.2 Розрахунок капітальних витрат та терміну окупності СЕС.....	51
3.3 Висновки до розділу 3	56
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ....	57
4.1 Заходи безпеки під час роботи із сонячними панелями.....	57
4.2 Правила безпеки при експлуатації акумуляторних батарей.....	59
4.3 Фактори, що впливають на протипожежну стійкість об'єкту	61
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	65
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	66

ВСТУП

Актуальність теми. Щорічне зростання споживання електроенергії у зв'язку із зростанням добробуту, рівня життя, розвитку технології та промисловості, глобалізації роблять енергетичну галузь одним із найважливіших пунктів у всьому світі. Враховуючи, що багато країн сильно залежать від викопного палива, поряд із вищесказаним, гостро стоїть питання зміни клімату та шкідливих викидів в атмосферу. Щоб подолати складнощі з енергопостачанням та скоротити викиди, поточна політика сталого розвитку має бути спрямована на створення більш децентралізованої, збалансованої та екологічно чистої системи енергопостачання, яка включатиме різні види відновлюваних джерел електроенергії (ВДЕ).

Основна маса установок, що працюють на альтернативних джерелах енергії, мають істотний недолік - залежність кількості електроенергії, що виробляється, від погодних умов і часу доби, а значить його нерівномірність. З цієї причини використання подібних електроустановок для електропостачання енергоємних споживачів неможливо, принаймні, на даному етапі розвитку альтернативної енергетики. Найкращою сферою застосування джерел відновлюваної енергії є житловий сектор.

Метою кваліфікаційної роботи є: підвищення надійності електропостачання індивідуального котеджу за рахунок використання відновлюваних джерел енергії.

Об'єктом дослідження є: система енергозабезпечення котеджного будинку, що включає всі компоненти, що забезпечують генерацію, зберігання та розподіл енергії для автономного функціонування.

Предметом дослідження є: принципи, методи та технічні засоби розробки автономної системи енергозабезпечення, зокрема:

1. Джерела відновлюваної енергії (сонячні панелі, вітрові генератори тощо).
2. Системи накопичення енергії (акумулятори, батареї).

3. Інвертори, контролери заряду та інші елементи управління.

Апробація роботи. Кухарець Б.В. Розробка системи автономного енергозабезпечення котеджного будинку / І.В. Белякова, В.І. Гетманюк, Б.В. Кухарець // Збірник тез доповідей. Матеріали XIII міжнародної науково - технічної конференції «Актуальні задачі сучасних технологій» (м. Тернопіль, 11 - 12 грудня 2024р.) / М-во освіти і науки України, Тернопільський нац. техн. ун-т ім. І. Пулюя – Т.: ТНТУ, 2024.

Структура роботи. Робота складається зі вступу, 4-х розділів, висновків, переліку посилань (24 найменувань).

Загальний обсяг текстової частини – 68 сторінок, 7 таблиць і 30 рисунків.

1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ

1.1 Проблема надійності електропостачання

Надійність електропостачання – проблема, над вирішенням якої посилено працювало і продовжує працювати не одне покоління електроенергетиків. Один із способів вирішення даної проблеми - резервування на всіх рівнях системи електропостачання, проте для забезпечення максимально безперебійної роботи системи необхідно, щоб усі її елементи перебували у задовільному стані. Територія України величезна, і навіть величезна довжина електричних мереж. Забезпечити задовільний стан всіх її елементів - дуже складне завдання. Велика кількість аварій у мережах відбувається саме через втрату елементами працездатності через зношення, на рисунку 1.1. показана загальна схема надійності.



Рисунок 1.1 – Загальна схема розподілу надійності

Усі електрифіковані об'єкти в Україні розділені за трьома категоріями надійності електропостачання.

Найважливіша, **I категорія** включає об'єкти, які вимагають максимально гарантованої безперебійності подачі живлення, а їхнє відключення веде до серйозних та небезпечних наслідків. Тому підключення передбачає два незалежні джерела живлення (трансформаторні лінії) з функцією резервування

(автоматичне перемикання) та обов'язковим третім аварійним джерелом. Знеструмлення можливе лише в аварійних ситуаціях, відновлення електроживлення виконується насамперед і в межах часу, необхідного для перемикання на справне джерело живлення.

II категорія надійності – важливі інфраструктурні об'єкти, знеструмлення яких є вкрай небажаним. Тому вони підключені до двох автономних мереж живлення з функцією взаємного резервування (автономне перемикання), третє аварійне джерело бажане. Знеструмлення створює проблеми обмеженій кількості людей і допускається в аварійних ситуаціях та на час ремонту. Відновлення живлення – у другу чергу та в межах часу, необхідного на ремонт лінії та доставку ремонтників до місця ушкодження.

III категорія надійності – всі інші приватні та комерційні електрифіковані об'єкти, які підключені до одного джерела живлення. Знеструмлення шкодить лише самим об'єктам та їх власникам, припустимо в аварійних ситуаціях, під час термінового ремонту ліній, а також профілактичного обслуговування електрогосподарства енергопостачальника (до 24 годин одночасно та не більше 72 годин протягом року). Відновлюється в останню чергу – після об'єктів I та II категорій.

Проектування систем I категорії надійності за замовчуванням вимагає електричної схеми на 3 джерела живлення (2 основних + 3 аварійний), II категорії – схеми на 2 обов'язкових джерела живлення (третій – за бажанням замовника), а III категорії – одного джерела живлення.

Особливо часто проблема надійності проявляється у розподільчих мережах (РМ). На території України розподільчі мережі забезпечують електропостачання великої кількості населених пунктів та міст. При цьому понад 40% повітряних і кабельних ліній, а також близько 30% підстанцій напругою 110 кВ і нижче перебувають в експлуатації більше, ніж допустимий нормами термін.

Основними напрямками інвестиційної політики у мережах мають бути реконструкція та технічне переозброєння діючих об'єктів електромережевого господарства. Мають застосовуватись нові конструкції лінійної арматури,

зеднувальних елементів, модернізовані типи проводів та кабелів нові типи ізоляторів та інших нових елементів, а також використовуватись удосконалені конструкції існуючих елементів.

Надійна робота мереж повинна відбуватися за оптимального рівня оснащення РМ засобами зв'язку, телевимірювання, телесигналізації та телеуправління та впровадження нових пристроїв РЗ, обов'язкове застосування АВР та АПВ, а також вищого рівня ізоляційних матеріалів.

При еволюції мережі необхідно враховувати можливість зростання навантаження, а також сприйнятливість до застосування нових технологій обслуговування, автоматизації та управління.

Витрати обслуговування розподільчих мереж нового покоління мають бути мінімальними».

«Реалізація цих принципів передбачає ухвалення комплексних науково-технічних програм для розробки сукупності технічних рішень, що дозволяють реалізувати комплексні проблеми розвитку та функціонування розподільчих електричних мереж, а також використання на електромережних об'єктах нового сертифікованого електрообладнання, конструкцій та матеріалів. Застосування вимог єдиної політики повинно сприяти поступовому переходу до РМ нового покоління, які повинні забезпечити:

- забезпечення рівня надійності електропостачання, що відповідає нормам якості електроенергії і узгоджене з потребами споживача.
- адаптацію та сприйнятливість до зростаючих електричних навантажень, нових технологій обслуговування, використання передового обладнання та засобів автоматизації;
- електричну та екологічну безпеку;
- скорочення втрат електричної енергії.

При обґрунтуванні напрямів розвитку РМ питання надійності електропостачання споживачів є найважливішими. Це пов'язано з тим, що саме вимоги до надійності більш ніж інші характеристики якості електроенергії формують схему електричних мереж і характер резервування.

1.2 Що дає резервне живлення

Звичайний будинок може використовувати автономне опалення, вентиляцію, кондиціювання, системи відеоспостереження, охоронної сигналізації, аварійного пожежогасіння. При знеструмленні всі вони автоматично відключаються, що є неприпустимим. Тобто резервне живлення, як мінімум, має забезпечувати критичні електричні кола, умовна схема системи резервного живлення зображена на рисунку 1.2.

Відключення електрики - це ще й удар по побутовій техніці та електроніці, якої в сучасному будинку більш ніж достатньо. Це аварійне освітлення території, електромодулі насосів та котлів, холодильна техніка та тепла підлога.

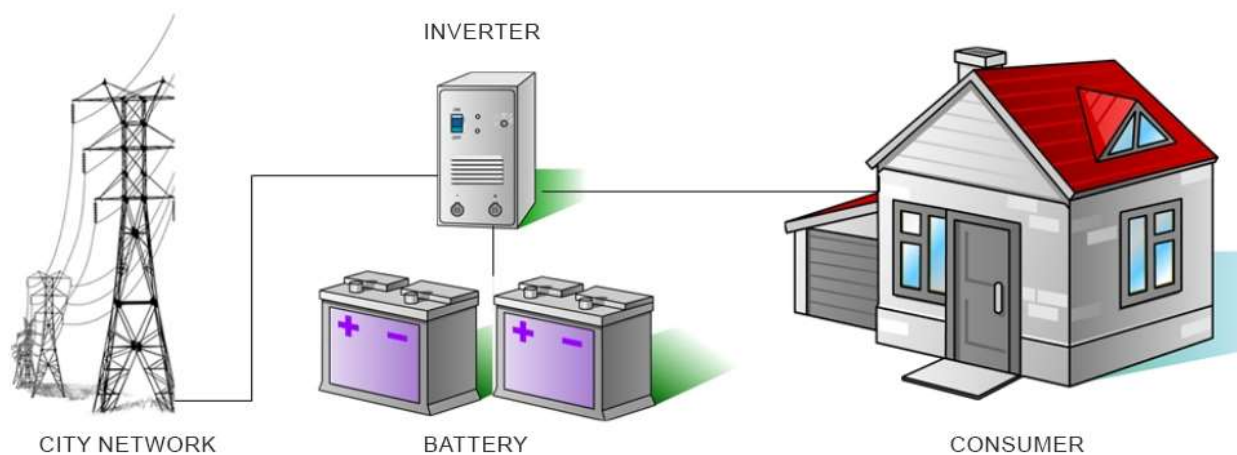


Рисунок 1.2 – Схема резервного живлення будинку

За більш-менш стабільного електропостачання, резервне живлення не особливо актуальне, і на ньому можна заощадити.

Однак про таке електропідключення обов'язково потрібно замислитись, якщо система електроживлення:

- часто піддається електричним перевантаженням, перетіканням та імпульсним відключенням;
- дає збої до 12 годин через робочі/аварійні перемикання між підстанціями;
- аварійно знеструмлюється через знос обладнання електромережевої організації;
- відключається на тривалі періоди через кліматичні перепади, сейсмічні загрози тощо.

Якщо у великому місті електрогосподарство підтримується у більш-менш робочому стані та стабільно обслуговується, то в сільській місцевості електро-мережі часто перебувають у плачевному стані. Тому саме заміські будинки та житло у малих населених пунктах найчастіше потребує проектування та створення системи джерел резервного живлення.

1.3 Джерела автономного резервного живлення

Для житлових та невеликих комерційних об'єктів, які відносять до III категорії електропостачання, обов'язкове резервне живлення не передбачено. Підключення до другого автономного джерела живлення таких об'єктів часто неможливе або дуже дороге.

Тобто, простіше і дешевше створити резервне живлення від повністю автономного джерела (пристрій, що генерує електрику). Великої резервної потужності протягом тривалого часу зазвичай не потрібно: приватний будинок споживає не більше 15 кВт (стандартно – до 8 кВт), а аварійне електропостачання можна обмежити 2-5 кВт, тому що необхідно підтримати роботу обмеженої кількості електроприладів.

Проектувальники зазвичай пропонують кілька варіантів включення в електричну мережу об'єктів III категорії кілька видів автономних генераторів

енергії, які можуть забезпечити мінімум (аварійне електропостачання), або стабільне автономне живлення всього електрообладнання. Головне – розуміти, що необхідно вам, та які завдання має виконувати резервне живлення.

Стандартний комплект джерела безперебійного живлення складається з інвертора (ДБЖ) та набору акумуляторних батарей. У режимі нормального навантаження акумуляторна батарея заряджається через інвертор, щоб підтримувати свою номінальну ємність. Коли параметри зовнішньої електромережі перевищують критичні значення або відбувається аварійне відключення, тоді відбувається миттєве автоматичне перемикання усіх підключених приладів на живлення від акумулятора через інвертор.

Як джерела автономного резервного живлення можна використовувати:

1. Бензинові генератори – перетворювачі палива в електроенергію, які є оптимальними при періодичних відключеннях електроживлення на 5-7 годин, рисунок 1.3.



Рисунок 1.3 – Загальний вигляд бензинового генератора

Стаціонарні бензогенератори можуть забезпечувати всі електроприлади енергією, мобільні – лише аварійний мінімум. Зазвичай запускаються вручну, хоча можна передбачити автоматичне включення під час падіння напруги в мережі. Економічні, недорогі, але шумні, пожежонебезпечні та шкідливі для

екології довкілля, потребують періодичного відпочинку так, як бояться перегріву,

2. Дизельні генератори – перетворюють на електрику дизельне паливо, можуть генерувати до 10 кВт потужності, всепогодні, економічні, мають великий моторесурс та розраховані на тривале відключення електроживлення (до кількох діб). Однак обладнання - досить дороге, вимагає місця для встановлення та додаткових баків, шумне та екологічно шкідливе.



Рисунок 1.4 – Загальний вигляд дизельного генератора

3. Газові генератори – найбільш економічний варіант генератора, що працює на побутовому газі, який проведений у будинку (можна підключати безпосередньо до газопроводу). Дороге обладнання, але працює довше бензинового та дизельного, займає мінімум місця, малошумне та екологічне, рисунок 1.5.



Рисунок 1.5 – Загальний вигляд газового генератора

4. **ДБЖ UPS** (джерело безперебійного живлення) – автономний накопичувач резервної енергії, який має бути достатньо потужним, щоб забезпечити 10-12 годин живлення (не менше 20 кВт і більше), рисунок 1.6.



Рисунок 1.6 – Загальний джерела безперебійного живлення в комплекті з акумуляторною батареєю

Дороге та обмежене в можливостях обладнання, яке можна встановлювати лише у закритих приміщеннях, але повністю автоматизоване, екологічне, майже безшумне та компактне.

5. Інвертор – резервне джерело живлення, яке акумулює енергію, здатне працювати до 24 годин, але обмежене в потужності (до 5 кВт). Безшумне, екологічне та повністю автоматизоване обладнання, яке потребує багато місця, може встановлюватись лише у закритих приміщеннях та має високу вартість, рисунок 1.7.



Рисунок 1.7 – Загальний інвертора FCNAB 3000 Вт

6. Сонячні панелі – високотехнологічні відновлювані перетворювачі сонячного світла на електрику, які не потребують додаткового живлення, але самі можуть живити домашнє обладнання цілодобово протягом тривалого часу. Однак займають велику площу, обмежені за потужністю та мають максимально високу вартість, схему виробництва електричної енергії з допомогою сонячних панелей наведено на рисунку 1.8.

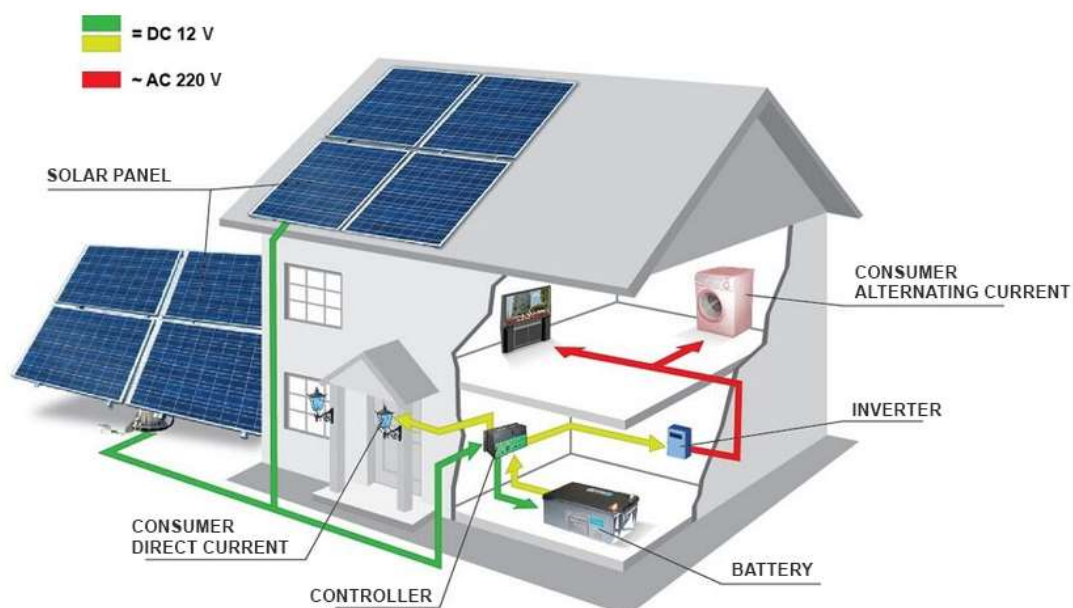


Рисунок 1.8 – Схема живлення будинку з допомогою сонячних панелей

Перераховані автономні джерела електроенергії можна використовувати окремо, а можна спроектувати та побудувати комбіновану мережу резервного живлення, де кожен генератор включатиметься за потребою та в залежності від зовнішніх умов. Однак комбінована система вимагатиме складнішого проектування та багаторівневої інтеграції в базову електромережу об'єкта.

1.4 Перспективи застосування відновлювальних джерел енергії для електропостачання

Забезпечення населення електроенергією, особливо у віддалених від централізованих мереж регіонах, вимагає активного розвитку відновлюваних джерел енергії (ВДЕ).

До початку повномасштабних бойових дій 24 лютого 2022 року частка ВДЕ енергії в Україні становила близько 8% від загальної генерації електроенергії, а до 2025 року планувалося збільшити цей показник до 12%. Однак до середини 2022 року близько 40% потужностей «зеленої енергетики», введених

в експлуатацію, опинилися в зоні активних бойових дій. Найбільших втрат зазнала вітроенергетика – було зупинено майже 90% турбін, а також припинили роботу близько 40% наземних сонячних електростанцій.

Попри це, уряд і енергетичні компанії активно розробляють стратегії не лише з відновлення втрачених потужностей, але й з переходу на ВДЕ у максимально короткі терміни.

Україна має значний потенціал розвитку всіх видів альтернативної енергетики. Розвиток цієї галузі сприятиме створенню більш гнучкої та стабільної енергосистеми, яка завдяки розподіленій генерації буде менш уразливою до великих аварій чи блекаутів.

Висока інсоляція на поверхні України, сприяє максимально швидкому розвитку сонячної енергетики. Комбінування високого рівня сонячної інсоляції та помірного клімату є оптимальним для ефективної роботи сонячних панелей. Однак за підвищення температури понад 25°C їхня продуктивність може знижуватися приблизно на 5% на кожні 10°C.

На рис. 1.9 показана карта інсоляції по областях.

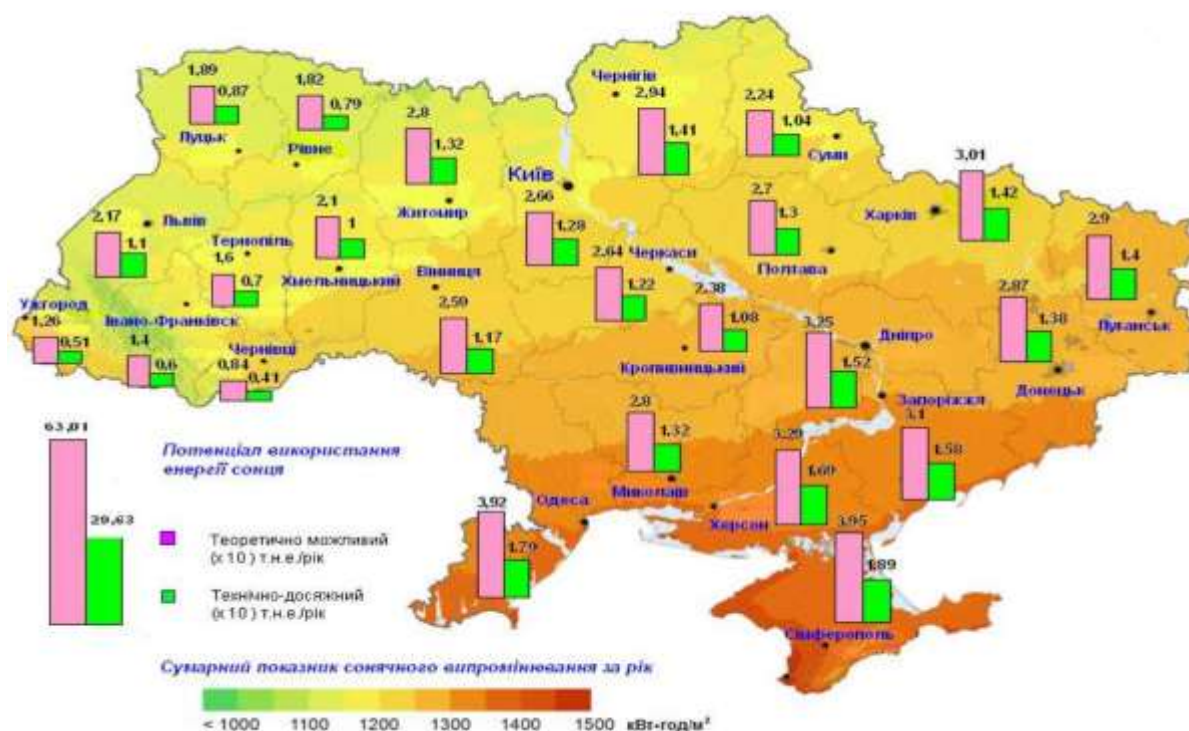


Рисунок 1.9 – Показники інсоляції на території України

Наприклад, використання лише покрівель житлових будинків для встановлення сонячних панелей дозволило б Україні щороку генерувати 30–37 ТВт·год електроенергії. Окрім цього, варто відзначити наявність значної кількості кваліфікованих фахівців із великим досвідом, які здатні забезпечити будівництво об'єктів сонячної енергетики різної потужності та типів, включаючи наземні, покрівельні та трекінгові фотоелектричні станції.

Проаналізувавши дані наведені на рисунку 1.9 та відобразивши їх графічно отримаємо середнє значення сонячної інсоляції, рисунок 1.10.

Сьогодні в автономних системах електропостачання як джерело живлення найчастіше використовуються генератори (бензинові, дизельні, газові).

Як бачимо з рисунку 1.10 більшість території нашої країни характеризується хорошим показником середньорічного надходження сонячної радіації, що дозволяє забезпечити потреби в електроенергії без використання забруднюючих природне середовище бензинових або дизельних генераторів.

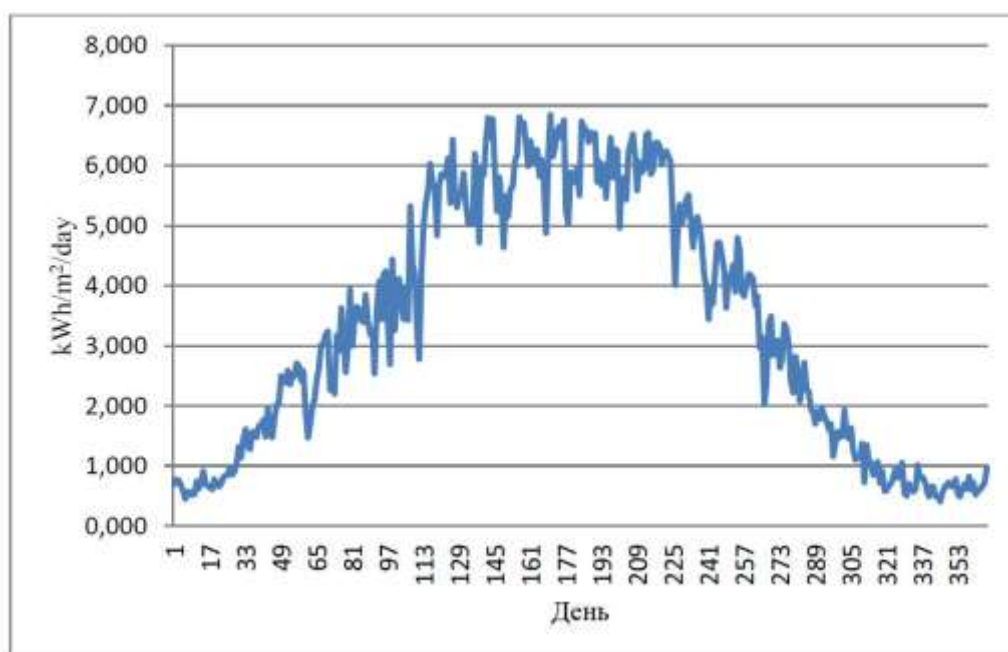


Рисунок 1.10 – Середнє значення щоденної інсоляції на 1 м² горизонтальної поверхні

На території України, створено кліматичну базу даних, орієнтовану на дослідження в галузі сонячної енергетики. Наземних станцій, на яких проводяться систематичні вимірювання потоків сонячного випромінювання на території України, налічується всього близько ста, що явно недостатньо для районування всієї території країни. Тому в дослідженнях були використані також супутникові дані NASA, отримані за 10 років спостережень радіаційним балансом земної поверхні, в тому числі і над територією України. карти надходження сонячної радіації на нерухомі поверхні, орієнтовані по-різному в просторі для всіх регіонів за певні періоди року. Оптимізація кута дозволяє в 1,3-1,5 рази збільшити генерацію енергії в порівнянні з її надходженням на горизонтальну поверхню.

Якщо поглянути на карту розподілу надходження сонячної радіації на поверхню території України (рисунок 1,9) то видно, що більшість районів країни характеризуються приблизно однаковими високими значеннями середньоденної радіації від 2,5 до 3,5 кВт·год/м², і з цього погляду енергетична ефективність сонячних установок на всій цій території виявляється приблизно однаковою.

Сонячні панелі є оптимальним вибором у ситуаціях, коли потрібна невелика кількість електроенергії, оскільки вони забезпечують енергією надійніше, ніж вітроустановки, і не вимагають встановлення щогли висотою 1,5 – 2 метри, що спрощує транспортування звичайними засобами.

1.5 Висновки до розділу 1

1. Визначено, що забезпечення надійності електропостачання є ключовим завданням для електроенергетичної інфраструктури України. Основними викликами є значна зношеність обладнання, перевантаження мереж та недостатній рівень резервування. Запропоновано заходи для підвищення надійності, включаючи модернізацію мереж і впровадження нових технологій.

2. Резервне живлення відіграє важливу роль у забезпеченні безперебійної

роботи житлових, комерційних і критичних об'єктів. Розглянуто різні типи резервних джерел енергії, включаючи бензинові, дизельні, газові генератори, джерела безперебійного живлення (ДБЖ), інвертори та сонячні панелі.

3. Наголошено на важливості створення автономних систем живлення для малих об'єктів, особливо в сільській місцевості, де електромережі часто перебувають у незадовільному стані.

4. З'ясовано, що відновлювані джерела енергії, зокрема сонячні панелі, є перспективним варіантом для автономного енергозабезпечення. Україна володіє високим потенціалом для розвитку сонячної енергетики завдяки оптимальному рівню інсоляції.

5. Зростаюча увага до екологічних аспектів енергетики диктує необхідність переходу на «зелену» енергію, яка сприяє сталому розвитку та енергетичній незалежності.

Цей розділ підкреслює важливість модернізації електроенергетичної інфраструктури та використання ВДЕ для підвищення енергетичної безпеки та зменшення екологічного впливу.

2 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

2.1 Опис об'єкта дослідження

Об'єктом дослідження нашої кваліфікаційної роботи є: система енергозабезпечення котеджного будинку, що включає всі компоненти, що забезпечують генерацію, зберігання та розподіл енергії для автономного функціонування.

Для забезпечення електричною енергією котеджного будинку резервним джерелом енергії буде СЕС, а основним джерелом живлення буде електрична мережа.

На території котеджного містечка «West House Park», яке знаходиться у селі Підгороднє Тернопільської області збудовані котеджі різної поверховості та площі, тому досліджується система електропостачання двоповерхового котеджу із підвалом загальною площею 150 м^2 . Селище газифіковане, тому плита в котеджі газова. План поверхів котеджу наведено на рисунку 2.1. В котеджі проживає сім'я із чотирьох осіб.

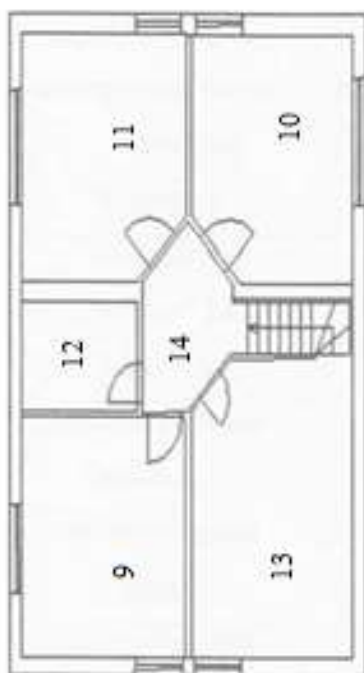
Розрахункове електричне навантаження такого котеджу становить 12 кВт. Проводимо розрахунок сумарної потужності електроприладів котеджу. Необхідно врахувати, що побутова техніка, встановлена в котеджі, має клас енергозбереження А та вище, а освітлення здійснюється світлодіодними лампами, які при світловому потоці, аналогічному лампі розжарювання потужністю 100 Вт споживають лише 7 Вт. У таблиці 2.1 наведено перелік електроприладів котеджу.

При підрахунку кількості ламп враховували всі можливі у приміщенні світильники: стельові, настінні.

На рисунку 2.2 показано розташування розеток у котеджі, на рисунку 2.3 – розташування освітлювальних приладів.

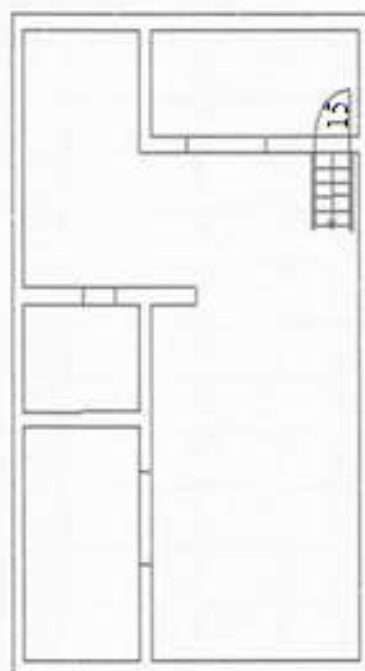


1-й поверх



2-й поверх

- 1 - вітальня, 2 - камін,
 3 - кухня, 4 - пральня,
 5 - санвузол, 6 - тераса,
 7 - передпокій,
 8 - гардеробна кімната,
 9-11 - спальня, 12 - комірка,
 13 - кабінет, 14 - коридор,
 15 - вхід у підвал.



Підвал

Таблиця 2.1

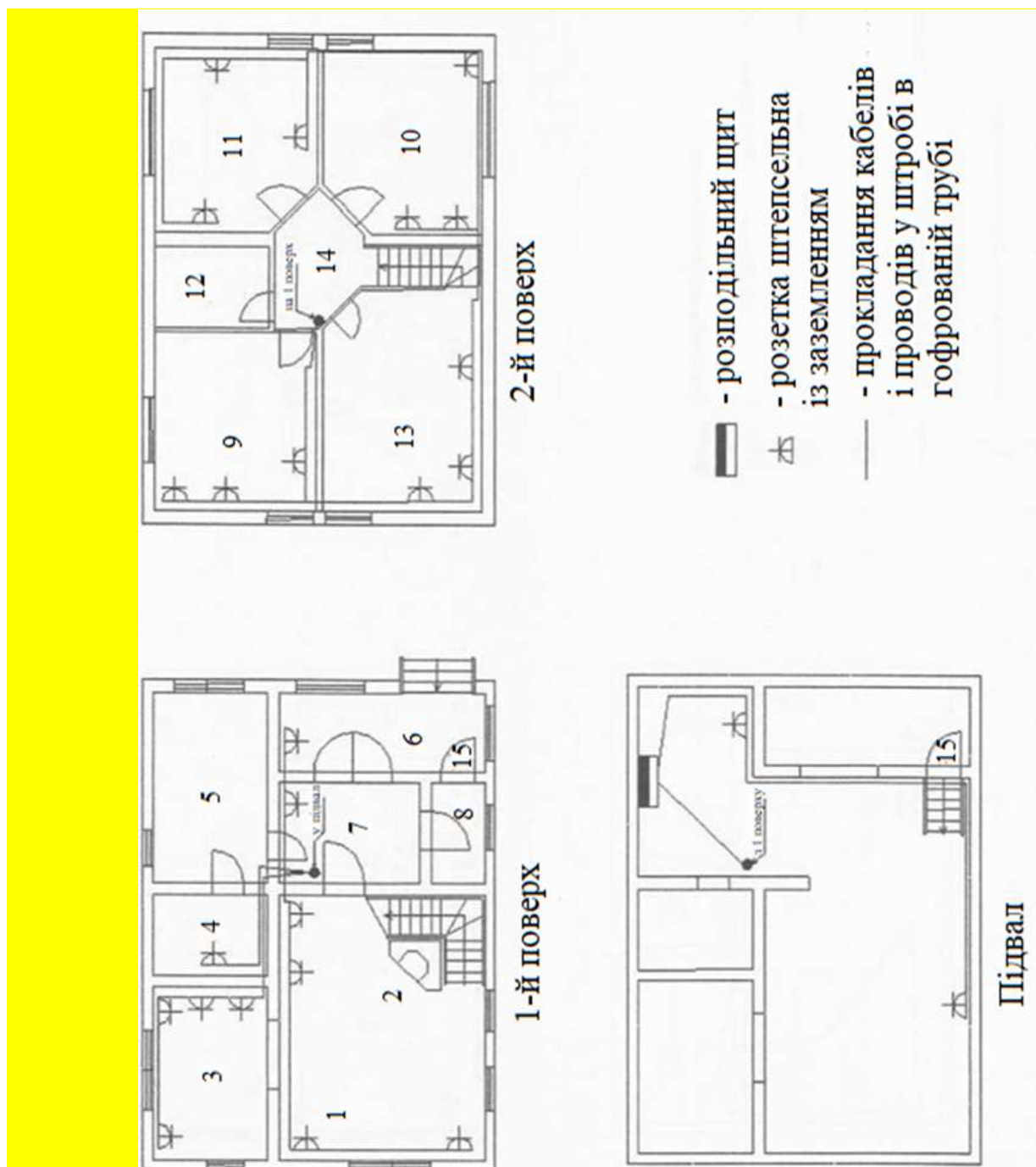
Перелік електроприладів котеджу

Найменування електроприладів	Номінальна потужність, кВт	Кількість	Загальна потужність, кВт
Холодильник	0,3	1	0,3
Телевізор	0,2	3	0,6
Ноутбук	0,06	4	0,24
Пральна машина	0,9	1	0,9
Посудомийна машина	0,8	1	0,8
Мікрохвильова піч	1,0	1	1,0
Електричний чайник	1,7	1	1,7
Праска	0,8	1	0,8
Пилосос	1,2	1	1,2
Освітлення			
Вітальня	0,007	8	0,056
Кухня	0,007	2	0,014
3 спальні	0,007	9	0,063
Кабінет	0,007	4	0,028
Коридор	0,007	3	0,021
Передпокій	0,007	3	0,021
Тераса	0,007	3	0,021
Санвузол	0,007	1	0,007
Пральня	0,007	1	0,007
Гардеробна кімната	0,007	1	0,007
Комірка	0,007	1	0,007
Підвал	0,007	6	0,042
Разом освітлення			0,315
Разом			7,834

Схема розподільчого щита котеджу представлена на рисунку 2.4. Живлення навантаження здійснюється від електроустановки, що працює на відновлюваних джерелах енергії (ВДЕ). Коли акумулятори розрядяться, живлення автоматично перемкнеться на електричну мережу за допомогою пристрою автоматичного включення резерву (АВР).

Далі проводимо розрахунок параметрів електроустановок, що працюють

на альтернативному джерелі енергії для живлення навантаження загальною потужністю 7834 кВт.



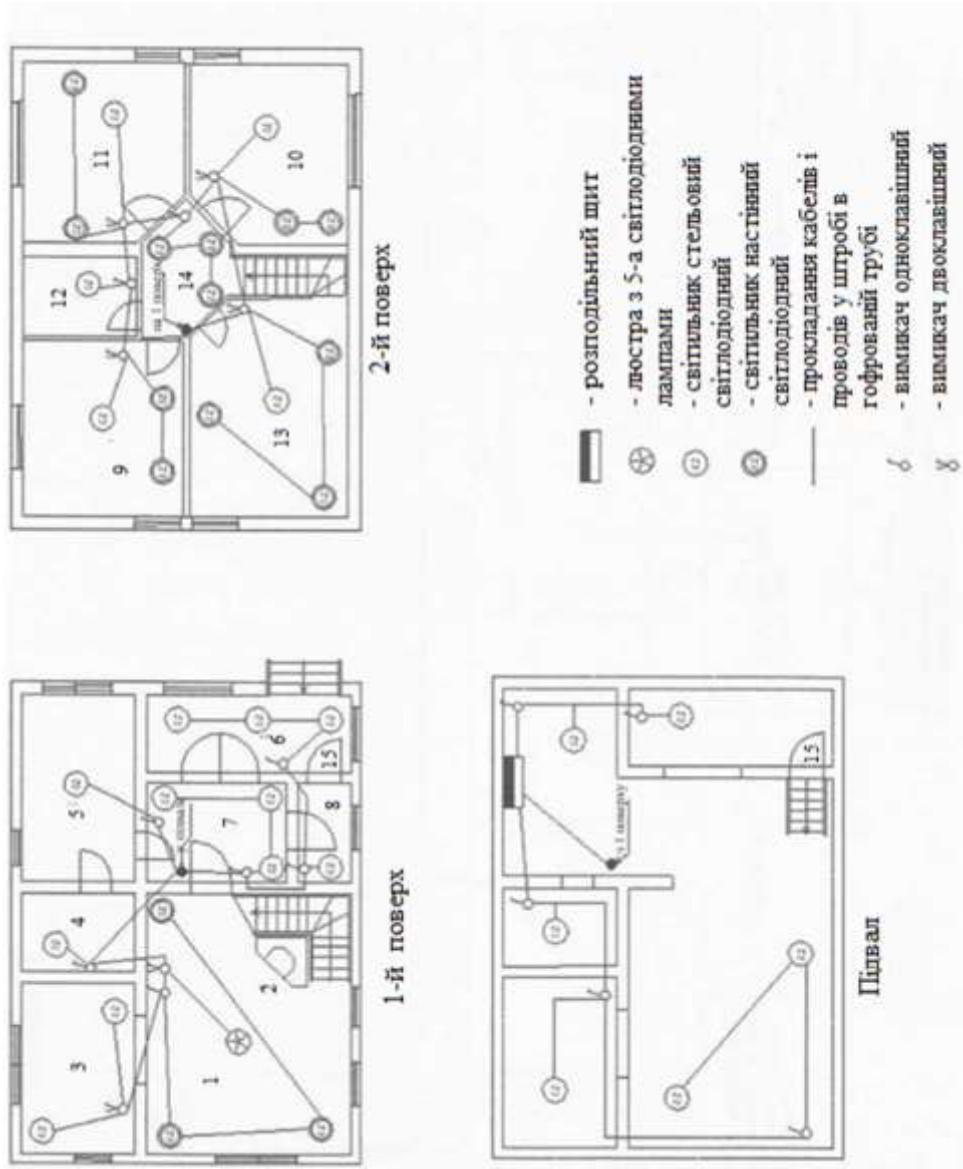
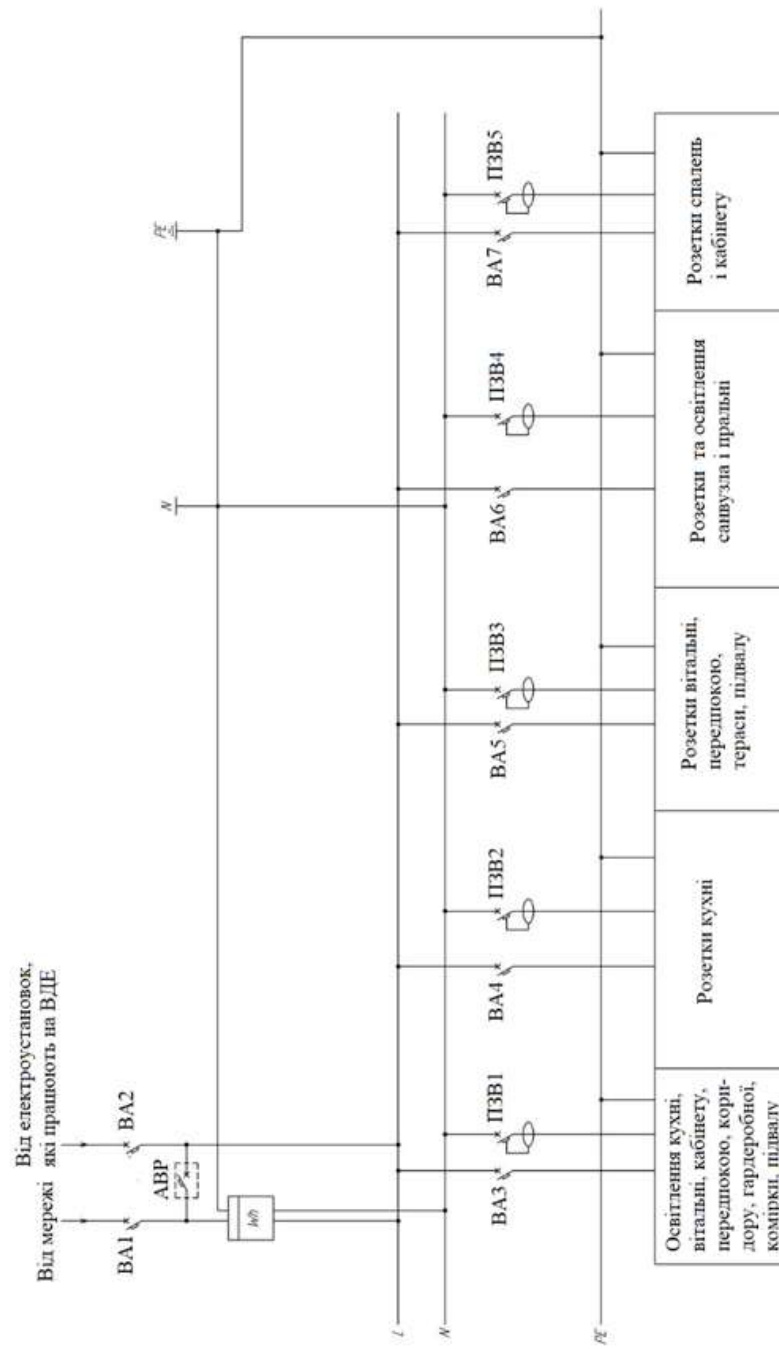


Рисунок 2.3 – План котеджу з розташуванням освітлювальних приладів



2.2 Живлення від сонячної електростанції

Фотоелектрична сонячна електростанція (СЕС) складається із сонячних батарей, акумулятора, зарядного пристрою акумулятора (контролера), інвертора, з'єднувальних кабелів. Для роботи паралельно з мережею необхідний пристрій автоматичного включення резерву.

Структурна схема СЕС, що використовується паралельно з мережею, представлена на рисунку 2.5.

Процес розрахунку параметрів фотоелектричної СЕС можна поділити на три ключові етапи:

- оцінка навантаження та обсягу споживаної енергії;
- розрахунок необхідної ємності та кількості акумуляторних батарей;
- визначення потрібної кількості фотоелектричних модулів на основі показників сонячної радіації в місці встановлення системи.

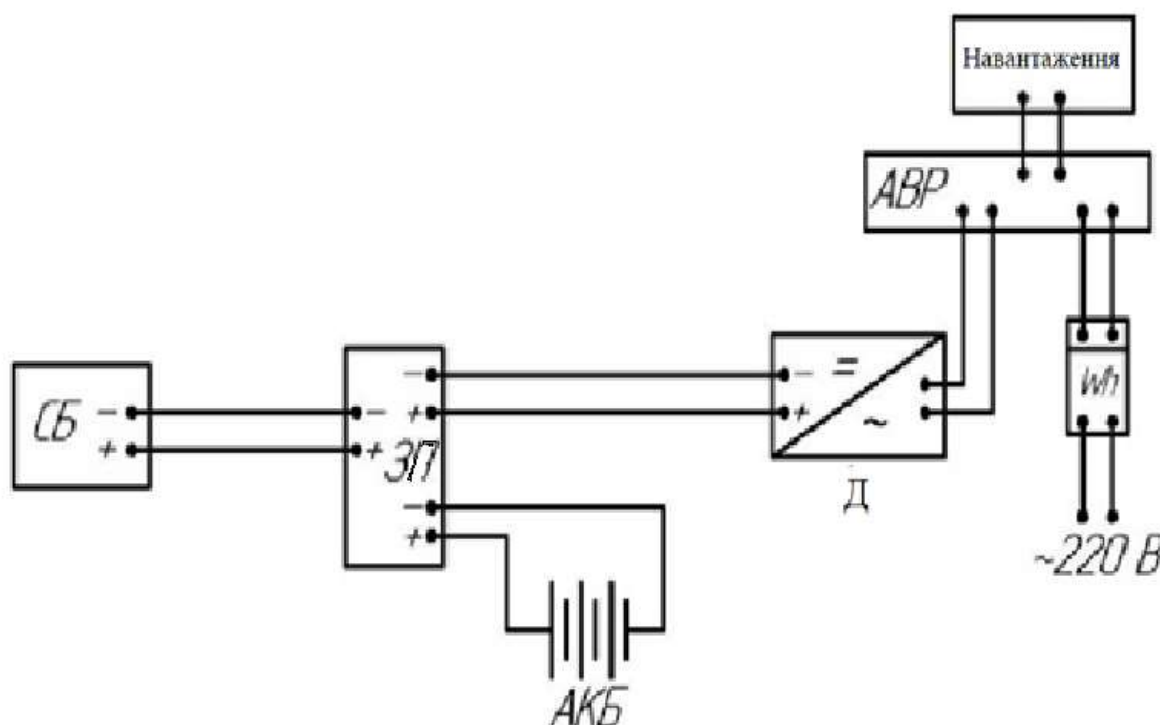


Рисунок 2.5 – Використання СЕС паралельно з мережею

2.2.1 Визначення навантаження та споживання електричної енергії

Максимальне навантаження змінного струму відповідно до таблиці 2.1 складає $P_{\max \cdot \text{змін.}} = 7,834 \text{ кВт}$. Розрахуємо добове енергоспоживання електроприладів $W_{\text{змін.}}$, помноживши їх потужність на кількість годин роботи за добу (таблиця 2.2). Холодильник працює 24 години на добу, проте протягом цього часу споживана ним потужність нижча за номінальну, тому для розрахунку візьмемо паспортне значення добового енергоспоживання. Пилосос не використовується щодня. У середньому він працює 3 рази на тиждень по 30 хвилин, тобто 1,5 години на 7 днів. Тоді на один день припадає 0,2 години його роботи. Пральна машинка також працює не щодня. У середньому вона здійснює по 2 цикли прання 3 рази на тиждень, тобто виходить 6 циклів на тиждень або 0,85 циклів за годину.

Таблиця 2.2

Добове енергоспоживання електроприладів

Найменування електроприладів	Номінальна потужність, кВт	Кількість, шт.	Загальна потужність, кВт	Години роботи на добу, год	Електроенергія, що споживається за добу, кВт·год
Холодильник	-	-	-	-	0,6
Телевізор	0,2	3	0,6	4	2,4
Ноутбук	0,06	4	0,24	4	0,96
Пральна машина	0,9	1	0,9	0,75	0,68
Посудомийна машина	0,8	1	0,8	0,6	0,48
Мікрохвильова піч	1,0	1	1,0	0,3	0,3
Електричний чайник	1,7	1	1,7	0,15	0,26
Праска	0,8	1	0,8	0,2	0,16
Пилосос	1,2	1	1,2	0,2	0,24
Освітлення					
Вітальня	0,007	8	0,056	5	0,280
Кухня	0,007	2	0,014	2	0,028
3 спальні	0,007	9	0,063	12	0,756
Кабінет	0,007	4	0,028	3	0,084
Коридор	0,007	3	0,021	0,5	0,011
Передпокій	0,007	3	0,021	0,5	0,011
Тераса	0,007	3	0,021	1	0,021
Санвузол	0,007	1	0,007	2	0,014
Пральня	0,007	1	0,007	0,25	0,001
Гардеробна кімната	0,007	1	0,007	0,5	0,003
Комірка	0,007	1	0,007	0,16	0,001
Підвал	0,007	6	0,042	0,25	0,001
Разом освітлення					1,211
Всього					7,291

Щоб визначити на який час доби припадає пік навантаження і протягом якого часу він триває, побудуємо добовий графік навантаження котеджу (рис. 2.6).

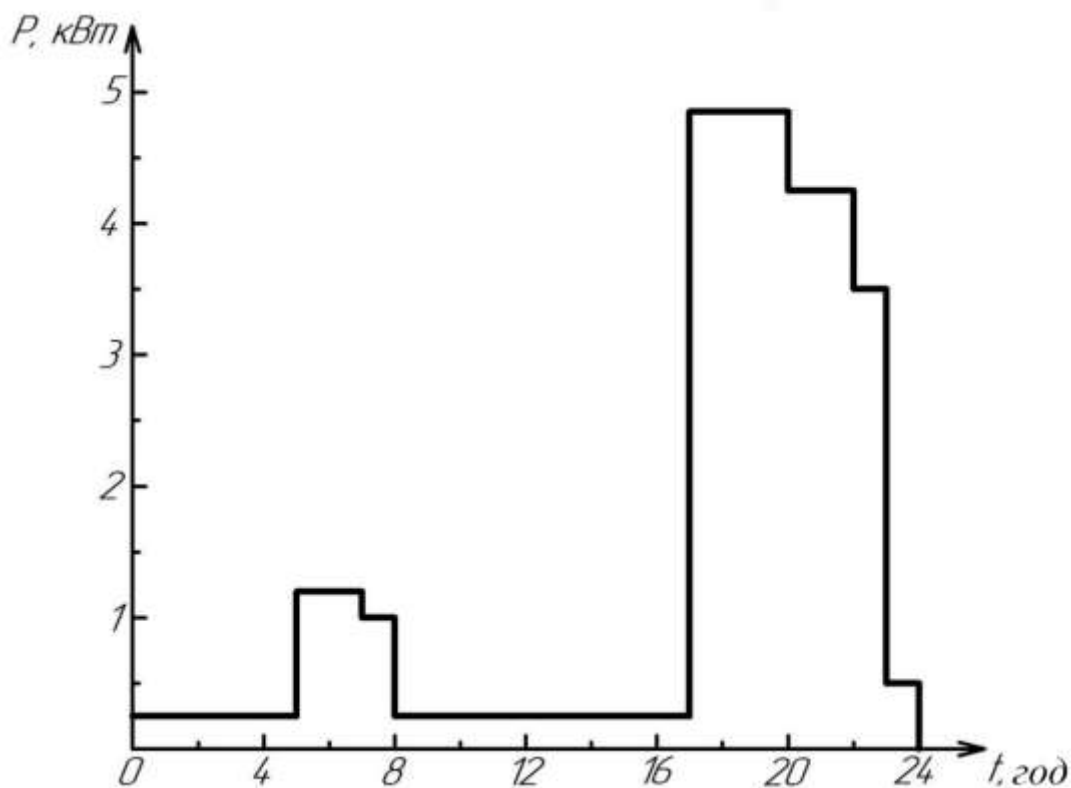


Рисунок 2.6 – Добовий графік навантаження котеджа

Як видно з графіка, пік навантаження становить 4,8 кВт і триває з 17.00 до 20.00, тобто протягом трьох годин. Як правило в цей час починається захід сонця, тому живлення навантаження забезпечують акумуляторні батареї.

Щоб визначити необхідну енергію постійного струму, помножимо значення добового енергоспоживання навантаження змінного струму, що отримали, на коефіцієнт, що враховує втрати в інверторі ($K_{інв}$):

$$W_{пост.} = W_{змін.} \cdot K_{інв.} \quad (2.1)$$

$$W_{пост.} = 7,291 \cdot 1,12 = 8,02 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

Вхідну напругу інвертора приймаємо $U_{інв} = 24 \text{ В}$. Розділивши отримане значення $W_{пост.}$ на величину вхідної напруги інвертора, отримаємо число

ампер-годин на добу, необхідне для забезпечення навантаження.

$$W_{A\cdot\text{год}} = \frac{W_{\text{ном.}}}{U_{\text{інв.}}} \quad (2.2)$$

$$W_{A\cdot\text{год}} = \frac{8,02}{24} = 0,334 \text{ кА} \cdot \text{год}$$

2.2.2 Визначення параметрів необхідної ємності та кількості акумуля-торних батарей

Спочатку слід обрати акумулятори, які будуть застосовуватись у СЕС. Існує декілька різновидів акумуляторів. Розглянемо основні типи та визначимо найоптимальніший варіант.

Нікелево-кадмієві (Ni-Cd) акумулятори.

На сьогодні більше ніж половина всіх акумуляторів для портативних пристроїв належать до цього типу.

Ключові переваги нікелево-кадмієвих акумуляторів:

- доступна ціна;
- висока стійкість до температурних коливань;
- здатність працювати з великими струмами заряду та розряду завдяки низькому внутрішньому опору, що забезпечує передачу великих струмів (іншим типам це не властиво);
- тривалий термін служби завдяки великій кількості циклів «заряду-розряду».

Серед усіх типів акумуляторів нікелево-кадмієві виділяються здатністю ефективно віддавати максимальну ємність і забезпечувати велику кількість циклів заряду-розряду, та допустимі умови періодичного глибокого розряду (до 1 В на елемент).

Недоліки нікелево-кадмієвих акумуляторів:

- Ефект пам'яті: проявляється у вигляді зворотної втрати ємності через порушення рекомендованого режиму зарядки, особливо при підзарядці не повністю розрядженого акумулятора. Це призводить до того, що батарея начебто «запам'ятовує» попередню ємність і віддає струм лише до цього рівня.

- Екологічна небезпека: кадмій є високотоксичним металом, що ускладнює утилізацію таких акумуляторів.

- Невисока питома ємність: хоча цей недолік не завжди критичний, порівняно з іншими типами батарей.

Нікелево-металогідридні (Ni-MH) акумулятори

Основною причиною їх розробки стала потреба у збільшенні щільності енергії порівняно з Ni-Cd акумуляторами.

Переваги Ni-MH акумуляторів:

- Вища питома ємність – на 30% більше при тих самих розмірах.
- Менша вага, що зручніше для портативних пристроїв.
- Менша схильність до «ефекту пам'яті».
- Екологічність завдяки меншому вмісту токсичних металів.

Недоліки Ni-MH акумуляторів, порівняно з Ni-Cd акумуляторами:

- Менша кількість циклів заряду-розряду.
- Вища ціна, хоча це компенсується зручністю у користуванні завдяки меншій вазі та розмірам.

- Вужчий температурний діапазон роботи.
- Низька здатність навантаження: такі батареї не можуть віддавати великі струми, як Ni-Cd.

- Чутливість до глибокого розряду: чим глибший розряд, тим коротший термін служби.

- Вищий рівень саморозряду – у 1,5 раза більше, ніж у Ni-Cd, що впливає на тривале зберігання.

- Підвищене виділення тепла під час зарядки: це потребує складніших зарядних пристроїв для точного визначення моменту повного заряду.

Сучасні Ni-MH акумулятори оснащені внутрішнім температурним сенсором, що допомагає визначити момент повного заряду. Використання недорогих зарядних пристроїв (ЗП) без функції автоматичного вимкнення може призвести до перегріву та пошкодження батареї.

Літієво-іонні (Li-Ion) акумулятори.

Головні переваги Li-Ion акумуляторів:

- Висока питома ємність, щонайменше вдвічі більша, ніж у Ni-Cd.
- Дані акумулятори мають високу енергетичну щільність.
- Рівень саморозряду низький, відсутність «ефекту пам'яті».
- Можливість дозарядки неповністю розряджених акумуляторів.
- Кількість циклів заряду-розряду більша, ніж у Ni-MH батарей.

Недоліки Li-Ion акумуляторів:

- Висока вартість.
- Обмежений робочий температурний діапазон.
- Оснащення мікросхемами (smart-чипами) у конструкції робить зарядку ефективнішою, але підвищує складність і вартість акумулятора.

Літій-полімерні (Li-Polymer) акумулятори

Переваги Li-Polymer акумуляторів:

- Висока щільність енергії, приблизно втричі більша, ніж у Ni-Cd.
- Низький рівень саморозряду.
- Компактні розміри, що дозволяють створювати батареї товщиною до 1 мм і підлаштовувати їх форму під пристрої.

Недоліки Li-Polymer акумуляторів:

- Невелика здатність віддавати великі струми.
- Погано працюють при низьких температурах.

Свинцево-кислотні (LEAD ACID) акумулятори.

Зазвичай використовуються у випадках, коли потрібна велика ємність, вага не є критичною, а вартість має залишатися низькою.

Переваги свинцево-кислотних акумуляторів:

- Доступна ціна.

- Відсутність «ефекту пам'яті».
- Низький рівень саморозряду.
- Здатність витримувати до 800-1000 циклів при оптимальних умовах розрядки.

Недоліки свинцево-кислотних акумуляторів:

- Найнижча гранична ємність серед перезаряджуваних батарей, хоча в багатьох випадках це не критично.
- Погано витримують глибокі цикли розряду, що скорочує їх термін служби.

За результатами аналізу для використання в системах з відновлюваними джерелами енергії обрано герметичні свинцево-кислотні акумулятори, зокрема гелеві. Вони є вдосконаленою модифікацією свинцево-кислотних батарей:

- У складі електроліту міститься гелевий компонент, що мінімізує рух рідини всередині акумулятора.
- Оснащені однокерованими клапанами, які сприяють повторному розчиненню газів у воді, зменшуючи газоутворення.

Це робить їх найкращим вибором для стабільної роботи у відновлюваних енергосистемах.

Потрібно розрахувати ємність акумуляторних батарей з урахуванням кількості днів автономного живлення навантаження – n . Припустимо, що максимальне число днів без сонця $n = 6$. Тоді максимальне енергоспоживання, яке має надати батарея без підзарядки, становитиме:

$$W_{max} = W_{A \cdot год} \cdot n \quad (2.3)$$

$$W_{max} = 0,334 \cdot 6 = 2,004 \text{ кА} \cdot \text{год}$$

Необхідно задати глибину розряду батареї $K_{розр}$. Для вибраного типу акумулятора максимальна глибина розряду 60%.

Тоді потрібна ємність складе:

$$W_{\text{нотр.}} = \frac{W_{\text{max}}}{K_{\text{розр.}} / 100\%} \quad (2.4)$$

$$W_{\text{нотр.}} = \frac{2,004}{60 / 100} = 3,34 \text{ кА} \cdot \text{год}$$

З урахуванням залежності ємності батареї від температури приміщення, в якому вона буде розташовуватись, необхідна ємність складе:

$$W_{AB} = W_{\text{нотр.}} \cdot K_{\text{н.с.}} \quad (2.5)$$

$$W_{AB} = 3,34 \cdot 1,04 = 3,47 \text{ кА} \cdot \text{год}$$

де $K_{\text{н.с.}}$ – коефіцієнт, що враховує зменшення ємності батареї при низьких температурах.

Проаналізуємо декілька варіантів гелієвих акумуляторних батарей і визначимо найоптимальніший. Варіанти та його характеристики представлені у таблиці 2.3.

Таблиця 2.3

Акумуляторні батареї

Параметри	Haze HZY-24-230	Ventura GPL 24-250	Challenger LF24-200
Ємність, $\text{А} \cdot \text{год}$	230	250	200
Номінальна напруга, В	24	24	24
Діапазон робочих температур, $^{\circ}\text{C}$	від -20 до +50	від -20 до +50	від -20 до +50
Термін служби, років	10-15	10-15	10-15
Габарити (Д×В×Ш), мм	521×269×203	521×269×220	482×400×222
Ціна, грн за шт.	81300	73500	69200

Вибираємо акумуляторні батареї Challenger LF24-200 ємністю $W_{\text{ном}} = 0,200 \text{ кА} \cdot \text{год}$ на номінальну напругу 24 В, рисунок 2,7. Вони мають оптимальні габаритні параметри і при цьому прийнятні за ціною.



Рисунок 2.7 – Загальний вигляд батареї Challenger LF24-100

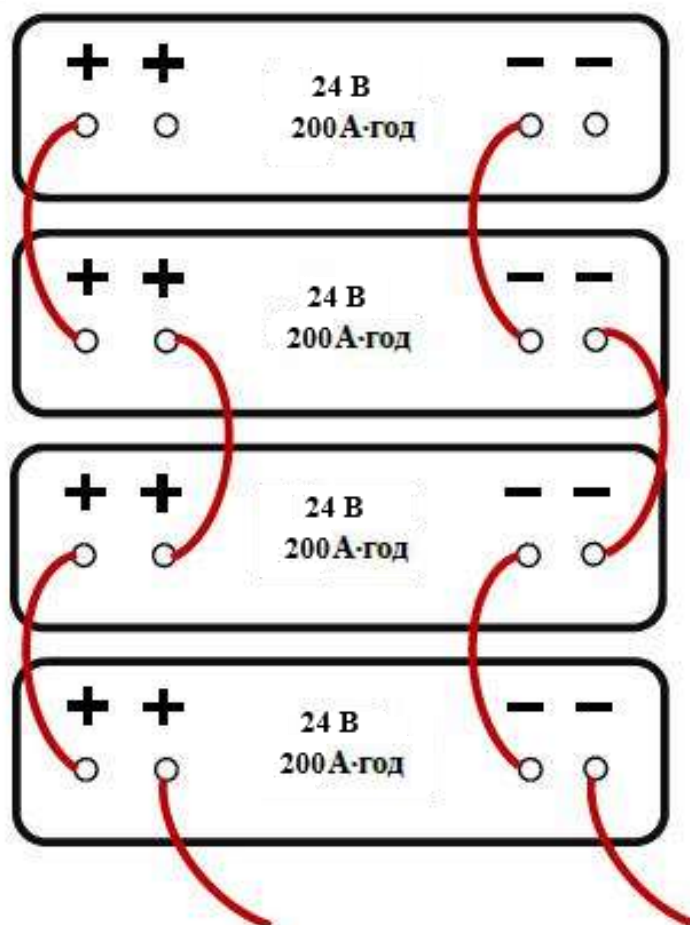


Рисунок 2.8 – Спосіб з'єднання акумуляторних батарей

Кількість паралельно з'єднаних акумуляторних батарей визначається наступним чином:

$$n = \frac{W_{AB}}{W_{ном.}} \quad (2.6)$$

$$n = \frac{3,47}{0,26} = 13,3 \approx 14$$

Кількість акумуляторних батарей виявилася досить значною, а їхня вартість – високою. Однак така кількість забезпечує надійне електропостачання котеджу навіть у разі максимальної кількості послідовних днів без сонячного освітлення, гарантує стабільність роботи системи та тривалі терміни окупності. Водночас на території Тернопільської області кількість похмурих днів зазвичай не перевищує 6. Тому можливе скорочення кількості батарей, якщо орієнтуватися на 2 дні без сонця. У разі, якщо цей період перевищуватиме 2 дні, підзарядку акумуляторів можна здійснити від центральної електромережі.

Розглянемо варіант, коли число днів без сонця дорівнює 2. Тоді:

$$W_{max} = 0,334 \cdot 2 = 0,668 \text{ кА} \cdot \text{год}$$

$$W_{ном.} = \frac{0,668}{\frac{60}{100}} = 1,11 \text{ кА} \cdot \text{год}$$

$$W_{AB} = 1,11 \cdot 1,04 = 1,16 \text{ кА} \cdot \text{год}$$

$$n = \frac{1,16}{0,26} = 4,4 \approx 5$$

2.2.3 Визначення необхідної кількості фотоелектричних модулів

Спершу необхідно визначити кількість пікових сонячних годин на день.

На вироблення енергії сонячною батареєю впливають такі фактори:

- сезонність роботи системи;
- характерні погодні умови;
- наявність механізму орієнтації системи на сонце;
- розташування та кут нахилу фотоелектричних модулів.

Ефективність роботи сонячної батареї визначається кутом падіння сонячних променів на її поверхню. Найвища продуктивність досягається при куті падіння 90 градусів. Коли сонячні промені падають під іншим кутом, то значна їх частина відбивається панеллю, а не поглинається нею.

Для забезпечення надійного електропостачання обираємо найменше середньомісячне значення сонячної енергії для періоду, впродовж якого фотоелектрична система буде експлуатуватись. Це значення ділимо на кількість днів у місяці, щоб отримати середньодобову кількість пікових сонячних годин. Для місцевості, яка розглядається, цей показник становить 6 годин.

Для розрахунку струму, який має генерувати сонячна батарея, розділимо кількість ампер-годин на добу, яке необхідне для покриття навантаження, на кількість пікових сонячних годин.

$$I_{м.р.} = \frac{W_{А-год} \cdot K_{ак}}{t_{пик.}} \quad (2.7)$$

$$I_{м.р.} = \frac{334 \cdot 1,2}{6} = 66,8 \text{ А}$$

де $K_{ак}$ – коефіцієнт, що враховує втрати на заряд-розряд акумуляторної батареї.

У таблиці 2.4 наведено кілька варіантів сонячних батарей та їх характеристики

Таблиця 2.4

Сонячні батареї

Параметри	Risen RSM 110-8-540M	TWMND-72HS590	LONGi 72HTH-585M
Потужність, Вт	540	590	585
Напруга, В	24	24	24

Струм, <i>A</i>	12,8	12,97	13,24
Габарити (Д×В×Ш), <i>мм</i>	2384×1096×35	2278×1134×35	2278×1134×30
Діапазон робочих температур, <i>°C</i>	від - 40 до + 70	від - 40 до + 85	від - 40 до + 85
Ціна, <i>грн.</i>	5500	5900	26800

Вибираємо модуль Risen RSM 110-8-540M з максимальну потужність $P_m = 540 \text{ Вт}$ на напругу 24 В , рисунок 2,9 оскільки він має оптимальні габаритні показники і максимальний струм.



Рисунок 2.8 – Загальний вигляд сонячної панелі Risen RSM 110-8-540M

Необхідна кількість паралельно з'єднаних модулів визначається за формулою:

$$n = \frac{I_{m.p.}}{I_m} \quad (2.8)$$

$$n = \frac{66,8}{12,8} = 5,2 \approx 6 \text{ шт.}$$

Крім того, необхідно вибрати інвертор та зарядний пристрій (контролер).

2.2.4 Вибір інвертора

Інвертор напруги (ІН) – це пристрій, який перетворює електричну енергію постійного струму на енергію змінного струму.

Інвертори можуть функціонувати як окремі автономні пристрої або бути частиною систем і джерел безперебійного живлення для апаратури, що працює на змінному струмі. Як і будь-який силовий пристрій, інвертор повинен забезпечувати високий коефіцієнт корисної дії (ККД) .

Окрім цього, він має відповідати вимогам щодо допустимого рівня гармонійних складових у формі вихідної напруги (відповідати нормованим коефіцієнтам гармонік) і не створювати неприпустимий рівень пульсацій на клеммах джерела живлення, які можуть негативно впливати на інші споживачі.

- Схема з нульовим виходом джерела (напівмостовий інвертор):
- Схема з нульовим виведенням трансформатора:

Джерела безперебійного живлення для комп'ютерів потужністю 250...500 ВА, системи з низькою напругою (12...24 В).

Джерела безперебійного живлення для критичних споживачів, що вимагають широкого діапазону потужностей.

Найпоширенішою є мостова схема. На рисунку 2.9 показано однофазну мостову схему інвертора напруги, а на рисунку 2.10 – діаграми напруги та струмів, які пояснюють її принцип роботи.

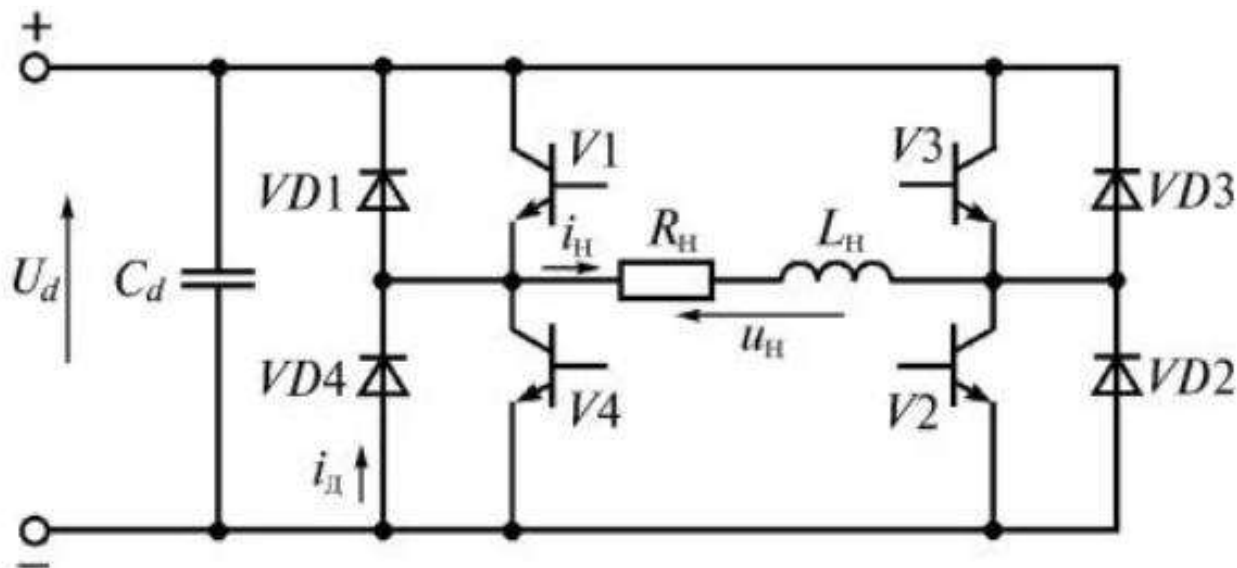


Рисунок 2.9 – Однофазна мостова схема інвертора напруги

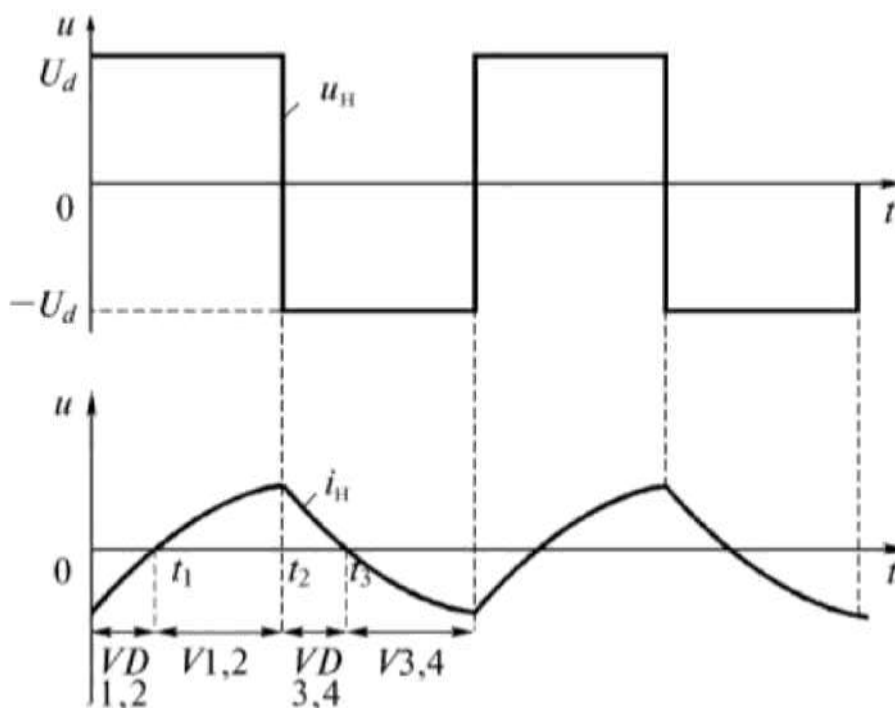


Рисунок 2.10 – Діаграми струмів та напруг, що ілюструють роботу однофазної мостової схеми інвертора напруги

Пари транзисторів VT1, VT2 і VT3, VT4 формують діагоналі моста, а пари транзисторів VT1, VT4 і VT2, VT3 формують стійки моста. При парному ввімкненні транзисторів VT1, VT2 або VT3, VT4 знаки напруги протилежні. Розглянемо докладніше процеси під час роботи АІН на активно-індуктивне навантаження. При включенні транзисторів VT1, VT2 з моменту t_1 струм проходить ланцюгом $+$, VT1, R_n , L_n , VT2 – джерела живлення. Після вимкнення транзисторів VT1, VT2 в момент t_2 керуючі імпульси подаються на транзистори VT3, VT4, але вони не можуть ввімкнутися, оскільки струм індуктивності не може миттєво змінити напрям. Тому, після вимкнення транзисторів VT1, VT2 струм проходить ланцюжком L_n , VD3, джерело живлення, VD4, R_n . Енергія, накопичена в індуктивності навантаження, повертається у джерело живлення. Після спаду струму до нуля в момент t_3 відкриваються транзистори VT3, VT4 та струм у навантаженні змінює напрям. Далі процеси йдуть аналогічно. Трифазна мостова схема інвертора напруги наведена на рисунку 2.11.

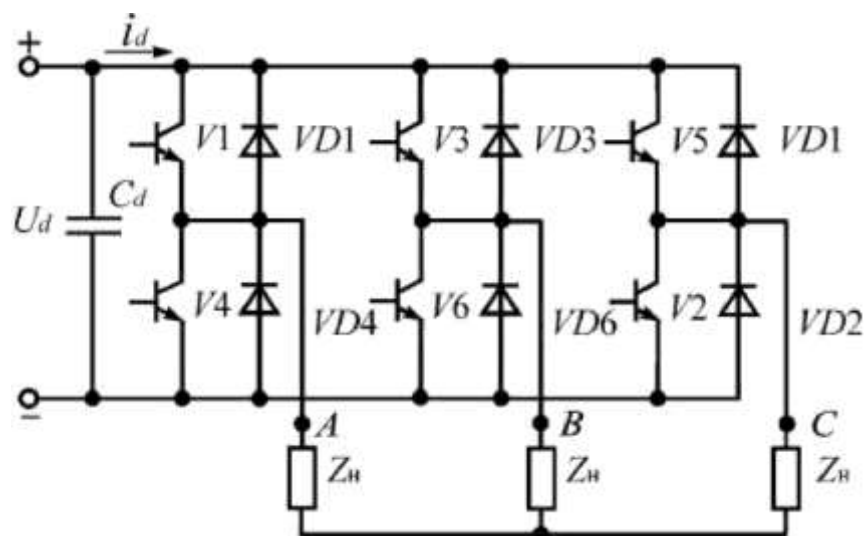


Рисунок 2.11 – Трифазна мостова схема інвертора напруги

Виходячи з вищезазначеного, зупинимо вибір на інверторі, що видає синусоїдальну напругу. Згідно з добовим графіком навантаження (рисунок 2.6) пікова потужність становить $4,8 \text{ кВт}$, отже потужність повинна бути більшою або дорівнювати $4,8 \text{ кВт}$.

У таблиці 2.5 представлені кілька варіантів інверторів та його характеристики.

Таблиця 2.5

Моделі інверторів

Параметри	RE CombiPlus CP-3000 (БШП)	Інвертор Solis RHI-3P10K- HVES-5G	Quattro 24/8000/190 100/100
Номінальна потужність, кВт	6	6	8
Номінальна вхідна напруга, В	24	24	24
Номінальна вихідна напруга, В	$230 \pm 3\%$	$230 \pm 4\%$	$230 \pm 1\%$
Тривалий струм зарядки, А	140	120	190
Гармонічні спотворення, %	< 5	4	3
Форма хвилі	Чиста синусоїда	Чиста синусоїда	Чиста синусоїда
Ціна, грн.	97000	93000	120000

Вибираємо інвертор Інвертор Solis RHI-3P10K-HVES-5G, рисунок 2.12. В інвертор вбудований зарядний пристрій, здійснюється функція контролю заряду.



Рисунок 2.11 – Загальний вигляд інвертора Solis RHI-3P10K-HVES-5G

2.2.5 Вибір зарядного пристрою (контролера)

Найпростіші контролери відключають джерело енергії (сонячну батарею) при досягненні номінальної напруги на акумуляторній батареї (АБ). Однак, регулярний недозаряд призводить до сульфатації пластин і значного скорочення терміну служби АБ.

Більш досконалі контролери застосовують широтно-імпульсну модуляцію (ШІМ) на завершальній стадії заряду, що дозволяє заряджати АБ до 100%.

Заряд акумулятора від сонячної батареї має чотири етапи:

- Заряд максимальним струмом.
- ШІМ-заряд.

За умов досягнення певних значень напруги на АБ, контролер підтримує постійну напругу за допомогою широтно-імпульсної модуляції струму. Це запобігає перегріву і газоутворенню, а струм поступово зменшується в міру завершення заряду.

- Вирівнювальний заряд.

Для батарей із рідким електролітом періодичний заряд до газоутворення покращує роботу акумулятора. Це дозволяє вирівняти напругу на банках, очищає пластини та перемішує електроліт.

- Підтримувальний заряд.

Після повного заряду напруга знижується, щоб уникнути перегріву чи газоутворення, підтримуючи батарею в повністю зарядженому стані.

Окремо зарядний пристрій обирати не потрібно, оскільки він уже інтегрований у інвертор.

2.3 Висновки до розділу 2

1. Розглянуто систему електропостачання котеджу з основним живленням від електромережі та резервним – від сонячної електроустановки. Проведено розрахунок сумарного енергоспоживання, враховуючи особливості використання електроприладів та сучасні енергоефективні технології.

2. Вибрано оптимальне джерело резервного живлення – фотоелектричну систему, яка складається з сонячних модулів, акумуляторів, інвертора, зарядного пристрою та інших необхідних компонентів.

3. Виконано оцінку добового енергоспоживання, визначено необхідну ємність акумуляторних батарей та кількість фотоелектричних модулів, враховуючи особливості клімату та пікові навантаження.

4. Проаналізовано різні типи акумуляторів та інверторів. На основі технічних характеристик та економічних показників обрано оптимальні моделі. Використано герметичні свинцево-кислотні акумулятори та інвертор з інтегрованим зарядним пристроєм, що забезпечує високу ефективність і довговічність системи.

5. Представлено структуру електроустановки та схему розподільчого щита, яка забезпечує автоматичне переключення між основним і резервним джерелом живлення.

3 РОЗРАХУНКОВО-ДОСЛІДНИЦЬКИЙ РОЗДІЛ

3.1 Розробка математичної моделі сонячної електростанції

Сонячна електростанція (рисунок 3.1) будь-якої потужності складається з



Рисунок 3.1 – Схематичне зображення сонячної електростанції

таких основних компонентів:

- ✓ сонячних батарей, що перетворюють енергію сонця в електричний струм. Вони побудовані з фотоелектричних елементів, об'єднаних у послідовно-паралельні модулі, які визначають потужність установки.
- ✓ перетворювача постійної напруги, що функціонує завдяки контролеру.
- ✓ акумуляторних батарей, які накопичують енергію для подальшого використання.
- ✓ вихідний інвертор, який перетворює постійний струм у змінний заданих частоти й напруги.
- ✓ Допоміжні елементи: з'єднувальні компоненти, контролери заряду/розряду, кабелі та кріплення.

Побудова інтегрованої моделі електростанції вимагає узгодження окремих елементів у межах єдиної енергетичної системи, що визначає вибір універсального інструмента моделювання. У розробленій моделі всі елементи реалізовані в MATLAB Simulink як окремі підсистеми.

Обсяг первинної сонячної енергії залежить від інтенсивності сумарного випромінювання у конкретному місці встановлення, орієнтації панелей та зовнішніх умов (температура повітря, хмарність, коефіцієнт відбиття поверхні). Через стохастичність метеорологічних умов використовуються статистичні методи оцінки радіаційних характеристик, базовані на багаторічних метеорологічних спостереженнях.

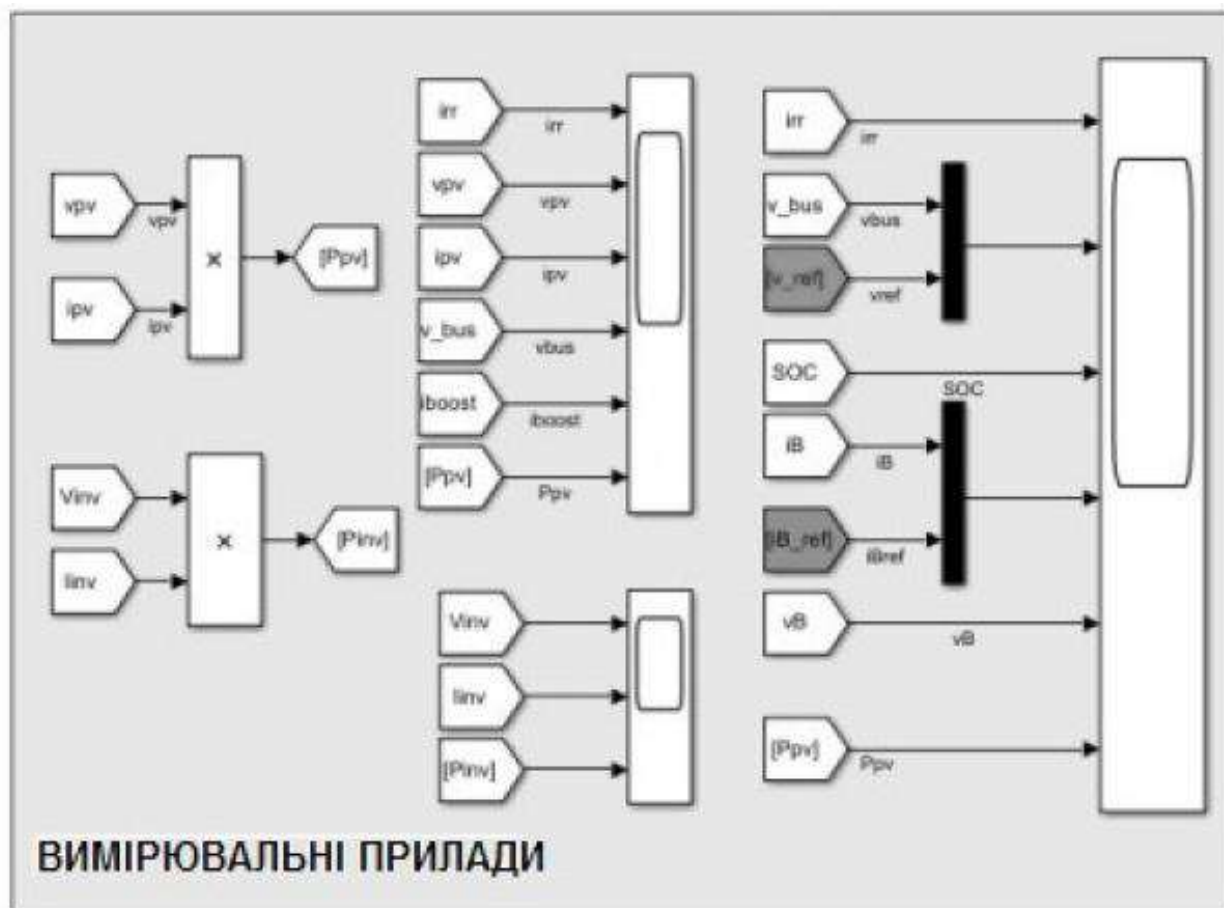


Рисунок 3.2 – Модель CEC в MATLAB

На основі схеми (рисунку 3.2) створена імітаційна модель CEC у *MATLAB Simulink* із застосуванням бібліотек *Simscape Electrical Specialized Power*

Systems. Модель містить такі блоки:

- ⇒ сонячних батарей;
- ⇒ контролера;
- ⇒ акумуляторних батарей;
- ⇒ інвертора;
- ⇒ навантаження.

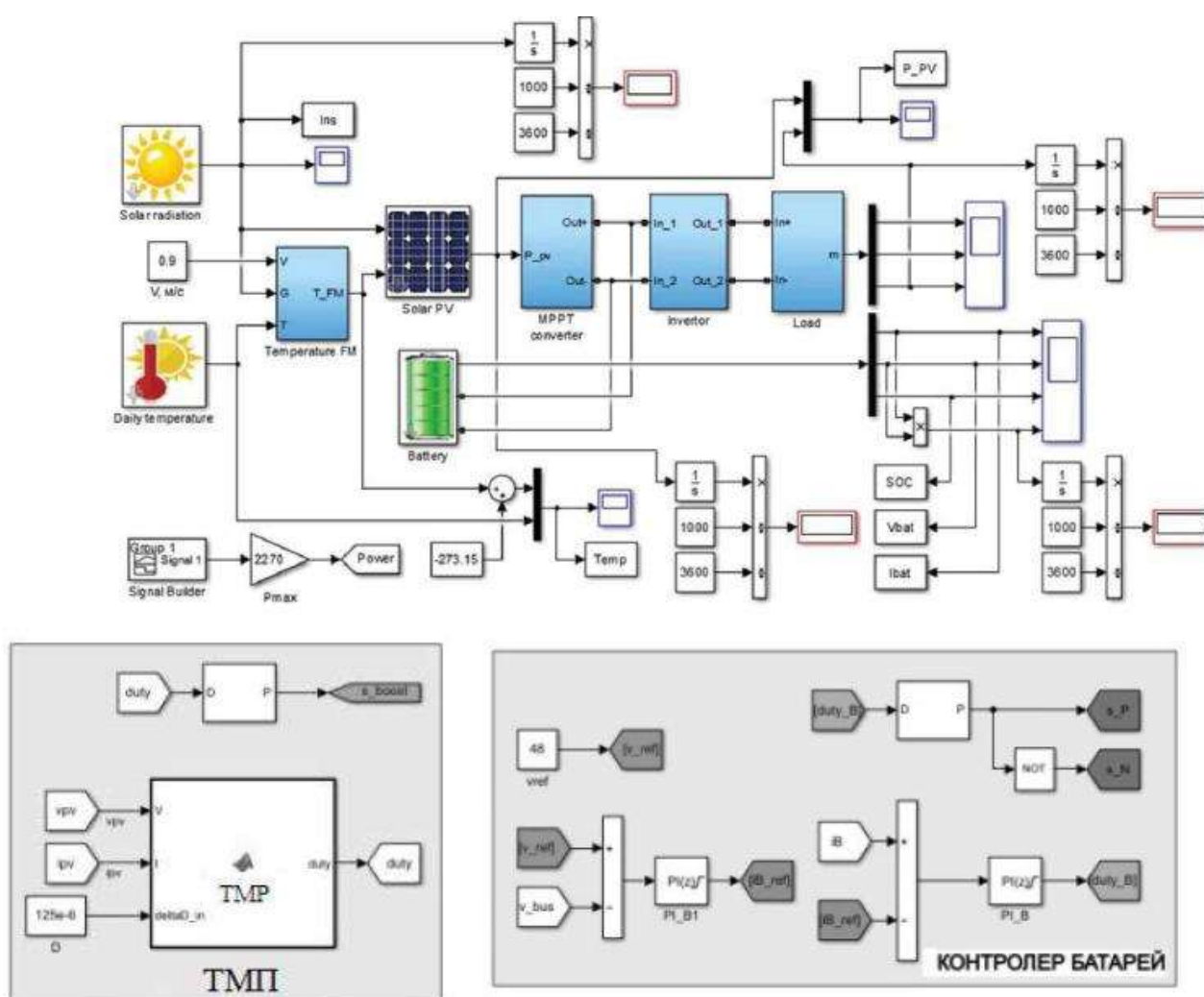


Рисунок 3.3 – Імітаційна модель СЕС

Контролер (ТМП) (рисунок 3.3) враховує нелінійні характеристики сонячних батарей, які змінюються залежно від сонячної інсоляції та температури. Алгоритм ТМП визначає точку максимальної потужності, забезпечуючи оптимальну роботу компонентів. Крім того, реалізовано алгоритм для контро-

лера заряду/розряду батарей.

Для моделювання акумуляторної батареї (АБ) застосовано метод, розроблений Olivier Tremblay та Louis A. Dessaint, заснований на рівнянні Шеферда. Напруга батареї залежить від струму розряду та фактичного рівня заряду. Ця модель забезпечує адекватне моделювання процесів заряду та розряду різних типів АБ, зокрема для відновлюваних джерел енергії.

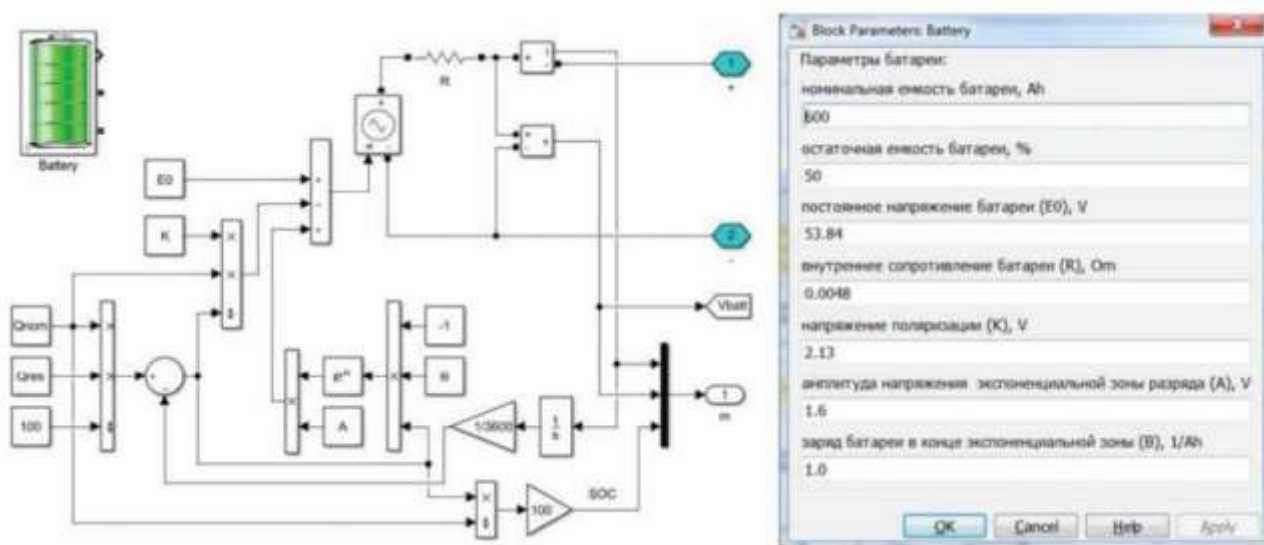


Рисунок 3.4 – Модель відтворення АБ

Модель АБ (рисунок 3.4) виконана у вигляді керованого джерела напруги, з'єднаного з постійним опором. Це дозволяє аналізувати режими розряду/заряду та враховувати втрати в системі.

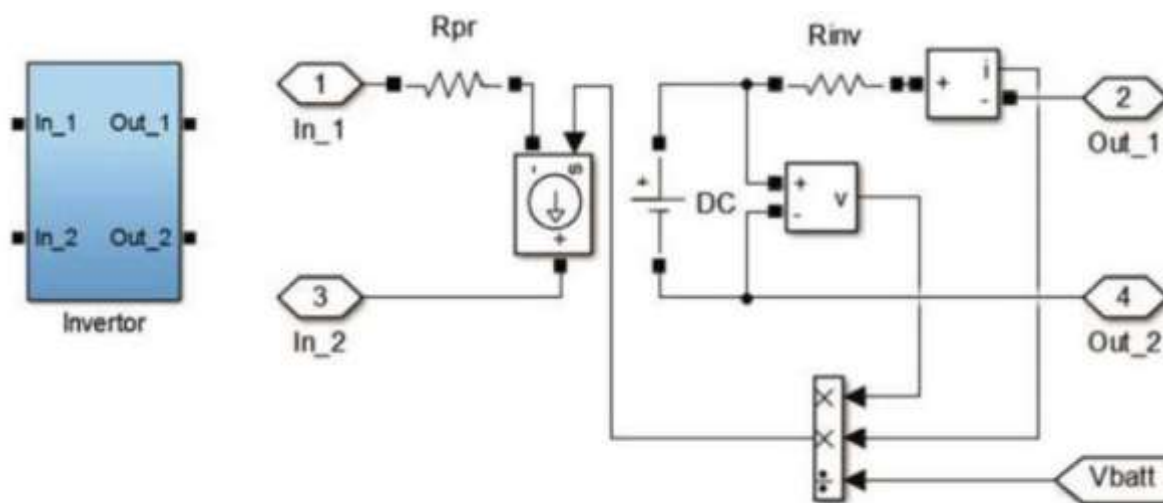


Рисунок 3.5 – Симуляційна модель інвертора

Інвертор (рисунок 3.5) моделюється як ідеальне джерело напруги, з'єднане через опір, що враховує внутрішні втрати. Навантаження (рисунок 3.6) задається ймовірно - статистичною моделлю, яка враховує середньоквадратичне відхилення та коефіцієнт надійності. Імітаційна модель розроблена з використанням бібліотеки Simulink Signal Builder.

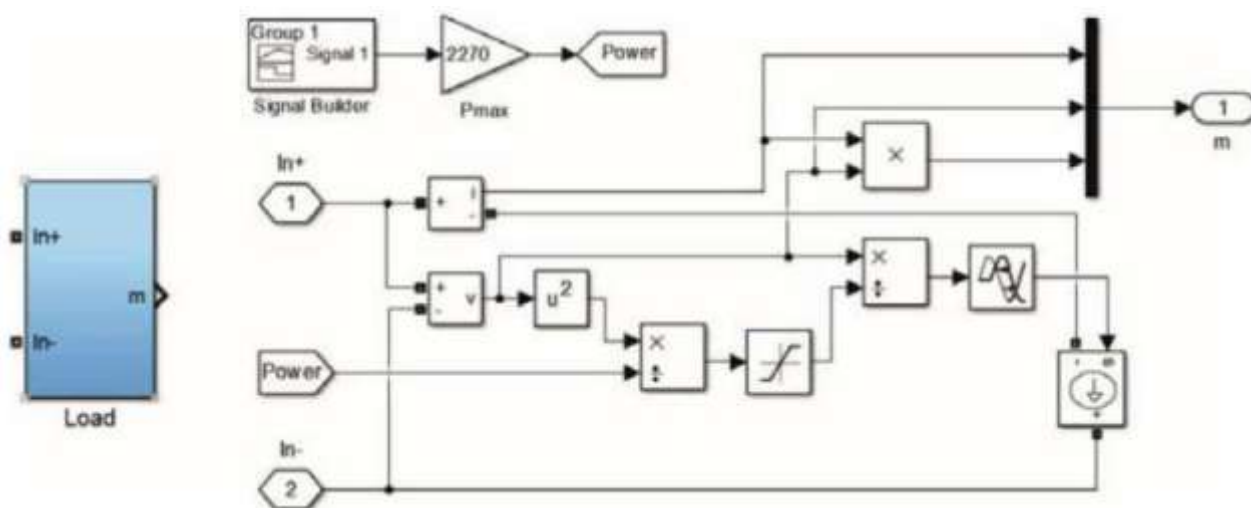


Рисунок 3.6 – Модель - симуляція навантаження

Електростанція складається з 6-ти фотоелектричних модулів потужністю 230 Вт кожен і акумуляторної батареї з 5-ти гелієвих свинцево-кислотних елементів. Номінальна напруга системи – 24 В.

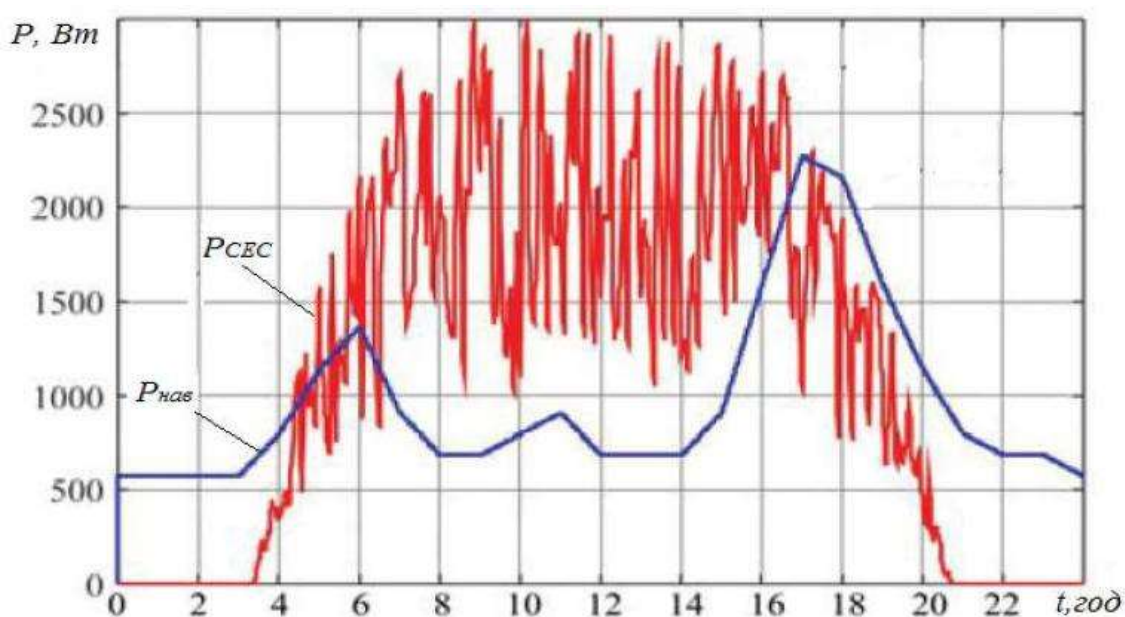
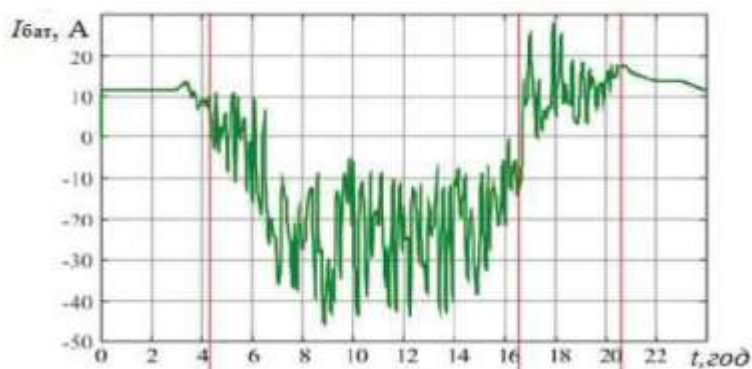


Рисунок 3.7 – Графік зміни потужності та навантаження СЕС

Результати моделювання (рисунок 3.7) показали, що при правильному співвідношенні потужностей генерації й навантаження забезпечується повне покриття потреб споживача.

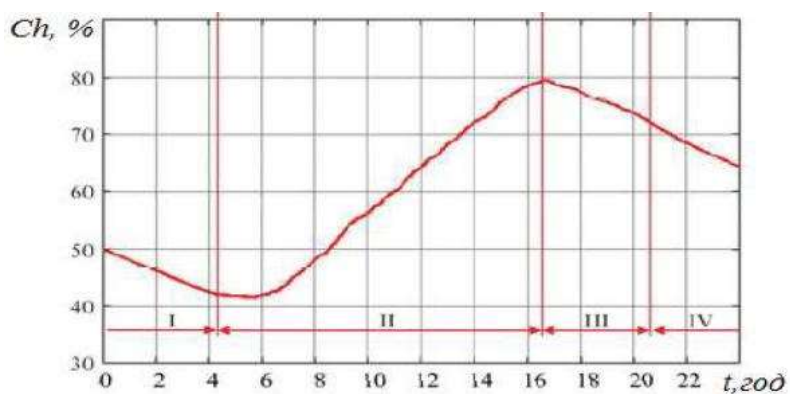
Аналіз енергетичних процесів довів здатність АБ поповнювати рівень заряду протягом дня, забезпечуючи безперервне електропостачання, у всіх зонах як показано на рисунку 3.8 : а) струм , б) наруга, в) заряд батареї.



а)



б)



в)

Рисунок 3.8 – Графік зміни потужності та навантаження СЕС

При ємності АБ 50% на початку доби її рівень знижується до 42% у

темний час доби й досягає 80% під час заряду. Після завершення циклу рівень заряду перевищує початковий, що підтверджує ефективність конфігурації системи. СЕС з такою конфігурацією здатна забезпечити безперебійне електропостачання з максимальним навантаженням до 12 кВт, а 50% заряд АБ дозволяє резервувати живлення на 12 годин.

3.2 Розрахунок капітальних витрат та терміну окупності СЕС

Капітальні витрати – це одноразові вкладення, що спрямовані на збільшення основних засобів підприємства. Вони охоплюють витрати на створення сонячної електростанції, транспортування обладнання, будівництво, підключення до енергосистеми та оплату за використання земельної ділянки.

Сума капітальних інвестицій розраховується за формулою:

$$K = K_{уст.} + K_{пр.} + K_{вст.} + K_{обл.} \quad (3.1)$$

де: K – загальні капітальні витрати, грн;

$K_{уст.}$ – ціна сонячної установки, грн;

$K_{пр.}$ – витрати на проектування та оформлення документації, грн;

$K_{вст.}$ – витрати на будівельно-монтажні роботи й підключення до мережі, грн;

$K_{обл.}$ – вартість додаткового обладнання, грн.

Деталізація витрат на сонячну установку та її складові (інвертор, лічильник, акумуляторні батареї) наведена в таблиці 3.1. Інформацію взято з вітчизняних сайтів виробників і онлайн-магазинів.

Витрати на підключення до мережі оператора розраховуються залежно від замовленої потужності. Щороку НКРЕКП визначає ставки для міської та сільської місцевості. У 2024 році ставка для міста складала 0,897. Наприклад, підключення додаткової потужності 3 кВт до мережі АТ «Тернопільобленерго» коштує:

$$K_{\text{вст.}} = P_{\text{заявлена.}} \cdot 0,897 + \text{ПДВ (20\%)} = 3229 \text{ грн.} \quad (3.2)$$

Таблиця 3.1

Вартість основних елементів СЕС

Обладнання	Кількість, шт.	Ціна за одиницю, грн.	Загальна вартість, грн
Сонячна панель Risen Energy RSM110-8-540M	6	9374	56 244
Інвертор Sohs RHI-3P10K- HVES-5G	1	117 250	117 250
Акумуляторні батареї Challenger LF	5	69 200	346 000
Лічильник SmartMeter Huawei	1	10 250	10 250
Разом $K_{\text{уст.}}$, грн	—	—	529 744

(Дані витрати також включають додаткове обладнання, як-от захисні пристрої та кабелі, що розраховано у таблиці 3.2).

Таблиця 3.2

Вартість додаткових елементів для СЕС

Обладнання	К - сть/довжина шт/м.	Ціна за одиницю, грн	Загальна вартість, грн
1	2	3	4
Кабелі: H1Z2Z2-K×4	50	28	1400
АВВГ 4×10	10	37,63	376,3
ПВ 4×40	1	18,19	18,19

Продовження таблиці 3.2

1	2	3	4
Комутаційні апарати : ETIMAT 10 IP 80A	1	1248	1248
ABB 1p 16 SZ201	5	145	725
AB 1p 10 SZ201	2	167	334
Шафа захисту AC: Пластиковий щит	1	–	–
Автоматичний вимикач	1	–	–
Обмежувач перенапруг	1	–	–
Шафа захисту DC: Пластиковий щит	1	–	–
Автоматичний вимикач	1	–	–
Обмежувач перенапруг	1	–	–
Заземлення	1	–	–
Разом	–	–	12 813
Разом $K_{обл}$, грн	–	–	16914,5

Підставляючи розраховані значення у формулу (3.1), отримуємо:

$$K = 529744 + 25000 + 3229 + 16914,5 = 574\,888 \text{ грн.}$$

Поточні витрати – це регулярні витрати, що виникають у визначений період. Річні витрати включають обслуговування, ремонт, амортизацію та заробітну плату персоналу, і обчислюються за формулою:

$$B = B_{ам.} + B_{зн.} \quad (3.3)$$

де: B – річні експлуатаційні витрати, грн;

$B_{ам.}$ – амортизація, грн;

$B_{зн.}$ – заробітна плата персоналу, грн.

Оскільки в цьому випадку обслуговуючий персонал не потрібен, витрати обмежуються амортизацією, яка становить 1% від вартості всієї установки:

$$B_{ам.} = K_{уст.} \cdot 1\% \quad (3.4)$$

Підставляючи відповідні значення, отримуємо:

$$B_{ам.} = 529\,744 \cdot 1\% = 5\,297 \text{ грн.}$$

Річні витрати на 1 кВт встановленої потужності визначаються за формулою:

$$З = \frac{P_n + K + B_{ам}}{P} \quad (3.5)$$

де: $З$ – річні витрати на 1 кВт потужності, грн;

P – встановлена потужність об'єкта, кВт;

P_n – нормативний коефіцієнт рентабельності, що визначається за формулою:

$$P_n = \frac{1}{T}. \quad (3.6)$$

Оскільки термін служби обладнання перевищує 30 років .

Підставляючи отримані дані, обчислюємо:

$$З = \frac{0,033 \cdot 574\,888 + 5297}{12} = \frac{18\,971}{12} = 1\,581 \text{ грн.}$$

Ефективність сонячної електростанції визначається коефіцієнтом використання встановленої потужності за формулою:

$$K_{ВВП} = \frac{P_d}{P_{пл}}. \quad (3.7)$$

де: P_d – фактично вироблена електроенергія, кВт·год;

$P_{пл}$ – плановий обсяг виробництва електроенергії, кВт·год.

Гарантія на панелі Risen RSM110-8-540M становить 12 років. Через 10 років модулі втрачають не більше 6% потужності, а через 20 років – до 15%.

Щорічно потужність знижується приблизно на 0,6%. Загальний обсяг виробленої енергії за 30 років визначається формулою:

$$P_{\text{д}} = \sum_i^n (P \cdot (1 - 0,06 \cdot (n - 1))). \quad (3.8)$$

де: n – кількість років експлуатації;

P – щорічний виробіток, кВт·год.

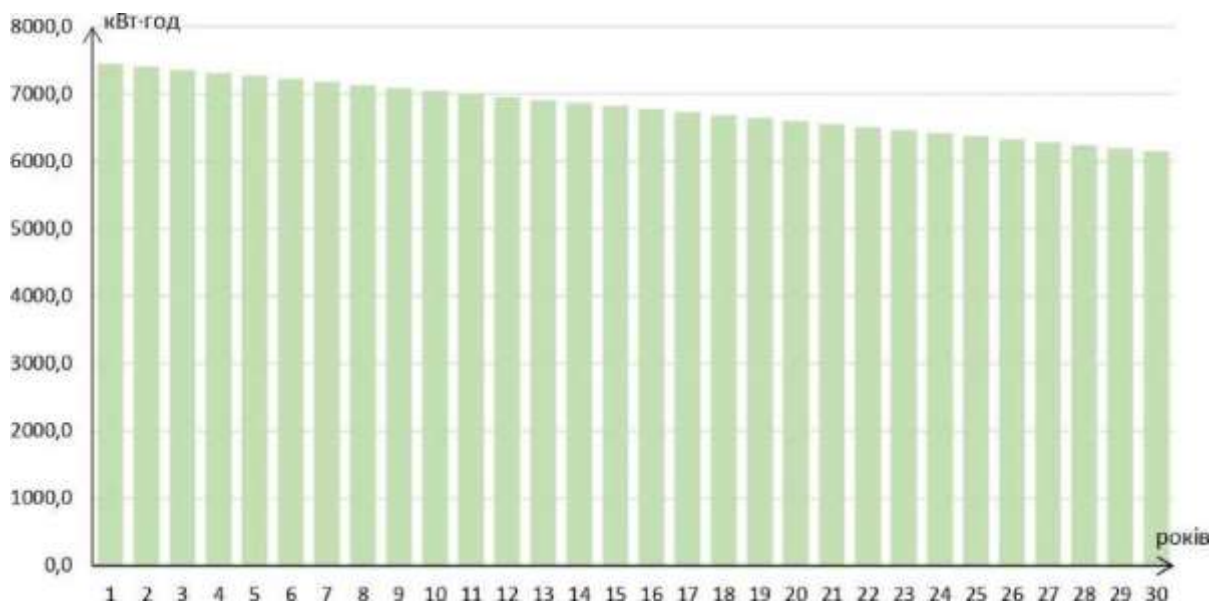


Рисунок 3.9 – Виробництво електричної енергії по роках

Ефективність сонячної станції дорівнює:

$$K_{\text{ВВП}} = \frac{203\,926}{336\,332} = 0,61.$$

Термін окупності розраховується за формулою:

$$T_{\text{ок}} = \frac{K + B_{\text{ам}}}{E}. \quad (3.9)$$

де: $T_{\text{ок}}$ – термін окупності, років;

E – річна економія, грн.

$$T_{ок} = \frac{574\,888 + 5297}{29000} = 20 \text{ років.}$$

Отже, термін окупності складе 20 років, що перевищує строк служби обладнання, а встановлення такої станції без продажу енергії є недоцільним.

3.3 Висновки до розділу 3

1. Розроблена імітаційна модель підтверджує можливість безперебійного живлення споживачів і допомагає визначити оптимальні режими роботи СЕС з урахуванням резервної потужності АБ.

2. Розроблена імітаційна модель сонячної електростанції (СЕС) у MATLAB Simulink забезпечує адекватне відтворення функціонування основних компонентів: сонячних батарей, інвертора, акумуляторних батарей і системи навантаження. Це дозволяє ефективно аналізувати енергетичні процеси та оптимізувати режими роботи СЕС.

3. Модель враховує стохастичність метеорологічних умов та базується на статистичних методах оцінки інтенсивності сонячного випромінювання. Це сприяє підвищенню точності прогнозування ефективності електростанції.

4. Проведене моделювання довело, що запропонована конфігурація системи забезпечує повне покриття енергетичних потреб при максимальному навантаженні до 12 кВт, а також гарантує безперервне живлення протягом 12 годин за рахунок резервної ємності акумуляторних батарей.

5. Аналіз капітальних і поточних витрат показав, що термін окупності СЕС перевищує строк служби обладнання без можливості продажу електроенергії. Це вказує на необхідність додаткового економічного обґрунтування для підвищення інвестиційної привабливості проекту.

6. Запропонована імітаційна модель є універсальним інструментом для подальшого дослідження та оптимізації параметрів роботи СЕС в різних умовах експлуатації.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1 Заходи безпеки під час роботи із сонячними панелями

Фотоелектричні або фотогальванічні системи збирають енергію сонячного світла, перетворюючи її на постійний струм. Ви можете використовувати електрохімічні сонячні батареї для зберігання енергії або підключити їх до домашньої мережі.

При монтажі та повсякденній експлуатації подібних систем, включаючи технічне обслуговування та ремонт, не варто забувати про заходи безпеки. Щоб уникнути травм та інших загроз для здоров'я, а також ефективно використовувати сонячні панелі та батареї, необхідно пам'ятати та дотримуватись правил і техніки безпеки.

Неважливо, підключаєте ви панелі один до одного або збираєтеся тільки встановлювати монтажний каркас, при недостатній увазі можна впасти з висоти, травмувати пальці або впустити конструкційні елементи, серйозно їх пошкодивши.

Робоче місце та його ризики

Немає двох однакових будинків і немає двох однакових комерційних об'єктів. Перед встановленням системи сонячних панелей фахівці повинні відвідати об'єкт для оцінки. Під час цього візиту майстри повинні виконати певні дії, включаючи:

- вибір правильних та ефективних інструментів для оцінки об'єкта;
- визначення найкращого місця для встановлення панелей, інверторів, сонячних батарей та інших систем, щоб досягти ідеального балансу;
- пошук місця з підходящою орієнтацією, доступом до достатнього сонячного світла, достатньою площею для встановлення та перевіреною структурною цілісністю;
- виявлення потенційних небезпек на місці;
- складання плану майбутнього будівельного майданчика з

розташуванням існуючих будівель та обладнання;

- вимірювання сонячного випромінювання та середньої температури, щоб визначити можливу продуктивність системи;
- кількісне визначення потреб будинку в електроенергії (вивчення рахунків за комунальні послуги, зняття показань лічильників, спілкування із власником).

Слід враховувати і той факт, що як тільки панелі одержують доступ до сонячного світла, вони можуть нагріватися, викликаючи опіки. З цих причин слід дотримуватися таких правил безпеки при користуванні панелями:

- будь-які операції з панелями повинні виконуватися як мінімум удвох, щоб уникнути будь-яких травм або пошкоджень;
- уникайте підйому сходами при перенесенні сонячних батарей - найкращим варіантом стане використання крана, підйомника або системи лебідок;
- обертайте сонячні панелі непрозорим папером, щоб запобігти накопиченню тепла, щоб уникнути опіків при їх нагріванні;
- використовуйте відповідне екіпірування – захисні каски, рукавички, нековзна спецвзуття.
- Також рекомендується використовувати перед встановленням сонцезахисні креми для запобігання сонячним опікам шкіри.

Падіння з висоти

Коли йдеться про дах, не можна забувати про можливість падіння з висоти. Ви можете впасти не тільки з даху, а й зі сходів, а також у будь-якому іншому місці на майданчику. Роботи на висоті можуть бути надзвичайно небезпечними через обмежений простір під час встановлення сонячних панелей.

Щоб уникнути нещасних випадків, слід заздалегідь вивчити майбутнє місце роботи. Необхідно видалити будь-які перешкоди з даху і закласти на час будь-які отвори на самій покрівлі або на робочому майданчику на рівні землі.

При роботі на висоті понад півтора метра потрібна наявність огорож по краях. Співробітники повинні використовувати страхові ремені безпеки та

натягувати захисні сітки по периметру робочого майданчика.

Електрична безпека

Сонячні електричні системи постачаються з різними компонентами. Коли ці компоненти знаходяться під напругою, вироблення енергії сонячного світла може призвести до ураження електричним струмом, опіків та інших травм.

В якості запобіжного заходу робітники повинні використовувати непрозорі матеріали, щоб закрити панелі після їх розпакування. Важливо дотримуватися запобіжних заходів при підключенні фотоелектричних сонячних батарей (знеструмити об'єкт, перевірити відсутність напруги, не працювати з системою під навантаженням).

4.2 Правила безпеки при експлуатації акумуляторних батарей

Акумуляторне приміщення слід завжди замикати на замок. Особам, які оглядають ці приміщення і працюють в них, ключі видаються на загальних підставах на час роботи або огляду.

Працювати в акумуляторних приміщеннях дозволяється працівникам, які пройшли перевірку знань та інструктаж з безпечного поводження з кислотою, лугами і свинцем.

Забороняється палити в акумуляторному приміщенні, входити до нього з вогнем, користуватись електронагрівальними приладами, апаратами і інструментами, що можуть креснути іскрою. На дверях акумуляторного приміщення слід зробити написи: «Акумуляторна», «Вогнебезпечно», «Забороняється палити» і вивісити відповідні знаки безпеки про заборону користування відкритим вогнем. В акумуляторних приміщеннях, що мають припливно-витяжну вентиляцію, останню слід вмикати перед початком зарядки і вимикати після видалення газу, але не раніше ніж через 1,5 год. після закінчення заряджання. У кожному акумуляторному приміщенні мають бути:

- скляний або фарфоровий кухоль з носиком місткістю (1,5 – 2) л для приготування електроліту і доливання його в посудини;

– нейтралізувальний розчин питної соди (5%-ний) для кислотних батарей і борної кислоти або оцтової есенції (одна частина на вісім частин води) для лужних батарей.

На всіх посудинах з електролітом, дистильованою водою і нейтралізувальними розчинами слід зробити відповідні написи (вказати назву речовин). Кислоту слід зберігати в скляних бутлях з притертими пробками і бирками з її назвою. Бутлі з кислотою в кількості, необхідній для експлуатації батарей, і порожні бутлі повинні розміщуватися в окремому приміщенні біля приміщення акумуляторної батареї. Бутлі слід розміщувати на підлозі в корзинах або на дерев'яних латах. Під час транспортування скляні бутлі з кислотами і лугами повинні переносити два працівники. Бутлі разом з корзиною слід переносити в спеціальному дерев'яному ящику з ручками або на спеціальних носилках з отвором посередині, а також латами, в які бутель має входити разом з корзиною на 2/3 його висоти. Забороняється переносити скляні бутлі з кислотами та лугами на спині, плечах та руках.

Для приготування електроліту кислоту слід повільно (для запобігання інтенсивному нагріванню розчину) вливати з кухля в фарфорову або іншу термостійку посудину з дистильованою водою. Електроліт в цьому разі потрібно весь час перемішувати стрижнем або скляною трубкою чи мішалкою з кислототривкої пластмаси. Забороняється, готуючи електроліт, вливати воду в кислоту. У готовий електроліт доливати воду дозволяється.

Під час робіт з кислотою і лугом необхідно застосовувати засоби індивідуального захисту: костюм (грубошерстий – для кислоти і бавовняний – для лугу), гумові чоботи (під штани) чи калоші, гумовий фартух, захисні окуляри і гумові рукавички. Грудки їдкого лугу слід подрібнювати в спеціально відведеному місці, попередньо загорнувши їх в мішковину.

П'яти пластини в акумуляторному приміщенні допускається за таких умов:

– роботи слід виконувати за нарядом;

- паяння дозволяється не раніше ніж через 2 години після закінчення зарядки;
- батареї, що працюють за методом постійної підзарядки, слід за 2 год. до початку робіт перевести в режим розряджання;
- до початку робіт приміщення слід провентилувати протягом 2 год.;
- під час паяння приміщення має безперервно вентилуватися;
- місце для паяння слід відгородити від решти батареї вогнестійкими щитами;
- для запобігання отруєнню свинцем та його сполуками слід вжити спеціальних застережних заходів і визначити режим роботи відповідно до інструкцій з експлуатації і ремонту акумуляторних батарей.

Обслуговування акумуляторних батарей повинні проводити спеціально підготовлені працівники з групою III.

4.3 Фактори, що впливають на протипожежну стійкість об'єкту

Важливим питанням забезпечення стійкості роботи під час надзвичайних ситуацій є стійкість до світлового випромінювання. Внаслідок дії енергії світлового імпульсу на підприємстві може виникнути складна пожежна обстановка, оскільки на зберіганні знаходиться значна кількість горючих речовин і обладнання.

Світлове випромінювання ядерного вибуху є електромагнітним випромінюванням в ультрафіолетовій, видимій і інфрачервоній областях спектру.

Джерелом світлового випромінювання є область що світиться (вогняна куля), що складається з розжарених продуктів вибуху і повітря. З цієї області випромінюється величезна кількість променистої енергії в надзвичайно короткий проміжок часу, унаслідок чого відбувається швидкий нагрів опромінюваних предметів, обуглювання або запалювання горючих матеріалів і опік живих тканин.

На частку світлового випромінювання припадає 30...40 % всієї енергії атомного або термоядерного вибуху. На відкритій місцевості світлове випромінювання має великий радіус дії в порівнянні з ударною хвилею.

Основним параметром, що характеризує вражаючу дію світлового випромінювання, є світловий імпульс $I_{\text{св}}$. Світловий імпульс – це кількість світлової енергії, випадаючої на 1 м^2 освітлюваної поверхні, що перпендикулярна до напрямку розповсюдження випромінювання, за весь час дії вибуху (вогняної кулі).

Світловий імпульс в даній точці пропорційний потужності ядерного вибуху і обернено пропорційний квадрату відстані до центру вибуху. На світловий імпульс також впливають вид ядерного вибуху, стан (прозорість) атмосфери і інші чинники.

При наземних вибухах світловий імпульс на поверхні землі при тих же відстанях буде приблизно на 40 % меншим ніж при повітряних вибухах такої ж потужності. Пояснюється це тим, що в горизонтальному напрямі випромінюється не вся поверхня сфери вогняної кулі, а лише половина сфери, хоча і більшого радіусу.

Якщо земна поверхня добре відбиває світло (сніговий покрив, асфальт, бетон і ін.), то сумарний світловий імпульс (прямий і відбитий) при повітряному вибуху може бути більше прямого в 1,6...2 рази.

В атмосфері завжди відбувається ослаблення променистої енергії через розсіювання і поглинання світла частинками пилу, диму, краплями вологи (туман, дощ, сніг). Ступінь прозорості атмосфери прийнято оцінювати коефіцієнтом K , що характеризує ступінь ослаблення світлового потоку. Вважається, що в великих промислових містах ступінь прозорості атмосфери можна характеризувати видимістю в 10...20 км; в приміських районах - 30...40 км, а в районах сільської місцевості, де ступінь забруднення повітря найменший, видимість досягає 60...80 км.

Світлове випромінювання, падаючи на об'єкт, частково поглинається, частково відбивається, а якщо об'єкт пропускає випромінювання, то частково

проходить крізь нього. Скло, наприклад, пропускає більше 90 % енергії світлового випромінювання.

Ступінь ураження будь-якого матеріалу під дією світлового випромінювання при одному і тому ж світловому імпульсі залежить від коефіцієнта поглинання, фізичних властивостей (густини, теплоємності, теплопровідності), товщини матеріалу і інших чинників. Матеріали темного кольору більше поглинають світлове випромінювання, ніж світлі, а тому ушкоджуються швидше. Предмети, забарвлені чорною фарбою, поглинають близько 96 % світлового випромінювання, а білою -18 %.

Чим більша потужність ядерного вибуху, тим більший світловий імпульс потрібен для запалювання одного і того ж матеріалу. Це пояснюється тим, що при великій потужності вибуху опромінювання світлом матеріалу триває довше. За цей час частина тепла втрачається за рахунок проникнення з поверхні в глибину матеріалу в результаті його теплопровідності.

Дія світлового випромінювання ядерного вибуху на будівлі і споруди об'єктів народного господарства виявляється у виникненні загорянь і пожеж, що викликають руйнування і знищення матеріальних цінностей, у ряді випадків перевершуючі по масштабах руйнування від ударної хвилі.

За оцінкою фахівців пожежної служби мінімальним розрахунковим світловим імпульсом, що викликає загоряння і пожежі, може бути імпульс в 100... 150 кДж/м², при якому відбувається запалювання горючих матеріалів (сіна, соломи, стружки, обривків газетного паперу, сухого сміття і інших легкозаймистих речовин). Тому скупчення займистого сміття поблизу будівель – реальна загроза виникнення пожежі.

На промислових підприємствах можуть утворюватися окремі або суцільні пожежі. Окрема пожежа виникає в окремій будівлі або споруді. Суцільна пожежа характеризується тим, що всі або більшість будівель і споруд підприємства, що займають значну площу, охоплені вогнем.

Середня кількість спалахів від світлового імпульсу, що припадає на одиницю площі забудови, за інших однакових умов залежить від

протипожежної готовності об'єкту. При добрій протипожежній підготовці об'єкту кількість пожеж може бути значно понижена, а для деяких виробництв зведена до нуля. Ця задача може бути успішно вирішена при обліку конкретних умов і основних чинників, що впливають на виникнення і розповсюдження пожеж на об'єкті.

На виникнення і розповсюдження пожеж впливають, головним чином, такі чинники: вогнестійкість будівель і споруд; пожежна небезпека виробництва; густина забудови; метеорологічні умови і ін.

Вогнестійкість будівель і споруд визначається займистістю їх елементів і межами вогнестійкості основних конструкцій (частин) будівель і споруд.

Займистість того або іншого елемента будівлі визначається займистістю будівельних матеріалів, з яких він виконаний. Всі будівельні матеріали по займистості діляться на три групи: не згораючі, важкоспалимі, згораючі.

Межа вогнестійкості будівельної конструкції – це період часу в годинах від початку дії вогню на конструкцію до утворення в ній наскрізних тріщин або до досягнення температури 200 °С на поверхні, протилежній дії вогню, або до втрати конструкцією несучої здатності (обвалення).

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У цій кваліфікаційній роботі було розроблено проєкт автономної системи енергозабезпечення, що використовує відновлювані джерела енергії (ВДЕ) як джерело енергії.

1. В результаті проведеного аналітичного дослідження було встановлено, що сучасний рівень споживання електроенергії у житловому секторі потребує високої надійності та стабільності електропостачання. Зношеність інфраструктури електромереж і часті перебої у постачанні енергії створюють необхідність у використанні автономних систем. Використання ВДЕ є перспективним рішенням, яке забезпечує стабільне енергозабезпечення.

2. В ході виконання роботи розроблена автономна система енергозабезпечення котеджного будинку яка включає:

- **Фотоелектричні модулі** для генерації електроенергії.
- **Акумуляторні батареї** для накопичення енергії та забезпечення безперебійного живлення вночі або під час низької сонячної активності.
- **Інвертор та контролер** для управління енергоспоживанням і зарядом акумуляторів.
- **Пристрій автоматичного введення резерву (АВР)** для інтеграції з централізованою електричною мережею.

3. Виконано детальний розрахунок енергоспоживання типового котеджу з урахуванням встановленого обладнання та пікових навантажень. Система здатна забезпечувати стабільне енергопостачання будинку навіть у випадках тривалих знеструмлень.

4. Проведено техніко-економічний аналіз, який підтвердив доцільність використання запропонованої системи. Використання герметичних свинцево-кислотних акумуляторів і фотоелектричних модулів показало оптимальне співвідношення між витратами на встановлення системи та довгостроковими перевагами, такими як зниження витрат на електроенергію та термін окупності.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Кухарець Б.В. Розробка системи автономного енергозабезпечення котеджного будинку / І.В. Белякова, В.І. Гетманюк, Б.В. Кухарець // Збірник тез доповідей. Матеріали XIII міжнародної науково - технічної конференції «Актуальні задачі сучасних технологій» (м. Тернопіль, 11 - 12 грудня 2024р.) / М-во освіти і науки України, Тернопільський нац. техн. ун-т ім. І. Пулюя – Т.: ТНТУ, 2024.
2. Вступ до спеціальності. Нетрадиційні та відновлювані джерела енергії: Курс лекцій / С.О. Кудря, В.І. Будько. – Київ : НТУУ «КПІ», 2013. – 387 с.
3. Коваль В.П. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи магістра для здобувачів другого рівня вищої освіти за ОПП Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка/ В.П. Коваль, М.Г. Тарасенко, О.А. Буняк, Л.Т. Мовчан – Тернопіль: ТНТУ, 2024. – 51 с.
4. Коваль А. В. Шляхи підвищення енергоефективності фотоелектричних систем // Д. П. Драпалюк; А. В. Коваль; В. О. Ковальчук; М. В. Королевич / Актуальні задачі сучасних технологій : зб. тез доповідей XII міжнар. наук.-практ. конф. Молодих учених та студентів, (Тернопіль, 6-7 грудня 2023) / М-во освіти і науки України, Терн. націон. техн. ун-т ім. І. Пулюя [та ін.]. – Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2023. – С. 165.
5. Коваль В. П. Автоматизована вимірювальна установка для дослідження електричних характеристик фотоелектричних модулів/ В. П. Коваль, Б.Я. Оробчук, Л.М. Костик, Я.М. Осадца// Вісник Хмельницького національного університету. – 2022. – № 5. – С. 168-173.
6. Стручок В.С. Безпека в надзвичайних ситуаціях. Методичний посібник для здобувачів освітнього ступеня «магістр» всіх спеціальностей денної та заочної (дистанційної) форм навчання / В.С. Стручок. – Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2022. – 156 с.
7. Тарасенко М. Dependences of relative and absolute glazed area from configuration and common areas of window embrasure / М. Тарасенко, В. Бурмака,

К. Козак // Вісник Тернопільського національного технічного університету. – 2018. – №1 (89). – С. 122-131.

8. Тарасенко М. Шляхи економії паливно-енергетичних ресурсів у побуті / М. Тарасенко, К. Козак // Вісник Тернопільського національного технічного університету. – 2017. – №1 (85). – С. 101-108.

9. Тарасенко М. Економічна ефективність багатотарифного обліку електроенергії в Україні / М. Тарасенко, К. Козак // Світлотехніка та електроенергетика. – 2017. – №1. – С. 23-33.

10. Тарасенко М. Ways to save fuel and energy resources in daily graft / М. Тарасенко, К. Козак // Вісник Тернопільського національного технічного університету. – 2017. – №1 (85). – С. 101-108.

11. Папаїка Ю.А. Енергетична ефективність систем електропостачання / Г.Г. Півняк, І.В. Жежеленко, Ю.А. Папаїка. – Д.: НТУ «ДП», 2018. – 149 с.

12. Казіміров О. О., Власов К. В., Куртов А. І., Потіхенський А. І. Дослідження можливостей використання сонячної енергії для автономного жив-лення об'єкта // Системи обробки інформації. – 2017 – Вип.1 (147). – С.58–61.

13. Колонтаєвський Ю. П. Фотоенергетика: навч. посібник / Ю. П. Колонтаєвський, Д. В. Тугай, С. В. Котелевець ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2019. – 160 с.

14. Литовченко В. Г., Мельник В. П., Романюк Б. М., Дверніков Б. Ф., Коркішко Р. М., Костильов В. П., Мусаєв С. М., Попов В. Г., Черенко В. В. Мобільні сонячні електростанції для використання в польових умовах // Вісник НАН України. – 2015. – № 11. – С.59–66.

15. Желих В. М., Возняк О. Т., Юркевич Ю. С. Нетрадиційні джерела енергії. – Львів: Вид-во Нац. ун-ту “Львівська політехніка”, 2009. – 83 с.

16. Макаров А. В. Нові розробки в напівпровідниковій сонячній енергетиці як перспективна область інноваційного бізнесу // Наука та інновації. 2005. Т. 1. № 6. С.69–79.

17. Ali Najah Al-Shamani, Mohd Yusof Hj Othman, Sohif Mat, M. H. Ruslan, Azher M. Abed, K. Sopian Design & Sizing of Stand-alone Solar Power Systems A house Iraq. Recent Advances in 122 Renewable Energy Sources. 2015 – P.145-150.
18. Koval V, Martsenko S, Zin M. Designing and Implementing Intelligent Lighting Control System. The 1st International Workshop on Computer Information Technologies in Industry 4.0 (CITI 2023). Ternopil, Ukraine, June 14-16, Vol. 3468, Pages 241-249.
19. Orobchuk, B., Koval, V. (2020). Development and research of Wi-Fi network for receiving and transmitting telemechanical information in the training laboratory. Вісник Тернопільського національного технічного університету. 2020; 99(3): 124-132.
20. Orobchuk B, Sysak I, Buniak O, Babiuk S, Koval V. Development of the reactive power compensation laboratory bench and its integration into the training simulator of dispatch control system. The 3rd International Workshop on Information Technologies: Theoretical and Applied Problems 2023 (ITTAP 2023).
21. Geletukha G., Zheliezna T. Prospects for Bioenergy Development in Ukraine: Roadmap until 2050 // Ecological Engineering & Environmental Technology. – 2021. –V. 22 (5). – P. 73–81. <https://doi.org/10.12912/27197050/139346>.
22. Janik P., Kosobudzki G., Schwarz. Influence of increasing numbers of RE-inverters on the power quality in the distribution grids: APQ case study of a representative wind turbine and photovoltaic system. Higher Education Press and Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2017, 11: 155-167. DOI 10.1007/s11708-017-0469-3.
23. Papaika, Y., Lysenko, O., Koshelenko, Y. and Olishevskiy, I., 2021. Mathematical modeling of power supply reliability at low voltage quality. Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu, (2), pp.97-103.
24. Janik P. Photovoltaic Power Generation Assessment Based on Advanced Signal Processing and Optimisation Techniques. Wroclaw: Publishing house of Wroclaw University of Science and Technology Wroclaw, 2014.