

Міністерство освіти і науки України  
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя  
Центр перепідготовки та післядипломної освіти  
Кафедра електричної інженерії

## Пояснювальна записка

до дипломної роботи

магістр

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему: «**РОЗРОБКА СИСТЕМИ АВТОНОМНОГО  
ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ЖИТЛОВОГО БУДИНКУ**»

Виконав: студент II курсу, групи ЕЕд-2,  
спеціальності

141 – Електроенергетика, електротехніка  
та електромеханіка

(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

Дзьобко Тарас Богданович

(прізвище та ініціали)

Керівник Оробчук Б.Я.

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль Вакуленко О.О.

(прізвище та ініціали)

Рецензент \_\_\_\_\_

(прізвище та ініціали)

Тернопіль – 2019 рік

## Міністерство освіти і науки України

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет Центр перепідготовки та післядипломної освіти

Кафедра Електричної інженерії

Освітньо-кваліфікаційний рівень - магістр

Галузь знань 14 – «Електрична інженерія»

Спеціальність 141 – «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

**Завідувач кафедри**

**Електричної інженерії**

**д.т.н., проф. Тарасенко М.Г.**

“ \_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2019 року

### ЗАВДАННЯ НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Дзьобко Тарасу Богдановичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: «Розробка системи автономного електропостачання житлового будинку»

керівник роботи Оробчук Богдан Ярославович, к.т.н., доцент

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

затверджені наказом вищого навчального закладу від 19 червня 2019 р. № 4/7-545

2. Строк подання студентом роботи - грудень 2019 року

3. Вихідні дані до роботи: Виконати дослідження сучасних вітроустановок та фотоелектричних систем. Розробити математичну модель слідкуючого електроприводу та виконати дослідження динамічного режиму роботи системи автоматизованого керування. Виконати розрахунок електроспоживання житлового будинку та вибрати конфігурації системи автономного електропостачання. Виконати розрахунок фотоелектричної системи та параметрів вітроустановки.

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

1. Аналітична частина

2. Науково-дослідна частина

3. Технологічна частина

4. Проектно-конструкторська частина

5. Спеціальна частина

6. Обґрунтування економічної ефективності

7. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях

8. Екологія

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

1. Актуальність теми, предмет і об'єкт дослідження, поставлені задачі та шляхи їх розв'язку

2. Система автоматизованого керування механізмом повороту геліоустановки

3. Схема розміщення електричної мережі будинку

4. Гібридна автономна система – «Сонце-вітер»

5. Система контролю і управління ФЕС

6. Загальні висновки до дипломної роботи

## 6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
<del>Обґрунтування</del> економічної ефективності	Мельник Л.М., <del>к.в.н.</del> , доцент		
Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	Гурик О.Я., <del>к.т.н.</del> , доцент		
	Стручок В.С., <del>ст. вих.</del>		
Екологія	Зварич Н.М., <del>к.т.н.</del> , доцент		

7. Дата видачі завдання - червень 2019 року

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Аналітична частина		
2	Науково-дослідна частина		
3	Технологічна частина		
4	Проектно-конструкторська частина		
5	Спеціальна частина		
6	<del>Обґрунтування</del> економічної ефективності		
7	Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях		
8	Екологія		
9	Оформлення пояснювальної записки		
10	Оформлення графічної частини		

Студент

\_\_\_\_\_ Дзьобко Т. Б.  
( підпис ) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

\_\_\_\_\_ Оробчук Б. Я.  
( підпис ) (прізвище та ініціали)

## АНОТАЦІЯ

Дзьобко Т.Б. Розробка системи автономного електропостачання житлового будинку, 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка; Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя. Центр перепідготовки та післядипломної освіти. Кафедра електричної інженерії, група ЕЕд-2. – Тернопіль: ТНТУ, 2019

Стор. - 127; рис. - 44; табл. - 2; плакатів - 6; джерел – 24

У дипломній роботі приведено результати розробки системи автономного електропостачання для житлового будинку на основі альтернативних джерел енергії. Проведено аналіз сучасних вітроустановок, фотоелектричних систем та гібридних систем електропостачання, обґрунтовано застосування електроприводу в сонячних установках, розроблено математичну модель слідкуючого електроприводу.

В роботі виконано розрахунок електроспоживання житлового будинку, вибір конфігурації системи автономного електропостачання, проведено розрахунок фотоелектричної системи і вітроустановки та вибрана апаратура для їх реалізації.

**Ключові слова:** автономна система електропостачання; вітроустановка; фотоелектрична система; сонячна батарея; електропривід.

## ANNOTATION

Dzobko T. Development of a system of autonomous electricity supply of a dwelling house. 141 - Electrical Power Engineering, Electrical Engineering and Electromechanics. Ternopil Ivan Puluj National Technical University. Center for retraining and postgraduate education. Chair of Electrical Engineering, group ЕЕД-2. – Ternopil: TNTU, 2019

Page – 127; Illustrations – 44; Tables – 2; Blueprints – 6; Sources – 24

In the diploma paper the results of the development of an autonomous electricity supply system for an apartment building based on alternative energy sources. The analysis of modern wind turbines, photoelectric systems and hybrid power supply systems is conducted, the use of electric drive in solar installations is substantiated, the mathematical model of the tracing electric drive is developed.

The calculation of the electricity consumption of an apartment building, the choice of the configuration of the system of autonomous electricity supply, the calculation of the photoelectric system and the wind turbine were performed and the equipment for their realization was performed.

**Key words:** autonomous power supply system; wind installation; photoelectric system; solar battery; electric drive.

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	7
1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА .....	11
1.1 Аналіз сучасних вітроустановок.....	11
1.2 Аналіз переваг та недоліків існуючих фотоелектричних систем.....	17
1.3 Основні поняття сонячної енергетики .....	19
1.4 Типи сонячних батарей.....	21
1.5 Аналіз сонячного випромінювання як джерела енергії .....	26
1.6 Гібридні системи електропостачання .....	27
2 НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА.....	30
2.1 Обґрунтування застосування електроприводу в сонячних установках.....	30
2.2 Розробка математичної моделі слідкуючого електроприводу .....	34
2.3 Визначення передавальних функцій .....	36
2.4 Дослідження динамічного режиму роботи САК .....	39
2.5 Аналіз стійкості САК.....	41
3 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА .....	44
3.1 Порівняльний аналіз джерел світла.....	44
3.2 Розрахунок електроспоживання житлового будинку.....	49
3.3 Вибір конфігурації системи автономного електропостачання.....	57
4 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА .....	61
4.1 Розрахунок фотоелектричної системи .....	61
4.2 Розробка електроприводу механізму повороту сонячних батарей.....	69
4.3 Розрахунок параметрів вітроустановки .....	72
4.4 Розрахунок імпульсного стабілізатора напруги.....	76
4.5 Розрахунок трансформатора .....	80
4.6 Розрахунок інвертора.....	91

5 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА.....	94
5.1 Вибір давача швидкості вітру .....	94
5.2 Вибір щитка освітлення і проводів.....	95
5.3 Вибір апаратів захисту.....	98
5.4 Вибір автоматичного введення резерву .....	100
6 ОБГРУНТУВАННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ.....	102
6.1 Капітальні витрати на систему автономного електропостачання.....	102
6.2 Розрахунок витрат на автономне електропостачання .....	103
6.3 Розрахунок собівартості електроенергії від автономної системи електропостачання .....	104
6.4 Розрахунок економічної ефективності від функціонування системи автономного електропостачання .....	106
7 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ ...	108
7.1 Аналіз шкідливих і небезпечних факторів, які можуть виникнути при монтажі й експлуатації вітросонячного комплексу .....	108
7.2 Розрахунок струму при однополюсному і двохполюсному дотику до струмопровідних частин вітросонячного комплексу .....	108
7.3 Заходи безпеки життєдіяльності для захисту працюючих .....	111
8 ЕКОЛОГІЯ .....	115
8.1 Вплив сонячних електростанцій на навколишнє середовище.....	115
8.2 Спосіб вилучення шкідливих речовин при утилізації сонячних модулів .....	116
8.3 Способи захисту навколишнього середовища і персоналу від впливу вітросонячного комплексу .....	120
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ДО ДИПЛОМНОЇ РОБОТИ .....	123
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ .....	125

## ВСТУП

**Актуальність теми.** Розвиток суспільства з найдавніших часів тісно пов'язаний з енергетикою. По суті, історія суспільства – це історія енергетики. Причому першими джерелами для перетворювальної діяльності людини були відновлювальні джерела енергії (ВДЕ) – м'язова сила тварин, вітер, течія рік, припливи; пізніше в хід пішли органічні паливні копалини, ще пізніше – ядерне паливо. Постійно зростаючі потреби в енергії так чи інакше задовольнялися за рахунок покращення технології переробки палива, притягнення нових ресурсів, вдосконалення споживання.

В наш час рівень економічного розвитку країни, досконалість технологій, що застосовуються, продуктивність праці в різних галузях господарства значною мірою визначається кількістю енергії, що виробляється і споживається, особливо електроенергії.

Останнім часом першочергове значення набувають саме негативні процеси, пов'язані з електроенергетикою.

По-перше, виникла стійка тенденція до зростання вартості електроенергії. При існуючих електроенергетичних системах та технологіях використання електроенергії споживачем і при схемах її споживання, що склалися, більшість промислово розвинених країн вже підійшло до тієї межі, коли з подальшим зростанням виробництва електроенергії видатки починають перевищувати прибутки.

По-друге, нинішній монополізм енергокомпаній не стимулює їх до боротьби з аварійними ситуаціями, що виникають. Через важке фінансове становище електроенергетичної галузі витрати на проведення капітальних ремонтів та реконструкцій електромереж протягом останніх п'яти років різко зменшились, унаслідок чого технічний стан мереж з кожним роком погіршується.



По-третє, велика доля тиску на навколишнє середовище, що припадає на енергопостачання, тепер починає порушувати природні процеси і набуває реальної загрози.

Тому саме в даний час життя знову змушує нас повернутись обличчям до джерел відновлювальної енергії, природа яких визначається процесами на сонці й в глибинах Землі, гравітаційною взаємодією Сонця, Землі та Місяця. Навіть активні прибічники пріоритетного розвитку ядерної енергетики в своїх прогнозах на кінець ХХІ століття відводять відновлюваній енергії не менше 18 % від загального споживання.

Україна щорічно споживає 210 млн. тон умовного палива енергетичних ресурсів і відноситься до енергодефіцитних країн, бо покриває свої потреби в енергоспоживанні приблизно на 53% та імпортує 75% необхідного обсягу природного газу і 85% сирової нафти і нафтопродуктів. Та географічне положення України забезпечує її значними потенціалами ВДЕ. Саме на їх основі можна було б будувати автономні системи електропостачання для окремих споживачів.

Розробка та впровадження таких систем на сьогодні є одним з найбільш перспективних напрямків енергозбереження. Це і викладене вище й обумовлює актуальність теми дипломної роботи.

**Мета і завдання досліджень.** *Метою* даної роботи є розробка системи автономного електропостачання для житлового будинку на основі альтернативних джерел енергії.

Для досягнення мети поставлені та вирішені такі завдання:

- розроблено комбіновану систему автономного електропостачання житлового будинку на основі вітро- і геліоустановок;
- для кожного з приміщень житлового будинку проведено розрахунок освітлення на основі даних світлодіодних джерел світла;
- здійснено розрахунок і вибір інвертора, акумуляторних і сонячних батарей, а також вітрогенератора;

- розроблено систему автоматизованого керування механізмом повороту сонячних батарей і за допомогою критеріїв Гурвіца і Найквіста доведено стійкість системи;

- здійснено вибір апаратури для системи автономного електропостачання житлового будинку;

- розраховано економічну ефективність використання автономної системи електропостачання житлового будинку на основі відновлювальних джерел енергії.

**Об'єкт дослідження** – процеси функціонування комбінованих автономних систем електропостачання з різними джерелами енергії, інтегрованих у систему електропостачання житлового будинку.

**Предмет дослідження** – процеси вироблення електричної енергії генеруючими установками шляхом використання альтернативних джерел енергії.

**Наукова новизна одержаних результатів** полягає в наступному: на основі проведеного аналізу режимів функціонування споживачів електричної енергії у приватних житлових будинках, а також аналізу методів та засобів підвищення в них енергоефективності було розроблено методологію оцінювання ефективності впровадження енергоефективних технологій для підвищення рівня «пасивності» приватних житлових будинків, що дало змогу визначити оптимальну конфігурацію систем забезпечення будинку електричною енергією, що базуються на використанні відновлювальних джерел енергії, а саме вітро- і геліоустановки.

**Практичне значення одержаних результатів роботи.** Робота має практичне значення при проведенні реконструкції та модернізації приватних житлових будинків шляхом встановлення вітро- і геліоустановок для підвищення рівня енергетичної ефективності житлового приватного будинку. Отримані у даній роботі результати допоможуть визначити оптимальну систему електропостачання будинку та забезпечити виконання поставлених завдань з мінімальними затратами.

### **Апробація результатів магістерської роботи.**

Основні положення роботи і її результати доповідалися на IV Міжнародній науково-технічній конференції «Теоретичні та прикладні аспекти радіотехніки, приладобудування і комп'ютерних технологій», присвяченій 80-ти річчю з дня народження професора Я.І. Проця (20 червня 2019 р., м. Тернопіль).

### **Публікації.**

За результатами виконаних досліджень опубліковано 1 тезу доповідей «Використання телекомунікаційних технологій в силових електромережах». Теоретичні та прикладні аспекти радіотехніки, приладобудування і комп'ютерних технологій: зб. тез доповідей міжнар. наук.-техн. конф., присвяченій 80-ти річчю з дня народження професора Я.І. Проця (Тернопіль, 20 червня 2019 р.) // М-во освіти і науки України, Терн. націон. техн. ун-т ім. І. Пулюя [та ін]. – Тернопіль: ТНТУ, 2019. – С. 332-334.

### **Структура роботи.**

Робота складається зі вступу, 8 розділів, висновків, переліку посилань (24 найменування).

Загальний обсяг текстової частини: 115 сторінок, 15 таблиць, 17 рисунків.

## 1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

### 1.1 Аналіз сучасних вітроустановок

У даний час вітроенергетика є цілком сформованим напрямком енергетики. Вітроенергетичні установки (ВЕУ) потужністю від кількох кіловат до мегават виробляють в Європі, США та інших частинах світу. Велика частина цих установок використовуються для виробництва електроенергії – як у єдиній енергосистемі, так і в автономних режимах.

Сучасні ВЕУ – це комплекс взаємопов’язаного обладнання та споруд, які перетворюють енергію вітру в механічну енергію обертання вітротурбіни, а потім в електричну енергію.

Основними класифікаційними ознаками ВЕУ є [1]:

- співвідношення потужності ВЕУ та потужності енергосистеми;
- тип застосовуваної вітротурбіни;
- тип застосовуваної електромашини.

Проаналізуємо особливості ВЕУ кожного класу і на основі цього визначимо існуючі переваги та недоліки вітроенергетики як джерела для автономного електропостачання сільського будинку.

Розрізняють три класи ВЕУ в залежності від їх відносної потужності в повній потужності енергосистеми [1].

Клас А. Потужність вітрогенератора в системі електропостачання є визначальною, тобто  $P \geq 5P_G$  (тут і далі  $P$  – потужність ВЕУ,  $P_G$  – потужність інших генераторів системи). В основному до цього класу відносяться окремо розташовані установки. Вони або взагалі не мають інших генераторів, або мають, наприклад, додаткову ВЕУ меншого розміру.

Клас В. Потужність ВЕУ одного порядку з іншими генераторами системи ( $P = P_G$ ). Така ситуація характерна для невеликих систем електропостачання у віддалених районах. Частіше за все паралельним генератором (генераторами) виступають електроагрегати з двигунами внутрішнього згоряння.

Клас С. ВЕУ підключена до енергосистеми значно потужнішої, ніж вона сама ( $5P \leq P_G$ ). Це найбільш поширений випадок при роботі ВЕУ будь-якої потужності в районах, де є комунальні та інші енергосистеми або єдині енергосистеми. При цьому енергія ВЕУ використовується безпосередньо, а її надлишки подаються до енергосистеми.

Вироблена ВЕУ електроенергія може бути легко перетворена у будь-який інший вид енергії і застосовуватися у всіх процесах.

За типом застосовуваної вітротурбіни розрізняють горизонтально-осьові і вертикально-осьові ВЕУ.

Горизонтально-осьові ВЕУ. Основною обертовою силою в цих агрегатах є піднімальна сила. Щодо вітру вітроколесо в робочому положенні може розташовуватися перед опорною вежею чи за нею. При передньому розташуванні вітроколесо повинно мати аеродинамічний стабілізатор чи який-небудь інший пристрій, що утримує його в робочому положенні. Напрямок вітру може змінюватися досить швидко і вітроколесо має чітко відслідковувати ці зміни. Тому у ВЕУ потужністю більше, ніж 50 кВт, для цієї мети використовуються електричні серводвигуни.

У вітроелектрогенераторах зазвичай використовуються дво- і трилопатеві вітроколеса, останні відрізняються дуже плавним ходом. Електрогенератор і редуктор, що з'єднують його з вітроколесом, розташовані зазвичай на опорній вежі в поворотній голівці. Багатолопатеві колеса, які розвивають при слабкому вітрі значний крутний момент, використовуються при перекачуванні води й для інших цілей, що не вимагають високої частоти обертання вітрового колеса.

Вертикально-осьові ВЕУ. Такі ВЕУ внаслідок своєї геометрії при будь-якому напрямку вітру знаходяться в робочому положенні. Крім того, така схема дозволяє за рахунок тільки подовження вала установити редуктор з генератором унизу вежі.

Принципові недоліки таких установок: набагато більша схильність до руйнувань через автоколивальні процеси, що часто в них виникають, пульсація крутного моменту, яка призводить до небажаних пульсацій вихідних параметрів

генератора. Через це більшість вітроелектрогенераторів виконана за горизонтально-осьовою схемою, хоча обидва типи ВЕУ мають приблизно однаковий ККД. Однак дослідження різних типів вертикально-осьових ВЕУ продовжуються.

Для будь-якого промислового генератора, що може використовуватися в вітрових енергоустановках, принцип дії базується на ефекті Фарадея. Суть останнього полягає в тому, що магнітне поле, перетинаючи з деякою швидкістю провідник, породжує в ньому електричний струм. Двома основними елементами генератора є статор і ротор. Обмотка одного з них (зазвичай статора) виконує роль того провідника, в якому наводиться електричний струм, а другий (ротор) складається з постійних магнітів або обмотки для створення магнітного поля. Таким чином поле, створене ротором, породжує в обмотці статора змінний струм частотою  $f_l$ , що дорівнює частоті обертання валу генератора  $f_p$  [2].

Генератор такого типу називають *синхронним генератором змінного струму*, частота якого жорстко пов'язана з частотою обертання ротора. Схема з синхронним генератором є найбільш простою для ВЕУ. Вона дозволяє використовувати вітроустановку паралельно з енергосистемою. Оскільки зазвичай потужність енергосистеми набагато більша за потужність ВЕУ, електрична машина буде знаходитися в синхронізмі у широкому діапазоні змін потужності, що розвивається електродвигуном. Недолік застосування синхронної машини паралельно з енергосистемою полягає в тому, що за деяких вітрових умов вона може переходити на роботу в режим двигуна і споживати енергію з системи, а при різких поривах вітру з'являється велика вірогідність випадіння її з синхронізму. Подальша синхронізація машини і підключення її до енергосистеми є складним процесом.

В якості генератора ВЕУ може бути також використана *асинхронна машина*, якщо вона приводиться в обертання з частотою, більшою за синхронну частоту. При цьому в систему подається електроенергія з частотою, рівною частоті мережі. Однак використання в ВЕУ асинхронної машини має три основних недоліки:

- 1) при одному й тому ж вітровому режимі вона виробляє менше енергії, ніж синхронна машина;
- 2) вона працює з меншим коефіцієнтом потужності;
- 3) вона більш дорога в порівнянні з синхронною машиною.

Слід відмітити, що останній недолік може бути компенсований зниженням витрат на механізми системи регулювання, оскільки в випадку використання синхронної машини можливе менш точне підтримання частоти обертання вітроколеса.

Досить поширеним типом електрогенераторів є генератор змінного струму з короткозамкненим ротором. Він отримав свою назву через конструктивні особливості ротора, обмотка якого складається з короткозамкнених витків. Струм у витках наводиться електромагнітним полем струму статорної обмотки. За допомогою різниці фаз відбувається перетворення механічної енергії ротора у електричну енергію (напругу) статора.

Для створення в момент запуску генератора початкового магнітного поля в роторі використовують два методи, які широко описані в спеціальній літературі [3]:

- 1) магнітне поле створюють стороннім джерелом струму;
- 2) генератор самозбудують шляхом замикання статорної обмотки на землю через конденсатор.

В останньому випадку для керування генератором може бути використаний додатковий синхронний генератор, ввімкнений за схемою синхронного автотрансформатора. Таке підключення особливо зручне в невеликих автономних енергоустановках, в яких додатковий генератор може бути підключений за несприятливих погодних умов (відсутності вітру) до допоміжного джерела енергії.

Ще однією з можливих схем генерування є схема з використанням *колекторного генератора змінного струму*. Перевага цієї схеми полягає в тому, що частота напруги на виході колекторного генератора змінного струму дорівнює

частоті збудження і не залежить від частоти обертання ротора. У цьому відношенні колекторна машина змінного струму подібна до машини постійного струму. Вартості їх також близькі. Такий генератор може бути спроектований і працювати з набагато більшим коефіцієнтом потужності, ніж асинхронний генератор.

*Генератори постійного струму* за принципом дії є синхронною машиною, яка має комутуючий пристрій у вигляді кільця з прорізами (колектора). Така форма колектора гарантує односпрямованість вихідного струму. При цьому струм, хоч і є односпрямованим, не обов'язково постійний. Гарантовано постійний струм можна отримати із змінного за допомогою напівпровідникових випрямлячів. У свою чергу і змінний струм із заданими параметрами (напругою та частотою) може бути отриманий від джерела постійного струму за допомогою спеціальних перетворювачів – інверторів.

Узагальнюючи викладене вище, а також дані, наведені в спеціальній літературі [1-6], можемо виділити такі переваги й недоліки вітрової енергії:

Переваги:

- екологічна чистота. Виробництво енергії за допомогою ВЕУ не супроводжується викидами в атмосферу вуглекислого газу чи будь-яких інших газів;
- ергономічність. ВЕУ займають мало місця і легко вписуються у будь-який ландшафт, а також добре поєднуються з іншими видами господарського застосування територій;
- вітрова енергія є відновлювальною, тобто невичерпною;
- вітрова енергія є найкращим рішенням для важкодоступних територій;
- просте обслуговування, швидка установка, низькі витрати на технічне обслуговування і експлуатацію.

Недоліки:

- нестабільність. Нестабільність полягає в негарантованому отриманні необхідної кількості електроенергії. На деяких ділянках суші сили вітру може виявитися недостатньо для вироблення необхідної кількості електроенергії;



– відносно невисокий вихід електроенергії. Вітрові генератори значно поступаються у виробленні електроенергії дизельним генераторам, що призводить до необхідності встановлення відразу декількох турбін. Крім того, вітрові турбіни неефективні при пікових навантаженнях;

– висока вартість;

– шумове забруднення. Шум від ВЕУ може спричиняти дикофофрт у тварин, а також людей, які проживають поблизу;

– достатньо великі площі, що займають ВЕУ;

– значний вплив на радіо- та відеосигнали, що передаються.

Питома потужність вітрового потоку  $N_{num}(V_i)$ , що проходить через  $1 \text{ м}^2$  поперечного перерізу, визначається за формулою [4]:

$$N_{num}(V_i) = 0,5\rho V^3, \quad (1.1)$$

де  $\rho$  – задана питома густина повітря при нормальних умовах ( $\rho = 1,226 \text{ кг/м}^3$ ),

$V$  – швидкість вітру, м/с.

Таким чином, потужність вітру пропорційна його швидкості в третьому ступені і для оцінки цієї потужності достатньо мати інформацію про швидкість вітру.

В Україні є метеорологічні служби, що займаються реєстрацією швидкості вітру, отже є достатньо достовірні статистичні дані про його швидкості. Однак, при цьому слід пам'ятати, що на метеостанціях швидкість вітру вимірюється на висоті 10 м над поверхнею Землі в даній місцевості. Тому якщо вітроколесо знаходиться на іншій висоті, то швидкість вітру слід перерахувати за наступною емпіричною формулою [4]:

$$V_h = 0,1Vhb, \quad (1.2)$$

де  $V_h$  – швидкість вітру на висоті  $h$ , м/с,

$V$  – швидкість вітру за даними метеостанції, м/с,

$h$  – висота вісі вітроколеса, м,

$b$  – емпіричний коефіцієнт. Для відкритої місцевості  $b = 0,16$  [4].

При проектуванні ВЕУ і визначенні глибини акумулювання енергії важливо також враховувати такий параметр, як тривалість штилю ( $V \leq 1$  м/с).

## 1.2 Аналіз переваг та недоліків існуючих фотоелектричних систем

Геліоенергетика в Україні в минулому розвивалася в рамках Єдиної програми розвитку енергетики СРСР. Нині тільки в Києві близько десяти науково-дослідних і навчальних інститутів розробляють різні аспекти використання сонячної енергії. Це, насамперед, ДНДІСТ та КиївЗНДІЕП, ДНДІ НЕЕ, НТУУ “КПІ” та КІБІ, інститути Академії наук – технічної теплофізики, проблем матеріалознавства та ін.

Аналіз вітчизняного досвіду експлуатації енергетичних об’єктів, що використовують ВДЕ, з урахуванням світового досвіду у цій галузі, свідчить, що для нинішніх умов України пріоритет у використанні енергії сонячного випромінювання надається таким напрямкам:

- безпосереднє її перетворення в електричну енергію постійного струму;
- безпосереднє її перетворення в низькопотенційну теплову енергію без попередньої концентрації потоку сонячної радіації.

Оскільки другий напрямок не підходить для використання в системі автономного електропостачання, розглянемо лише шляхи безпосереднього перетворення сонячної енергії в електричну.

Основна доля електрики виробляється на земній кулі за допомогою електромагнітних генераторів, що приводяться в дію тепловими машинами того чи іншого виду. Сонячні ж системи до складу яких входять теплові машини зазвичай малоефективні. Виняток складають системи з використанням концентраторів, але такі системи поки що не є перспективними в Україні.

Спочатку розглянемо найпоширеніші системи, які припускали б більш просту економічну реалізацію і могли б застосовуватися для потреб автономних споживачів.

*Термоіонний генератор.* В основу роботи такого генератора покладений ефект, винайдений Т.А. Едісоном. При нагріванні одного з електродів (катода)

до досить високої температури значна частина його електронів набуває енергії, при якій вони можуть залишати його поверхню. Якщо поблизу знаходиться інший електрод (анод), то електрони можна спрямувати до нього і там збирати. За останніми даними, максимальний практичний ККД термоіонних генераторів складає 29%.

*Термоелектричний генератор.* Якщо електричне коло скласти з різних провідників і один із спаїв підтримувати при більш високій температурі, ніж інший, то в колі протікає електричний струм. При розімкнутому колі на його кінцях виникає різниця потенціалів, величина якої пропорційна різниці температур. При різниці температур 500 °С вихідна напруга на кожній парі елементів не більше 1,2 В. Максимально можливий ККД становить 31%. Роботу реальних термоелектричних генераторів супроводжують погано досліджені незворотні явища.

*Фотоемісійний генератор.* У результаті взаємодії світла з електронами металевого катоду частина електронів набуває енергії достатньої, щоб залишити його межі. Фотони світла потрапляють на катод, проходячи крізь дротяну сітку, що виконує функцію анода. Щоб попередити вплив просторового заряду, електроди в генераторі розташовуються дуже близько один від одного. Теоретично можливий ККД, передбачений ще А. Ейнштейном та Г.Р. Герцом, становить близько 30%, а реальний ККД – не більше 0,2%.

*Фотоелектричний генератор.* Принцип дії напівпровідникового фотоелектричного генератора полягає в тому, що при поглинанні фотонів сонячної радіації електрони набувають додаткової енергії і переміщуються в зону провідності. Енергія кожного електрона збільшується на величину, яка відповідає ширині забороненої зони. Зазвичай електрон залишається в цьому стані протягом досить короткого часу. Потім він рекомбінується з іоном, а енергія, що при цьому звільняється, йде на підсилення коливань решітки або ж перевипромінюється. У фотоелектричному генераторі збуджені світлом електрони проходять крізь напівпровідниковий матеріал і встигають віддати надлишок енергії корисному навантаженню, перш ніж витратять його на інші взаємодії. Теоретично

можливий ККД фотоелектричних пристроїв складає близько 65%, однак в реальних умовах він є значно нижчим, але з удосконаленням технології постійно наближається до максимально можливого.

З усього викладеного вище можна зробити висновок, що виробництво електроенергії за допомогою фотоелектричних перетворювачів (сонячних елементів) з технічної та екологічної точки зору є найбільш привабливим і саме їх було б доцільно використовувати у системах енергопостачання автономних споживачів. Основною перешкодою на шляху розвитку фотоенергетики може бути висока вартість встановленої потужності і, відповідно, генерованої електроенергії.

### 1.3 Основні поняття сонячної енергетики

Повна середня потужність сонячного випромінювання на Землю становить  $1,2 \cdot 10^{17}$  Вт, тобто на одну людину припадає близько 30 МВт [4].

Потужність сонячного випромінювання залежить від широти місцевості, пори року і доби. Крім того, потужність сонячного випромінювання практично досягає поверхні Землі (тобто за виключенням втрат у атмосфері), залежить також і від стану атмосфери (наявності хмар, туману, пилу тощо). Так як стан атмосфери залежить від багатьох випадкових чинників, то добові і річні графіки надходження сонячної енергії мають складний характер.

Сумарна сонячна радіація  $E_{\Sigma}$  включає в себе випромінювання, що падає на горизонтальну земну поверхню, двох видів: пряме і дифузне [7]:

$$E_{\Sigma} = E_{\delta} + E_{\text{диф}} \sin \alpha, \quad (1.3)$$

де  $E_{\delta}$  – пряме сонячне випромінювання (являє собою потік випромінювання, що надходить від сонячного диска і вимірюється в площині, перпендикулярній сонячним променям);

$E_{\text{диф}}$  – дифузне випромінювання (надходить на Землю від іншої частини небесної півсфери, розсіюючись при проходженні через атмосферу),

$\alpha$  – висота Сонця – кут у вертикальній площині (кут підйому над горизонтом).

Знати висоту Сонця дуже важливо, так як при великій висоті Сонця збільшується число світлових годин, під час яких можна акумулювати сонячну енергію.

Кількість сонячної радіації в різних місцевостях України сильно залежить від їх географічних характеристик, клімату (і навіть мікроклімату) і важко прогнозованих факторів.

Важливою характеристикою радіаційного режиму є також тривалість сонячного випромінювання. У залежності від сезонних особливостей добового ходу хмарності в тому чи іншому районі регіону періоди з безперервною тривалістю сонячного випромінювання можуть відноситися до різних частин дня. Остання обставина має важливе значення для оцінки надходження сонячної радіації до прийомних поверхонь, оскільки найбільша інтенсивність її спостерігається в обідню пору. Тому важливо, щоб саме на цей час припадала максимальна повторюваність сонячного саява.

Найважливішу роль в ефективній роботі геліоустановки грає так само оптимальна орієнтація приймача сонячної енергії, яка визначається трьома основними кутами – широтою місця розташування приймача  $\varphi$ , годинниковим кутом  $\omega$ , схиленням Сонця  $\delta$  (рис. 1.1).

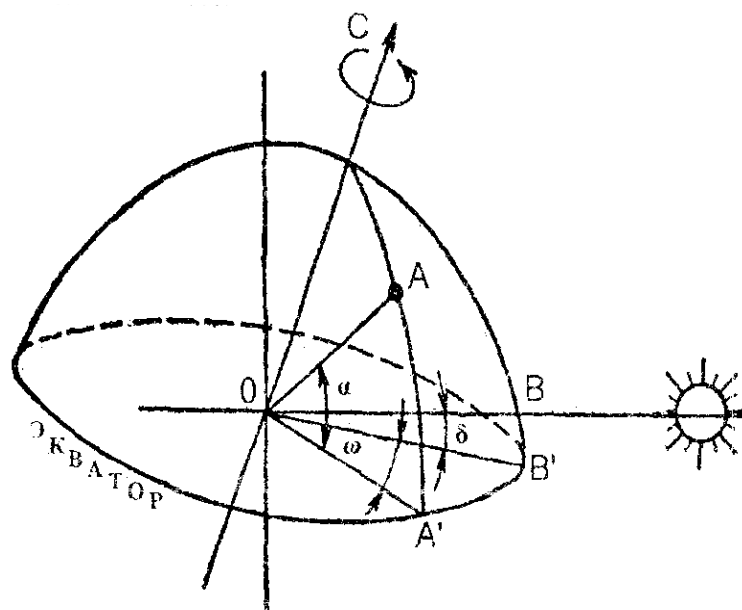


Рисунок 1.1 - Схема уявного руху Сонця по небу

*Широта* – це кут між лінією, що з'єднує точку  $A$  з центром Землі  $O$ , і її проекцією на площину екватора.

*Годинниковий кут* – це кут, вимірний в екваторіальній площині між проекцією лінії  $OA$  і проекцією лінії, що з'єднує центри Землі і Сонця. Кут  $\omega$  дорівнює нулю в сонячний полудень, 1 год. відповідає  $15^\circ$ .

*Схилення Сонця* – це кут між лінією, що з'єднує центри Землі і Сонця, і її проекцією на площину екватора. Схилення Сонця протягом року безперервно змінюється: від  $-23^\circ 27'$  в день зимового сонцестояння 22 грудня до  $+23^\circ 27'$  в день літнього сонцестояння 22 червня і дорівнює нулю в дні весняного і осіннього рівнодення (21 березня і 23 вересня).

Згідно рис. 1.1 видно, що найбільша щільність потужності космічного сонячного випромінювання буде при збігу нормалі до майданчика і напрямку на Сонце. Так як положення Сонця відносно Землі безперервно змінюється протягом року і доби, то для отримання максимально можливої щільності потужності сонячного випромінювання кути повинні змінюватися відповідним чином, тобто необхідно безперервне стеження за Сонцем.

#### **1.4 Типи сонячних батарей**

Сонячна батарея (СБ) – це кілька об'єднаних фотоелектричних перетворювачів (фотоелементів) – напівпровідникових пристроїв, які прямо перетворюють сонячну енергію в постійний електричний струм.

На відміну від сонячних колекторів, які здійснюють нагрівання матеріала-теплоносія, СБ безпосередньо виробляє електрику. Однак для виробництва електрики із сонячної енергії використовуються і сонячні колектори: зібрану теплову енергію можна використовувати і для вироблення електрики.

СБ поділяються, в основному, в залежності від технології виготовлення та матеріалу, з якого їх виробляють. Відповідно до цього критерію, виділяють кремнієві і плівкові СБ. Кремнієві в свою чергу поділяються на полікристалічні,

монокристалічні і аморфні. Розглянемо детальніше особливості СБ кожного типу.

Монокристалічні сонячні батареї. Монокристалічні кремнієві батареї являють собою силіконові комірки, об'єднані між собою. Для їх виготовлення використовують максимально чистий кремній, отриманий за методом Чохральського. Після затвердіння готовий монокристал розрізають на тонкі пластини завтовшки 250-300 мкм, які пронизують сіткою з металевих електродів. Технологія, що використовується, є порівняно дорогою, тому і вартість монокристалічних батарей є вищою, ніж полікристалічних або аморфних. Часто перевагу даному виду СБ віддають за високий показник ККД (близько 17-22%). Зовнішній вигляд монокристалічної СБ наведено на рис. 1.2.

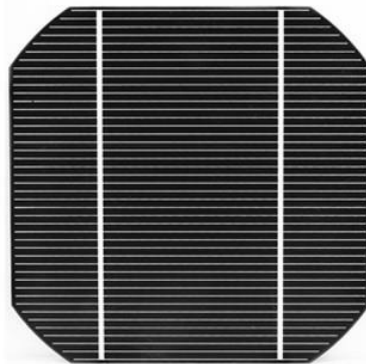


Рисунок 1.2 - Зовнішній вигляд монокристалічної СБ

Полікристалічні сонячні батареї. Для отримання полікристалів кремнієвий розплав піддається повільному охолодженню. Така технологія вимагає менших енергозатрат, отже, і собівартість кремнію, отриманого за її допомогою, менше. Єдиний мінус: полікристалічні сонячні батареї мають більш низький ККД (12-18%), ніж монокристалічні. Причина полягає в тому, що всередині полікристале утворюються області з зернистими кордонами, які і призводять до зменшення ефективності елементів.

Зовнішній вигляд полікристалічної СБ наведено на рис. 1.3.

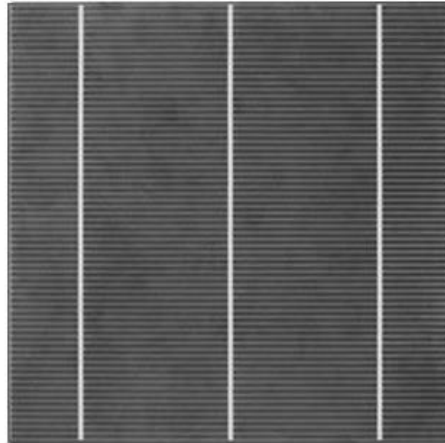


Рисунок 1.3 - Зовнішній вигляд полікристалічної СБ

У таблиці 1.1 наведені основні відмінності між моно- та полікристалічними сонячними батареями.

Таблиця 1.1 – Порівняльна характеристика моно- та полікристалічних СБ

<i>Показник</i>	<i>Монокристалічні СБ</i>	<i>Полікристалічні СБ</i>
Кристалічна структура	Зерна кристала паралельні Кристали орієнтовані в одну сторону	Зерна кристала не паралельні. Кристали орієнтовані в різні сторони
Температура виготовлення	1400 °С	800-1000 °С
Колір	Чорний	Темно-синій
Стабільність	Висока	Висока, але менше ніж у моно-
Ціна	Висока	Висока, але менше ніж у моно-
Термін окупності	2 роки	2-3 роки

Сонячні батареї із аморфного кремнію. Якщо проводити поділ залежно від матеріалу, що використовується, то аморфні батареї відносяться до кремнієвих, а якщо в залежності від технології виробництва – до плівкових. У разі виготовлення аморфних панелей, використовується не кристалічний кремній, а сілан або кремневодень, який тонким шаром наноситься на матеріал підкладки. ККД таких



батареї становить всього 5-6%, у них дуже низький показник ефективності, але, незважаючи на ці недоліки, вони мають і ряд переваг:

- показник оптичного поглинання в 20 разів вище, ніж у полі- та монокристалів;
- товщина елементів менше 1 мкм;
- у порівнянні з полі- та монокристалом мають більш високу продуктивність при похмурій погоді;
- підвищена гнучкість.

Крім описаних вище видів кремнієвих сонячних батарей, існують і їх гібриди. Так для більшої стабільності елементів використовують двофазний матеріал, що представляє собою аморфний кремній з включеннями нано- або мікроеlementів кристалів. За властивостями отриманий матеріал схожий з полікристалічним кремнієм.

Тонкоплівкові сонячні батареї. Розробка плівкових батарей була обумовлена:

- потребами в зниженні вартості сонячних батарей;
- необхідністю поліпшення продуктивності і технічних характеристик.

СБ на основі CdTe. Дослідження телуриду кадмію, як світлопоглинаючого матеріалу для сонячних батарей почалися ще в 70-х роках минулого століття. У той час його розглядали як один з оптимальних варіантів для використання в космосі, сьогодні ж батареї на основі CdTe є одними з найперспективніших в земній сонячній енергетиці. Оскільки кадмій є кумулятивною отрутою, то дискусії виникають лише з одного питання: токсичний він чи ні? Але дослідження показують, що рівень кадмію, що вивільняється в атмосферу, мізерно малий, і побоюватися його шкоди не варто. Значення ККД становить близько 11%. Цифра невелика, але вартість вата потужності таких батарей на 20-30% менше, ніж у кремнієвих.

СБ на основі селеніду міді-індія. Як зрозуміло з назви, в якості напівпровідників використовуються мідь, індій і селен, іноді деякі елементи індія заміщають галієм. Така практика пояснюється тим, що більша частина індія, що виробляється на сьогодні, необхідна для виробництва плоских моніторів. Саме тому з метою економії індій заміщають галієм, який володіє схожими властивостями. Плівкові сонячні батареї на основі селеніду міді-індія мають ККД на рівні 15-20%. Слід мати на увазі, що без використання галію ефективність сонячних батарей зростає приблизно на 14%.

СБ на основі полімерів. Розробка даного виду батарей почалася порівняно недавно. В якості світлопоглинаючих матеріалів використовуються органічні напівпровідники, такі як поліфенілен, вуглецеві фулерени, фталоціанін міді та інші. Товщина плівок становить 100 нм. Полімерні сонячні батареї мають на сьогоднішній день ККД всього 5-6%. Але їх головними перевагами вважаються:

- низька вартість виробництва;
- легкість і доступність;
- відсутність шкідливого впливу на навколишнє середовище.

Застосовуються полімерні батареї в областях, де найбільше значення має еластичність і механічна екологічність утилізації.

В табл. 1.2 приведено узагальнені дані про ККД різних типів сонячних баатарей.

Таблиця 1.2 - Узагальнені дані про ККД різних типів СБ

Тип СБ	Показник ККД
Монокристалічні	17-22%
Полікристалічні	12-18%
Аморфні	5-6%
На основі телуриду кадмію	10-12%
На основі селеніду міді-індія	15-20%
На основі полімерів	5-6%

Зазначимо, що за даними Європейської асоціації ЕРІА в 2018 році виробництво сонячних батарей за типом застосовуваного в них кремнію розподілилося наступним чином:

- полікристалічні – 52,9%;
- монокристалічні – 33,2%;
- аморфні та ін. – 13,9%.

Тобто полікристалічні сонячні батареї за обсягом виробництва займають лідируючі позиції в світі.

### **1.5 Аналіз сонячного випромінювання як джерела енергії**

Узагальнюючи викладене вище, а також дані, наведені в спеціальній літературі [1, 2, 4, 5, 7-10], можемо виділити такі переваги й недоліки сонячного випромінювання як джерела енергії:

#### Переваги:

- доступне на всій земній кулі;
- безкоштовна енергія;
- використання цього джерела енергії не має негативного впливу на клімат Землі;
- енергетичні запаси Сонця невичерпні;
- користування цим джерелом не впливає на енергетичний баланс Землі.

#### Недоліки:

- цей вид енергії може використовуватися циклічно і лише у сонячні дні;
- необхідність накопичення енергії (наприклад, електричні акумулятори, накопичувачі тепла);
- випадкова інтенсивність освітлення та інтенсивність випромінювання;
- кількість енергії, що отримується протягом дня, є різною (від 0 до близько 5 кВт·год/м<sup>2</sup>);
- енергія розсіяна рівномірно на великих площах (потужні установки потребують лінз або дзеркал);
- значна вартість геліоустановок.

## 1.6 Гібридні системи електропостачання

Із проведеного аналізу можемо зробити висновок про те, що і ВЕУ, і СУ мають як ряд переваг, так і ряд недоліків, які в багатьох випадках не дозволяють забезпечити автономне електропостачання споживача за допомогою якогось одного виду енергії: чи то енергії Сонця, чи то енергії вітру. Тому знаходять поширення гібридні системи електропостачання, які складаються з кількох альтернативних джерел енергії, поєднуючи в собі їх позитивні якості і частково послаблюючи негативні. Натепер відомі багато типів гібридних енергосистем, але найбільшого поширення набули вітродизельні, вітросонячні, а також гібридні системи на основі вітроустановок і мікроГЕС. Розглянемо їх детальніше.

*Вітродизельні системи.* Вітродизельна система складається з ВЕУ й дизель-електричної системи (ДЕС) з оптимально підібраними потужностями. Зазвичай, дизель-генератор використовується разом з ВЕУ у випадку, коли метою використання останньої є економія дизельного палива, вартість якого з урахуванням витрат на доставку може бути дуже високою. Співвідношення потужності компонентів системи залежить від схеми генерування навантаження й ресурсів вітру. Режим одночасної паралельної роботи ВЕУ й ДЕС оцінюється як недостатньо ефективний спосіб використання ВЕУ, оскільки частка вітроагрегата в системі за потужністю не повинна перевищувати 15-20% від потужності дизель-генератора. Такі режими можна використовувати для економії палива в гібридних установках великої потужності.

Використання режиму роздільної роботи ВЕУ й ДЕС дає змогу підняти частку вітроустановки до 50-60% і більше. Однак, у цьому випадку неминуче ускладнення системи за рахунок необхідності введення системи керування, інверторного устаткування та акумуляторних батарей (АБ), які акумулюють енергію, що виробляється вітроагрегатом при робочих швидкостях вітру для живлення навантаження в безвітряну погоду або при невеликих швидкостях вітру.

Щоразу, коли це можливо, енергія генерується за рахунок ВЕУ, а АБ беззупинно підзаряджаються. У періоди вітрового затишку, коли заряд АБ падає

нижче певного рівня, для забезпечення споживачів енергією автоматично (або вручну) запускається дизель-генератор. Такий режим значно знижує кількість запусків дизель-генератора й, отже, веде до скорочення витрат на обслуговування й паливо. Зазвичай, ці гібридні системи призначені для надійного електропостачання автономних споживачів з одночасною економією рідкого палива. Використання сучасної вітро-дизельної системи, при належній увазі до проведення поточного обслуговування, може бути економічно ефективним при наявності достатніх вітрових ресурсів у місцевості, де встановлений вітроагрегат. Однак, застосування ДЕС з урахуванням екологічних факторів є небажаним.

*Вітросонячні системи.* Електрична енергія може бути отримана за рахунок перетворення сонячного випромінювання СБ. Незважаючи на досить високу нині вартість СБ, їхнє використання разом з ВЕУ в деяких випадках може бути ефективним. Оскільки взимку існує великий потенціал вітру, а влітку в ясні дні максимальний ефект можна одержати, використовуючи СБ, то поєднання цих ресурсів є вигідним для споживача.

*Використання ВЕУ разом з мікроГЕС.* ВЕУ можуть використовуватися в комбінації з мікроГЕС, що мають резервуар для води. У таких системах при наявності вітру вітроагрегат живить навантаження, а надлишки енергії використовуються для закачування води з нижнього б'єфа на верхній. У періоди вітрового затишку енергія виробляється мікроГЕС. Подібні схеми особливо ефективні при малих ресурсах гідроенергії.

*Установки, під'єднані до електромереж.* ВЕУ, під'єднані до енергомереж, передбачають зв'язок з будь-якою енергетичною мережею, що поставляє вітроустановці активну й реактивну потужність для забезпечення запуску, роботи й контролю вітроагрегата. Це означає, що електроенергія, вироблена ВЕУ, надходить безпосередньо в мережу. ВЕУ починають виробляти енергію при певній швидкості вітру – зазвичай близько 4 м/с для більшості сучасних установок. Пусковий струм береться з мережі й використовується для синхронізації генератора ВЕУ. Це означає, що якщо мережа відключена, то вітроагрегат не може виробляти енергію.

Фірми або приватні особи встановлюють одну або декілька великих ВЕУ й, з'єднуючи їх з електромережею, продають електроенергію енергетичним компаніям, одержуючи при цьому непоганий прибуток. У випадках, коли енергія витрачається безпосередньо на потреби виробництва й при цьому енергії, що виробляється ВЕУ, не вистачає, є можливість одержувати її з мережі. Якщо ж ВЕУ повністю забезпечує виробництво необхідною електроенергією при наявності надлишку, то надлишок енергії надходить в мережу.

Якщо потрібно під'єднати вітроагрегат до централізованої енергетичної мережі, необхідно з'ясувати, чи досить у мережі потужності для прийому енергії від ВЕУ. Залежно від потужності енергомережі вибирають потужність ВЕУ. Зазвичай максимальна потужність ВЕУ не повинна перевищувати 20% потужності енергосистеми. Це необхідно для підтримки стабільності роботи системи й параметрів частоти та напруги в мережі енергопостачання. Вартість приєднання до енергетичної мережі залежить від її місця розташування й потужності. Очевидно, що вартість під'єднання буде вищою у випадку, якщо потужності мережі недостатньо, тому що потрібно буде збільшити потужність енергомережі, що може виявитися технічно нездійсненним. У цьому випадку в під'єднанні ВЕУ до мережі буде відмовлено.

Нами були розглянуті особливості енергосистем на основі ВДЕ. Було встановлено, що кожна з таких систем має як і свої переваги, так і свої недоліки, і може бути використана для електропостачання автономного споживача як самостійно, так і в комбінації з іншими джерелами енергії. Остаточний вибір конфігурації системи електропостачання автономного споживача й подальше її проектування і розрахунок можна зробити лише виходячи з даних щодо споживаної потужності, а також з урахуванням вітрового й сонячного потенціалу конкретної місцевості (у нашому випадку – Тернопільський район Тернопільської області). Дане завдання вирішується у наступних розділах дипломної роботи.

## 2 НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА

### 2.1 Обґрунтування застосування електроприводу в сонячних установках

Кількість енергії, що виробляється сонячною установкою, можливо збільшити, якщо до складу вітросонячного комплексу ввести спеціальну систему з електроприводом для повороту СБ. Вище відзначалося, що нахил СБ до горизонтальної поверхні має складати  $45^{\circ}$ . Але даний кут є оптимальним з точки зору усереднених показників і не є строго оптимальним для конкретного часу доби, години, місяця чи пори року. Наведення СБ на Сонце дозволяє підвищити їх енергетичну ефективність не менше, ніж на 30% [11].

У даний час у країнах, які активно використовують ВДЕ, у тому числі сонячні установки, застосовуються системи слідкування за сонцем. У США і ЄС кожна друга сонячна установка має слідкуючі приводи.

Існують основні типи слідкуючих електроприводів (ЕП):

- кроковий ЕП в режимі програмного керування від обчислювальної машини;
- слідкуючий кроковий ЕП в режимі автосупроводження з керуванням від давача розузгодження;
- кроковий ЕП в режимі годинникового заведення з керуванням від задаючого генератора імпульсів (тільки для однокоординатних (екваторіальних) систем);
- ЕП постійного струму в режимі неперервного слідкування за Сонцем;
- слідкуючий релейний ЕП постійного струму в режимі крокового автосупроводження.

У даний час можна припустити, що комп'ютерне керування буде витіснитися, звільняючи місце керуванню від давачів розузгодження для всіх типів енергетичних геліоустановок, які забезпечують високу точність, широкий кут захоплення і високу надійність.

Кроковий ЕП є необґрунтовано складним, дорогим і енергетично неефективним. Крім того, сонячні фотоелектричні станції виробляють постійний струм, який потім може бути за необхідністю перетворений у змінний. На основі цього можна зробити висновок, що для здійснення слідкування за Сонцем найбільш доцільним є застосування ЕП постійного струму з керуванням від системи наведення з фотодавачем. Перевага зазвичай віддається більш простим приводам постійного струму з наступних причин:

- при допустимій похибці  $\delta_n = \pm 10^\circ$  немає сенсу в неперервному автосупроводженні – досить вісім разів повернути за світловий день фотопанель на  $20^\circ$ , у цьому випадку допустима похибка не перевищить  $\delta_{max} = 10^\circ$ ;

- електричні втрати в кроковому режимі набагато нижчі, ніж в режимі неперервного супроводження;

- режим стеження і перекидання здійснюються одним двигуном з номінальною частотою обертання, що спрощує кінематичне коло і електромеханічну частину привода.

У якості силового перетворювача напруги для живлення двигуна постійного струму в режимі неперервного стеження за Сонцем може бути використаний тиристорний перетворювач, перетворювач на транзисторах, який працює в підсилювальному режимі і широтно-імпульсний перетворювач на транзисторах.

Найбільш неефективним з точки зору економії електроенергії є перетворювач на транзисторах, який працює в підсилювальному режимі. При коефіцієнті запасу по швидкості, який дорівнює 10, ККД в режимі стеження не буде перевищувати 10%, що дуже неекономно. Однак, такий спосіб керування напругою в ЕП геліоустановок на практиці є досить поширеним, що пояснюється простотою реалізації і надійністю.

Для застосування тиристорного перетворювача має бути можливість подачі змінного струму на вхід перетворювача. У випадку, якщо геліоустановка працює як автономне джерело живлення, яке виробляє постійний струм з наступним його перетворенням у змінний, необхідно враховувати не тільки ККД



тиристорного перетворювача, а й ККД інвертора. Крім того, в геліоустановках потужність встановлених двигунів рідко перевищує 1 кВт, а часто буває навіть менше 100 Вт. Необхідність застосування згладжуючого реактора на виході тиристорного перетворювача вимагає зворотного зв'язку по струму і швидкості з метою покращення динаміки системи. Таким чином, не можна обмежитися одноконтурною системою автоматичного керування (САК).

Найбільший інтерес представляє широтно-імпульсний перетворювач. Сучасні напівпровідникові прилади здатні забезпечити частоту комутації до 20 кГц і вище. Цього достатньо, щоб при встановленому згладжуючому реакторі електромеханічна постійна часу була більшою в чотири рази. Однак, із зростанням частоти комутації втрати в транзисторних ключах і магнітопроводі двигуна також зростають. Основним недоліком широтно-імпульсного перетворювача є складність.

Використання одноконтурної структури САК достатньо для більшості типів геліоустановок. Для досягнення більш точних показників пропонується використовувати від'ємний зворотний зв'язок за швидкістю.

Вибір електродвигуна для механізму повороту СБ здійснюється на основі їх масо-габаритних показників.

Визначаємо момент інерції панелі СБ:

$$J_n = \frac{ml^2}{12}, \quad (2.1)$$

де  $m$  – маса панелі, кг,

$l$  – довжина панелі, м.

Обраний тип СБ *ES(M) 240* має наступні масо-габаритні характеристики:

– маса – 22 кг;

– розміри – 1580x1080x45 мм.

Тоді маса панелі дорівнює

$$m = N^{CB} m^{CB}, \quad (2.2)$$

де  $m^{CB}$  – маса однієї сонячної батареї. Тоді

$$m = 18 \cdot 22 = 396 \text{ кг.}$$

Момент інерції панелі:

$$J_n = \frac{396 \cdot 1,58^2}{12} = 82,38 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Визначимо необхідний момент для подолання сил інерції при умові, що механізм повороту вмикається 20 разів (кожні  $18^\circ$ ):

$$\dot{I} = \frac{J_i \omega_{\dot{\alpha}}}{t_i}, \quad (2.3)$$

де  $\omega_{вих}$  – максимальна необхідна швидкість виконавчого валу, рад/с,

$t_n$  – необхідна тривалість “переходу”, с.

Підставивши чисельні дані, одержимо:

$$M_{необ} = \frac{82,38 \cdot 0,105}{4} = 2,16 \text{ Нм.}$$

Обираємо двигун постійного струму, який виготовляється фірмою *Maxon*, типу *RE8* з наступними параметрами:

- номінальна потужність  $P_\partial = 50 \text{ Вт}$ ;
- номінальна швидкість обертання  $n_\partial = 5410 \text{ об/хв}$ ;
- номінальна напруга  $U_{я.ном} = 12 \text{ В}$ ;
- номінальний струм  $I_{я.ном} = 0,0865 \text{ А}$ ;
- момент інерції  $J_\partial = 3,55 \cdot 10^{-9} \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ ;
- індуктивність обмотки якоря двигун  $L_{я} = 0,606 \cdot 10^{-3} \text{ Гн}$ ;
- номінальний момент двигуна  $M_n = 0,589 \cdot 10^{-3} \text{ Нм}$ ;
- пусковий момент  $M_n = 0,925 \cdot 10^{-3} \text{ Нм}$ .

Перевіримо достатність пускових характеристик двигуна (при номінальному і пусковому режимах роботи) для подолання моменту інерції панелі СБ.

Передавальне число редуктора дорівнює:

$$K_p = \frac{\omega_d}{\omega_{вих}}. \quad (2.4)$$

Тоді

$$K_p = \frac{566,24}{0,105} \approx 5392.$$

Тоді момент, який передається за допомогою редуктора, дорівнює

$$M_{ном}^{\partial\delta} = K_p M_n. \quad (2.5)$$

Тоді одержимо

$$M_{ном}^{\partial\delta} = 5392 \cdot 0,589 \cdot 10^{-3} = 3,18 \text{ Нм.}$$

Для пускового режиму:

$$M_n^{\partial\delta} = K_p M_n. \quad (2.6)$$

Тоді

$$M_n^{\partial\delta} = 5392 \cdot 0,925 \cdot 10^{-3} = 4,99 \text{ Нм.}$$

Коефіцієнт запасу по моменту дорівнює:

$$\frac{M_{ном}^{\partial\delta}}{M_{необ}} = \frac{3,18}{2,16} = 1,47. \quad (2.7)$$

## 2.2 Розробка математичної моделі слідкуючого електроприводу

**Математична модель привідного двигуна.** Для досягнення більш високих показників якості перехідних процесів пропонується ввести зворотній зв'язок за швидкістю. Оперуючи коефіцієнтом зворотного зв'язку за швидкістю, коефіцієнтом передачі регулятора швидкості, постійними часу регулятора швидкості можна збільшити жорсткість механічної характеристики привода, зменшити сумарну електромеханічну постійну часу системи та скомпенсувати інерційність керованого перетворювача напруги.

Функціональна схема ЕП механізму повороту СБ наведена на рис. 2.1.

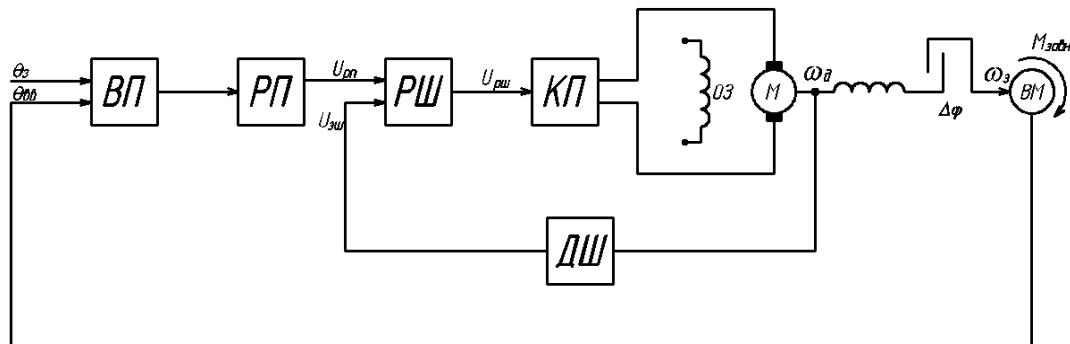


Рисунок 2.1 - Функціональна схема ЕП механізму повороту СБ

Надалі запис диференціальних рівнянь двигуна постійного струму з незалежним збудженням проводиться, виходячи з загальновідомих припущень [12].

Швидкість обертання вала двигуна постійного струму дорівнює

$$\omega_{\partial} = \frac{d\varphi_{\partial}}{dt}, \quad (2.8)$$

де  $\varphi_{\partial}$  – кут повороту вала двигуна

Рівняння руху електропривода запишемо як

$$J_{\partial} \frac{d\omega_{\partial}}{dt} = M_{\partial} - M_C, \quad (2.9)$$

де  $M_{\partial}$  – електромагнітний момент двигуна,

$M_C$  – момент навантаження.

Електромагнітний момент двигуна можна визначити із співвідношення:

$$M_{\partial} = C_M i_1, \quad (2.10)$$

де  $C_M$  – коефіцієнт двигуна,

$i_1$  – струм в ланцюзі якоря двигуна.

Рівняння для струму в колі якоря двигуна запишемо як

$$L_1 \frac{di_1}{dt} = u - \omega_{\partial} C_e - r_1 i_1, \quad (2.11)$$

де  $L_1$  – індуктивність обмотки якоря двигуна,

$u$  – напруга живлення двигуна,

$r_1$  – активний електричний опір обмотки якоря двигуна,

$C_e$  – стала двигуна.

## 2.3 Визначення передавальних функцій

**Тиристорний перетворювач.** Тиристорний перетворювач призначений для живлення якірного кола двигуна постійного струму і має забезпечувати регулювання напруги живлення від 0 до номінальної випрямленої напруги холостого ходу.

До складу тиристорного перетворювача входять: керований випрямляч, система імпульсно-фазового керування, зрівнюючий і згладжуючий реактори. Тиристорний перетворювач підключають до понижаючого силового трансформатора.

Як елемент САК він може бути представлений інерційною ланкою першого порядку, у якій вхідним сигналом є напруга керування  $U_K$ , а вихідним – ЕРС перетворювача. Вибір тиристорного перетворювача проводиться з наступних міркувань:

- номінальна потужність перетворювача має бути більшою за номінальну потужність двигуна;
- номінальна напруга перетворювача має бути більшою за номінальну напругу двигуна;
- номінальний струм тиристорного перетворювача має бути більшим за номінальний струм двигуна;
- максимальний струм тиристорного перетворювача має бути більшим за максимальний струм двигуна.

Тоді, відповідно до даних вимог, для нашого двигуна підходить тиристорний перетворювач серії 12010/130 з наступними параметрами:

- номінальний струм якоря – 12 А;
- максимальний струм якоря – 60 А;
- напруга силового живлення – 120 В;
- частота напруги живлення 45-65 Гц;
- максимальна напруга якоря – 130 В.

Передавальна функція тиристорного перетворювача має вигляд:

$$W_{ТП}(p) = \frac{K_{ТП}}{T_{ТП}p+1}, \quad (2.12)$$

де  $K_{ТП}$  – коефіцієнт передачі тиристорного перетворювача,

$T_{ТП}$  – постійна часу тиристорного перетворювача.

Коефіцієнт передачі тиристорного перетворювача визначаємо за формулою:

$$K_{ТП} = \frac{U_{ТП}}{U_K}. \quad (2.13)$$

Приймаємо  $U_K = 10 \text{ В}$ . Тоді

$$K_{ТП} = \frac{120}{10} = 12.$$

Стала часу тиристорного перетворювача залежить від наявності індуктивних елементів (реакторів, обмотки трансформатора), а також від індуктивних властивостей силових вентилів. Приймається рівною  $T_{ТП} = 0,01 \text{ с}$ .

**Передавальна функція редуктора.** Будемо вважати, що інерційність редуктора враховується в рівняннях двигуна. Тоді його можна представити безінерційною ланкою з передавальною функцією виду

$$W_P(p) = \frac{1}{K_P}. \quad (2.14)$$

**Передавальні функції регуляторів положення і швидкості.** Як було зазначено вище, в САК електроприводом повороту сонячних батарей з метою підвищення якісних характеристик пропонується використовувати два регулятори – положення і швидкості.

У якості регулятора положення виступає ПІ-регулятор з передавальною функцією виду

$$W_{РП}(p) = K_{ПРП}. \quad (2.15)$$

Передавальна функція ПІ-регулятора швидкості запишеться як сума П і І-складової. Але при моделюванні САК потрібно використовувати передавальну

функцію не ідеальної, а реальної інтегруючої ланки. Ідеальна інтегруюча ланка може приводити до нескінченного накопичення вхідного сигналу регулятора, що на практиці є неможливим. Тоді передавальна функція ПІ-регулятора швидкості запишеться у вигляді

$$W_{PI}(p) = K_{PI} + \frac{K_{IPI}}{p(T_{IPI}p+1)}. \quad (2.16)$$

Задача синтезу САК зводиться до знаходження коефіцієнтів регулятора положення і регулятора швидкості  $K_{PI}$ ,  $K_{IPI}$ ,  $K_{IPI}$ . Чим меншою є стала інтегрування  $T_{IPI}$ , тим ближчою по своїй дії є реальна інтегруюча ланка до ідеальної. На основі рівнянь (2.30-2.38) складаємо структурну схему САК (рис. 2.2).

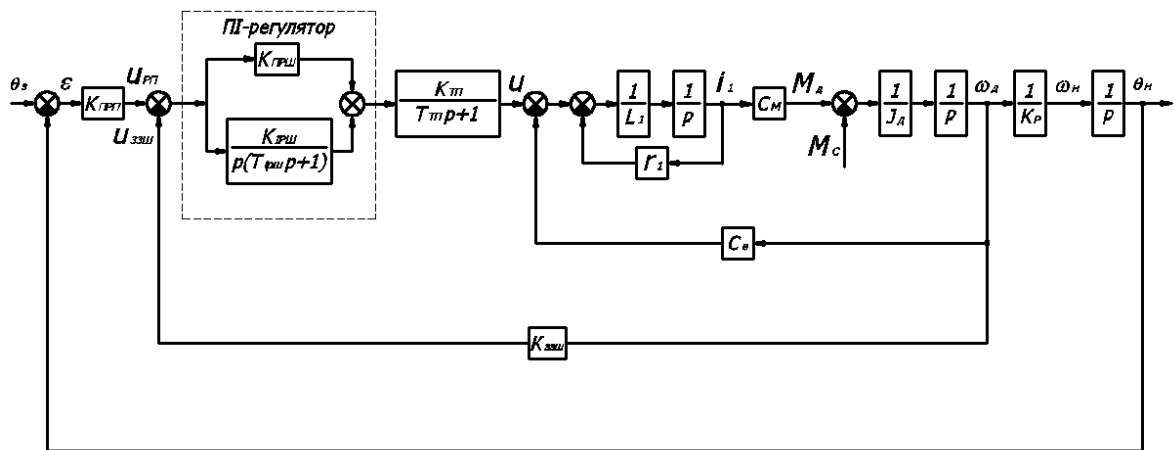


Рисунок 2.2 - Структурна схема САК механізмом повороту геліоустановки

Розрахуємо невідомі параметри структурної схеми. Електричну постійну двигуна постійного струму розрахуємо за формулою:

$$C_a = \frac{U_{y.m}}{\omega_a}. \quad (2.17)$$

Підставивши чисельні дані, одержимо

$$C_e = \frac{12}{566,24} = 0,021 \frac{B \cdot c}{рад}$$

Механічну постійну двигуна постійного струму розрахуємо за формулою:

$$C_M = \frac{M_H}{I_{я.ном}}. \quad (2.18)$$

Підставивши чисельні дані, одержимо

$$C_M = \frac{0,589 \cdot 10^{-3}}{0,0865} = 0,0068 \frac{H \cdot M}{A}.$$

Коефіцієнт зворотного зв'язку за швидкістю визначаємо за формулою:

$$K_{33III} = \frac{U_{я.ном}}{\omega_{\delta}}. \quad (2.19)$$

Тоді

$$K_{33III} = \frac{12}{566,24} = 0,021 \frac{B \cdot c}{рад}.$$

## 2.4 Дослідження динамічного режиму роботи САК

На основі даної структурної схеми в середовищі *Simulink MATLAB* була зібрана моделююча схема, яка наведена на рис. 2.3.

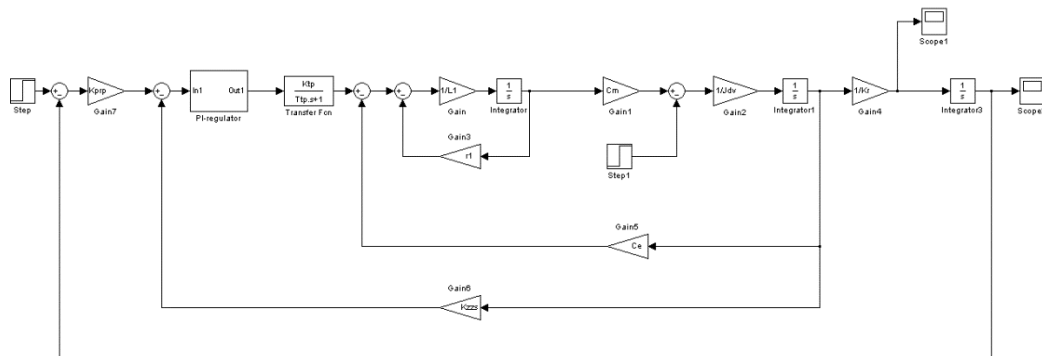


Рисунок 2.3 - Модель САК механізмом повороту геліоустановки в середовищі *Simulink MATLAB*

Для автоматичного підбору коефіцієнтів регуляторів скористаємося спеціальними можливостями, які надає блок *Check Step Response Characteristics* бібліотеки *Simulink*. Даний блок підключається до того виходу системи, перехідний процес якого має задовольняти певним встановленим показникам. У нашому випадку - це перехідний процес кута повороту валу навантаження.

Даний блок дозволяє задати такі бажані параметри перехідного процесу:

- *step time* – час подачі сигналу;
- *initial value* – початковий рівень сигналу;



- *rise time* – час наростання;
- *setting time* – час перехідного процесу;
- *% overshoot* – перерегулювання у відсотках;
- *final value* – кінцеве значення сигналу;
- *% rise* – величина наростання у відсотках;
- *% settings* – величина коридору після закінчення часу перехідного процесу у відсотках (характеризує, по суті, допустиму статичну похибку системи);
- *% undershoot* – недорегулювання у відсотках.

Моделювання проводилося при подачі на вхід ступінчатого впливу  $\theta_s(t) = 1$ . До перехідного процесу САК пред'являлися вимоги щодо відсутності перерегулювання і статичної похибки та час перехідного процесу не більше 2 с. У результаті при значенні сталої інтегрування  $T_{ІРШ} = 0,05$  с були одержані наступні оптимальні значення коефіцієнтів регулятора положення і регулятора швидкості:  $K_{ПРП} = 263,7$ ,  $K_{ІРШ} = 1,06$ ,  $K_{ПРШ} = 74,9$ .

Перехідний процес по положенню САК механізмом повороту геліоустановки наведено на рис. 2.4.

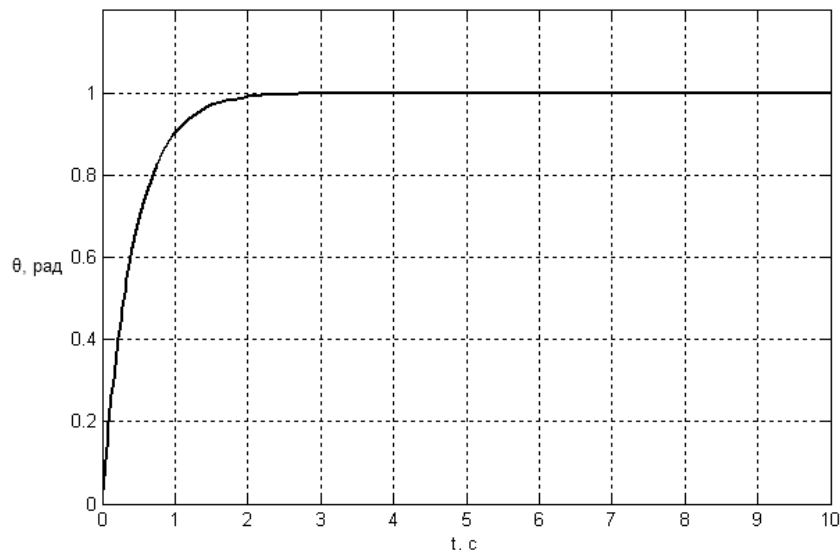


Рисунок 2.4 - Перехідний процес по положенню САК механізмом повороту геліоустановки

Як видно з графіка, перерегулювання відсутнє, а час регулювання складає 2 с, що задовольняє вимогам.

## 2.5 Аналіз стійкості САК

Щоб провести аналіз стійкості даної системи автоматичного керування необхідно скористатися двома критеріями визначення стійкості:

- 1) критерій Гурвіца;
- 2) критерій Найквіста.

**Критерій Гурвіца.** Передавальна функція замкненої системи має вигляд:

$$W_3(s) = \frac{1,14s^2 + 22,81s + 1612}{8,82 \cdot 10^{-7}s^5 + 4,9 \cdot 10^{-4}s^4 + 0,53s^3 + 11,7s^2 + 714,9s + 1612}. \quad (2.20)$$

Згідно з [13] система стійка, якщо діагональний визначник Гурвіца та його мінори більші 0. Визначник Гурвіца складають із коефіцієнтів характеристичного рівняння замкненої системи:

$$\begin{vmatrix} a_1 & a_3 & a_5 & 0 & 0 \\ a_0 & a_2 & a_4 & 0 & 0 \\ 0 & a_1 & a_3 & a_5 & 0 \\ 0 & a_0 & a_2 & a_4 & 0 \\ 0 & 0 & a_1 & a_3 & a_5 \end{vmatrix} > 0. \quad (2.21)$$

Поліном знаменника має вигляд:

$$8,82 \cdot 10^{-7}s^5 + 4,9 \cdot 10^{-4}s^4 + 0,53s^3 + 11,7s^2 + 714,9s + 1612 = 0. \quad (2.22)$$

Тут  $a_0 = 8,82 \cdot 10^{-7}$ ,  $a_1 = 4,9 \cdot 10^{-4}$ ,  $a_2 = 0,53$ ,  $a_3 = 11,17$ ,  $a_4 = 714,19$ ,  $a_5 = 1612$ .

Відповідні мінори і визначник Гурвіца дорівнюють:

$$|a_1| = 4,9 \cdot 10^{-4} > 0; \quad (2.23)$$

$$\begin{vmatrix} a_1 & a_3 \\ a_0 & a_2 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 4,9 \cdot 10^{-4} & 11,17 \\ 8,82 \cdot 10^{-7} & 0,53 \end{vmatrix} = 2,49 \cdot 10^{-4} > 0; \quad (2.24)$$

$$\begin{vmatrix} a_1 & a_3 & a_5 \\ a_0 & a_2 & a_4 \\ 0 & a_1 & a_3 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 4,9 \cdot 10^{-4} & 11,17 & 1612 \\ 8,82 \cdot 10^{-7} & 0,53 & 714,19 \\ 0 & 4,9 \cdot 10^{-4} & 11,17 \end{vmatrix} = 2,74 \cdot 10^{-3} > 0; \quad (2.25)$$

$$\begin{vmatrix} a_1 & a_3 & a_5 & 0 \\ a_0 & a_2 & a_4 & 0 \\ 0 & a_1 & a_3 & a_5 \\ 0 & a_0 & a_2 & a_4 \end{vmatrix} =$$

(2.26)

$$\begin{vmatrix} 4,9 \cdot 10^{-4} & 11,17 & 1612 & 0 \\ 8,82 \cdot 10^{-7} & 0,53 & 714,19 & 0 \\ 0 & 4,9 \cdot 10^{-4} & 11,17 & 1612 \\ 0 & 8,82 \cdot 10^{-7} & 0,53 & 714,19 \end{vmatrix} = 1,75 > 0;$$

$$\begin{vmatrix} a_1 & a_3 & a_5 & 0 & 0 \\ a_0 & a_2 & a_4 & 0 & 0 \\ 0 & a_1 & a_3 & a_5 & 0 \\ 0 & & & & \\ & a_0 & a_2 & a_4 & 0 \\ 0 & 0 & a_1 & a_3 & a_5 \end{vmatrix}$$

(2.27)

$$= \begin{vmatrix} 4,9 \cdot 10^{-4} & 11,17 & 1612 & 0 & 0 \\ 8,82 \cdot 10^{-7} & 0,53 & 714,19 & 0 & 0 \\ 0 & 4,9 \cdot 10^{-4} & 11,17 & 1612 & 0 \\ 0 & 8,82 \cdot 10^{-7} & 0,53 & 714,19 & 0 \\ 0 & 0 & 4,9 \cdot 10^{-4} & 11,17 & 1612 \end{vmatrix} = 2820 > 0.$$

Оскільки всі мінори і визначник Гурвіца є більшими від нуля, то САК є стійкою.

**Критерій Найквіста.** Для дослідження САК за критерієм Найквіста по передавальній функції замкненої системи будується спеціальний годограф. Задавши передавальну функцію замкненої САК у робочому вікні *MATLAB* і скориставшись функцією *nyquist* ( $W_s$ ), одержимо годограф (рис. 2.5).

Оскільки побудований годограф не охоплює точку  $(-1 ; j0)$ , то САК стійка за критерієм Найквіста.

Побудуємо ЛАЧХ та ЛФЧХ і графічно визначимо запас стійкості за фазою  $\Delta\varphi$  та по амплітуді  $\Delta L$ .

Як бачимо з графіків, які зображені на рис. 2.6, запас за амплітудою складає  $\Delta L = 47,9$  Дб, а за фазою  $\Delta\varphi = 180^\circ$ .

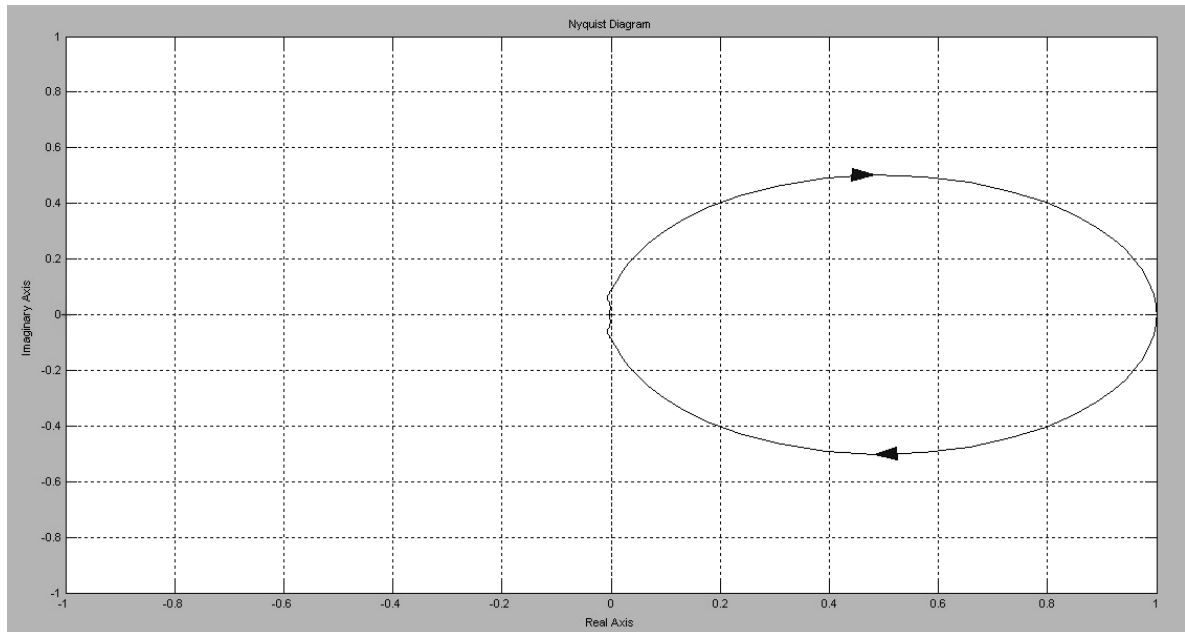


Рисунок 2.5 - Годограф Найквіста

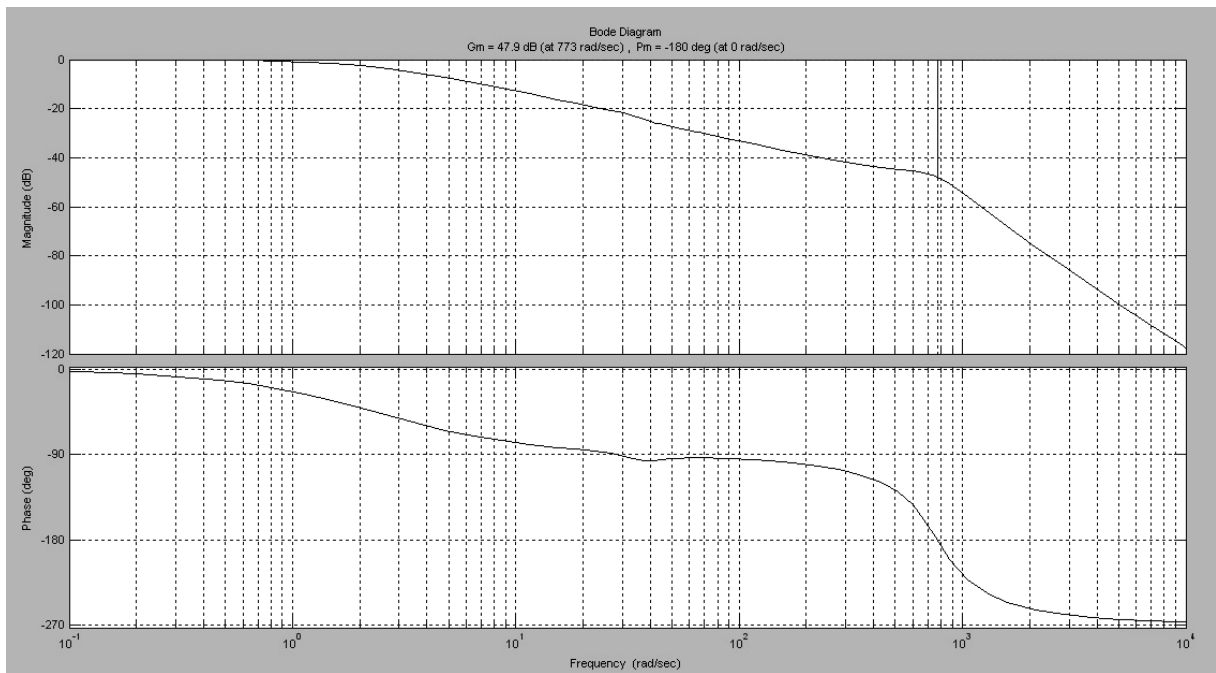


Рисунок 2.6 - ЛАЧХ і ЛФЧХ САК

## 3 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

### 3.1 Порівняльний аналіз джерел світла

Як відзначалося у попередньому розділі, для вибору конфігурації системи електропостачання автономного споживача (житлового будинку) і подальшого її проектування необхідно мати дані щодо споживаної потужності, а також дані вітрового і сонячного потенціалу конкретної місцевості. Споживану потужність неважко підрахувати, якщо точно відоме електрообладнання, яке використовується в будинку. Оскільки за останні роки з'явилися значні можливості для економії електроенергії внаслідок використання енергоощадних джерел світла, то спочатку проаналізуємо їх переваги і недоліки, а вже потім проведемо розрахунок споживаної потужності з урахуванням обраного типу обладнання.

**Лампи розжарювання.** Незважаючи на досить низьку енергетичну ефективність, лампи розжарювання (ЛР) залишаються наймасовішими в усіх країнах. Це обумовлено простотою їх конструкції і схеми ввімкнення, універсальністю, невисокою вартістю та традицією. У загальному обсязі виробництва ламп загального призначення частка ЛР в Україні становить більше 90% .

ЛР – джерело світла, у якого світло випромінює тугоплавкий провідник, розжарений електричним струмом. Лампа являє собою колбу, в якій розташована спіраль. У лампах малої потужності з колби відкачують повітря (вакуумна лампа), інші лампи розжарювання для підвищення температури тіла розжарювання, тобто для підвищення світловіддачі, заповнюють інертним газом – сумішшю азоту і аргону або криптону (газоповна лампа), іноді в інертний газ додають галогени (галогенна лампа). Додавання галогенів (найчастіше йоду або бром) забезпечує уповільнене випаровування тіла розжарювання. Галогенні лампи мають більшу світловіддачу і триваліший термін служби.

Тіло розжарювання будь-якої лампи виготовляють, здебільшого, з вольфрамового дроту, який звитий у спіраль, біспіраль або триспіраль, що дозволяє скоротити втрати тепла. Основним недоліком таких ламп є низький ККД, який складає менше 5%. Термін служби ЛР близько 1000 годин, якщо вони горять

безперервно. Але якщо їх часто вмикають і вимикають, то лампи перегорять значно швидше, як правило, у момент вмикання в холодному стані.

**Люмінесцентні лампи.** Люмінесцентні лампи (ЛЛ) є і залишаються у найближчі десятиліття найбільш масовими розрядними джерелами світла, які широко використовуються для внутрішнього освітлення адміністративних, комерційних будівель, виробничих приміщень та ін. Термографічне порівняння роботи джерел світла свідчить, що ЛР 95% електроенергії перетворює в тепло і тільки 5% – у світло. На противагу цьому сучасна ЛЛ забезпечує аналогічну яскравість світла при зниженні споживання енергії на 80%.

ЛЛ являє собою циліндричну скляну трубку, внутрішня поверхня якої вкрита тонким шаром люмінофора. У трубку впаяні ніжки з електродами. Після ретельної відкачки повітря лампу наповнюють невеликою кількістю ртуті і інертним газом під тиском у декілька сот Паскалей. Звичайно у якості інертного газу використовують аргон під тиском у 300 Па. Також використовують суміші інертних газів. Основне призначення інертного газу полягає в зменшенні розпилення електронів при роботі лампи і полегшенні підпалювання розряду.

Після загоряння у лампі виникає розряд низького тиску в парах ртуті і в газі, що наповнює лампу. УФ-випромінювання розряду поглинається шаром люмінофору і перетворюється ним в видиме або УФ-випромінювання, яке виходить з лампи. Використання різних люмінофорів або їх сумішей дає можливість отримувати випромінювання практично будь-якого кольору.

**Компактні люмінесцентні лампи (енергозберігаючі).** Принцип роботи в них такий же, як і в ЛЛ. Зовнішній вигляд і форма трубок у такої лампи не обов'язково спіральна або дугоподібна. Компактні ЛЛ можуть бути представлені в традиційних формах груші, свічі, кулі або циліндра. Єдине, що видає їх – це збільшений у розмірах цоколь. Цоколь збільшений не просто так, у нього вставлений стартер, такий же, який використовується в лампах денного світла, тільки зменшений у розмірах. Компактні ЛЛ класичної форми можна використовувати всюди, де використовують ЛР. Вони забезпечують особливо

м'яке несліпуче світло. Не можна використовувати енергозберігаючі лампи із пристроями плавного старту або захисних блоків від стрибків напруги, які використовують зі звичайними ЛР. Однією з технічних характеристик є коефіцієнт передачі кольору  $R$ . Цей показник є досить важливим, чим він вище – тим краще. Мінімальне необхідне значення  $R = 82$ . Якщо коефіцієнт нижче, ніж 82, то створюється ефект затуманення, тіні від такого світла виходять не чіткі, відтінки предметів білих кольорів – різкі із зеленуватими або синіми відблисками.

**Світлодіодні освітлювальні прилади.** Світлодіодні лампи (СЛ) являють собою сучасне покоління світлової техніки, яка володіє гарними властивостями та експлуатаційними характеристиками. СЛ споживає набагато менше електроенергії, ніж звичайна ЛР, але при цьому здатна світити протягом більш, ніж 50 тисяч годин.

Основою СЛ виступає світлодіод – напівпровідниковий прилад, який перетворює електричну енергію у світловий потік різного спектра й інтенсивності. Спочатку світлодіоди випромінювали тільки червоне світло і використовувалися лише як індикатори в електронній апаратурі. Пізніше з'явилися жовті, зелені та сині світлодіоди, які вже декілька років як почали використовувати у світлофорах. У 1997 році був виготовлений перший світлодіод, що дає біле світло. Вдосконалений світлодіод може видавати до 300 люменів світла на ватт споживаної потужності, ЛЛ – 50-90 люменів, а ЛР – усього 10-20.

Складається СЛ з алюмінієвого корпусу або колби, яка зроблена з міцного матового або прозорого пластика, що робить її більш стійкою до будь-яких зовнішніх пошкоджень. Виконане з використанням СЛ підсвічування відрізняється підвищеною яскравістю, тривалим терміном служби і красою, тому часто лампи даного типу використовують для створення декоративних ефектів.

Випромінюване світло традиційних світлодіодів лежить у вузькій ділянці спектру, а його колір залежить від хімічного складу використаного у світлодіоді напівпровідника. Сучасні світлодіоди можуть випромінювати на довжині хвилі від інфрачервоної до близького ультрафіолету.

На сьогоднішній день можна виділити два типи СЛ – це лампи для звичайних патронів стандарту *E14* і *E27*, а також вбудовані лампи стандарту *MR16* і *MR11*, які можуть встановлюватися в різні моделі світильників. Досить часто СЛ використовують для створення підсвічування вітрин, торгового устаткування, інтер'єрів офісів і житлових приміщень.

СЛ мають дуже високий ККД і низьку робочу температуру, яка не перевищує  $+90^{\circ}\text{C}$ . Даний тип ламп володіє необмеженим запасом циклів *вмикання/вимикання*. СЛ характеризуються однорідністю світла і прекрасною передачею кольору. Електрична енергія перетворюється у випромінювання найбільш безпосереднім чином з усіх існуючих, що дозволяє домогтися найбільшої світло-віддачі на сьогоднішній момент. ККД світлодіодів – до 100%, ЛЛ – до 25%, ЛР – до 5% (95% йде на нагрів вольфрамової спіралі).

Переваги та недоліки СЛ пояснюються їх конструкцією. Для багатьох споживачів важливою є така перевага, як енергозбереження. СЛ у 5 разів економніше, ніж компактні енергозберігаючі лампи. Забезпечуючи світлову віддачу в 60 Вт, СЛ споживає всього 2,5 Вт. Також важливо, що деякі з типів СЛ здатні прослужити до 100 тисяч годин, що робить заміну лампочок дуже рідкісною і дозволяє заощадити чималі кошти на обслуговуванні освітлення.

СЛ виявляють підвищені характеристики міцності і стійкості до будь-яких механічних впливів і вібрації, так як корпус такої лампочки виготовляється з міцного небиткого пластика і алюмінію. СЛ характеризуються прекрасними показниками екологічної безпеки з огляду на те, що вони не містять ртуті та інших, шкідливих для людського організму і навколишнього середовища, речовин.

Світлодіод є низьковольтним приладом, який практично не нагрівається. Тому використання таких ламп найбільш оптимально і безпечно в дитячій кімнаті, навчальних закладах та інших приміщеннях, де електро- та пожежобезпечність відіграють велику роль. Важливою перевагою є й те, що при використанні СЛ відсутні шум, пульсація, пускові стрибки струму тощо.



Термін їх служби значно перевищує існуючі аналоги (термін безперервної роботи світильника не менше 70000 реальних годин, що еквівалентно 20 рокам експлуатації при 10 годинній роботі в день). Із плином часу такі їх основні характеристики, як світловий потік і сила світла, практично не зазнають змін.

Застосування світлодіодних світильників, оптимізованих для отримання нормативної освітленості згідно *БНіП 23-05-95*, реально дозволяє отримати дворазову економію електроенергії.

Сучасні виробники пропонують досить широкий вибір СЛ, які можуть давати тепло-біле, денне біле світло і інші варіанти, що дозволяє використовувати такі лампи для створення різних дизайнерських рішень.

Отже, СЛ мають ряд переваг:

- тривалий термін експлуатації (до 100000 годин);
- високий ККД (до 80%), високу ефективність і економічність;
- мінімальну споживану потужність;
- широкий діапазон напруг живлення, нечутливість до перепадів напруги;
- виконання в стандартних типових рядах цоколів (*E-14, E-27, E-40* та ін.);
- високу насиченість і чистоту кольору без застосування світлофільтрів, високий індекс передачі кольору;
- миттєве включення, не вимагає часу “на розігрів”;
- можливість регулювання яскравості через регулятор;
- твердий корпус, високу стійкість до ударів і вібрацій;
- не містить шкідливих речовин і домішок, не шкодить навколишньому середовищу, відсутність проблем з утилізацією;
- відсутні побічні ультрафіолетові й інфрачервоні випромінювання, мерехтіння.

Аналізуючи все вище описане, було вирішено використовувати для освітлення будинку та прилеглої території світлодіодні лампи.

### 3.2 Розрахунок електроспоживання житлового будинку

На рис. 3.1 приведено схему розміщення електричної мережі будинку.

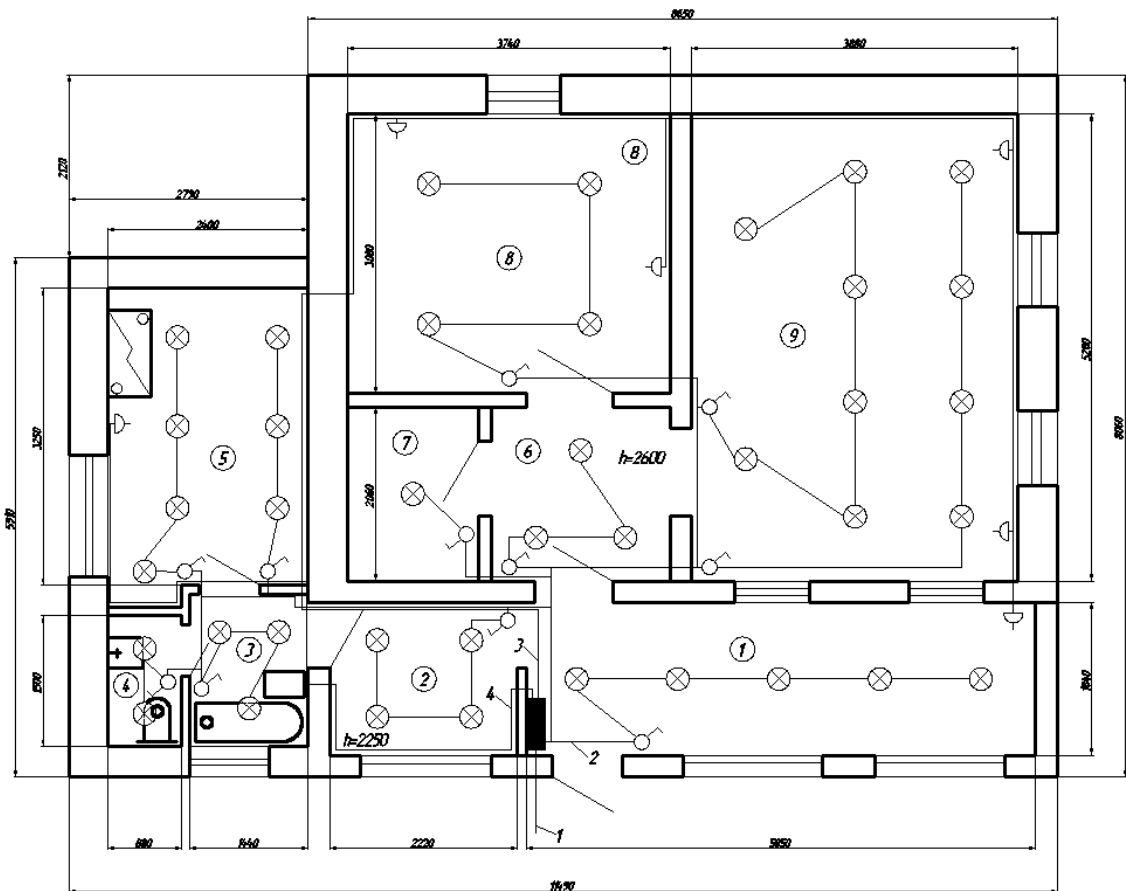


Рисунок 3.1 – Схема розміщення електричної мережі будинку:

1 – коридор; 2 – роздягальня; 3 – ванна кімната; 4 – туалет; 5 – кухня; 6 – хол;  
7 – господарське приміщення; 8 – спальна кімната; 9 вітальня.

Умовні позначення проводів: 1 – ввід в будинок; 2 – кабель АППВ (1 мм<sup>2</sup> – групове освітлення); 3 – кабель АППВ (10 мм<sup>2</sup> – електричні розетки);  
4 – кабель АВРГ (2 мм<sup>2</sup> – електроплита і пральна машина);

**Розрахунок освітлення коридору.** Вихідними даними для розрахунку освітлення коридору є: довжина коридору  $a_k$ , ширина  $b_k$ , висота  $h_k$ , коефіцієнти відбиття стін  $\rho_{cm}=50\%$ , підлоги  $\rho_n=10\%$ , стелі  $\rho_c=70\%$ , а також освітленість поверхні  $E_{nk}$ . Необхідні геометричні розміри як у цьому випадку, так і для інших приміщень беремо із загального плану будинку, креслення якого наведено в графічній частині роботи. При розрахунку застосовано метод коефіцієнта використання світлового потоку. Методика розрахунку викладена в [14].

Визначаємо площу коридору:

$$S_k = a_k b_k. \quad (3.1)$$

Підставивши чисельні дані, одержимо:

$$S_k = 1,84 \cdot 5,85 = 10,76 \text{ м}^2.$$

Розраховуємо індекс приміщення:

$$F_k = \frac{S_k}{h_{lk}(a_k + b_k)}, \quad (3.2)$$

де  $h_{lk}$  – відстань між світильниками і поверхнею, яку необхідно освітлювати, м (оскільки світильники розміщуються на стелі без підвісу, то відстань між світильниками і поверхнею прирівнюємо до висоти стелі  $h_{lk} = h_c$ ). У нашому випадку висота стелі  $h_{lk} = 2,5 \text{ м}$ .

Тоді індекс приміщення дорівнює

$$F_k = \frac{10,76}{2,6 \cdot (1,84 + 5,85)} = 0,538.$$

Знаючи індекс приміщення, визначаємо із [14] (табл. 13.8) та за допомогою подальшої інтерполяції коефіцієнт використання світильника  $\eta_k = 0,258$ .

Світловий потік всіх ламп дорівнює

$$\Phi_{лк} = \frac{E_{нк} S_k k z}{\eta_k}, \quad (3.3)$$

де  $E_{нк}$  – необхідна освітленість поверхні, лк (згідно міжнародного стандарту з освітлення *ISO 8995*, приймаємо для коридору  $E_{нк} = 100 \text{ лк}$ ),

$k$  – коефіцієнт запасу (для світлодіодних приймаємо світильників  $k = 1,2$ ),

$z$  – коефіцієнт мінімальної освітленості (для світлодіодних світильників приймаємо  $z = 1$ ).

Тоді маємо

$$\Phi_{лк} = \frac{100 \cdot 10,76 \cdot 1,2 \cdot 1}{0,258} = 5004,65 \text{ лм}.$$

Визначивши потрібний світловий потік всіх ламп, обираємо лампу *Bulb 9W 5500K E27 (LMS-7-9)* з такими параметрами:

- термін служби – 100000 год;
- кут освітлення – 120 °;
- потужність – 9 Вт;
- тип цоколя – E27;
- температура світла – 5500 К;
- світловий потік – 900 лм;
- кількість світлодіодів – 9 шт.;
- розміри – 64,6 на 102 мм.

Визначаємо необхідну кількість ламп:

$$N_k = \frac{\Phi_{лк}}{\Phi}, \quad (3.4)$$

де  $\Phi$  – світловий потік однієї лампи, лм.

Підставивши чисельні дані, одержимо:

$$N_k = \frac{5004,65}{900} \approx 5,56.$$

Відхилення фактичного світлового потоку всіх ламп має задовольняти умові  $10\% \leq \Phi_{лк} \leq 20\%$  [14]. Даній умові задовольняє кількість ламп  $N_k = 5$ .

**Розрахунок освітлення роздягальні.** Визначаємо площу роздягальні:

$$S_2 = 1,84 \cdot 2,22 = 4,08 \text{ м}^2.$$

Розраховуємо індекс приміщення:

$$F_a = \frac{4,08}{2,25 \cdot (1,84 + 2,22)} = 0,447.$$

Знаючи індекс приміщення, визначаємо із [14] (табл. 13.8) коефіцієнт використання світильника  $\eta_c = 0,22$ .

Світловий потік всіх ламп дорівнює

$$\Phi_{л_2} = \frac{200 \cdot 4,08 \cdot 1,2 \cdot 1}{0,22} = 4450,9 \text{ лм.}$$

Визначивши потрібний світловий потік всіх ламп, обираємо лампу *Bulb 9W 5500K E27 (LMS-7-9)*.

Визначаємо необхідну кількість ламп:

$$N_2 = \frac{4450,9}{900} \approx 4,94.$$

Відхилення фактичного світлового потоку всіх ламп має задовольняти умові  $10\% \leq \Phi_{л_2} \leq 20\%$  [14]. Даній умові задовольняє кількість ламп  $N_2 = 4$ .

**Розрахунок освітлення ванної кімнати.** Визначаємо площу ванної кімнати:

$$S_v = 1,86 \cdot 1,44 = 2,68 \text{ м}^2.$$

Розраховуємо індекс приміщення:

$$F_v = \frac{2,68}{2,25 \cdot (1,86 + 1,44)} = 0,361.$$

Знаючи індекс приміщення, визначаємо із [14] (табл. 13.8) коефіцієнт використання світильника  $\eta_v = 0,22$ .

Світловий потік всіх ламп дорівнює

$$\Phi_{л_v} = \frac{200 \cdot 2,68 \cdot 1,2 \cdot 1}{0,22} = 2923,63 \text{ лм.}$$

Визначивши потрібний світловий потік всіх ламп, обираємо лампу *Bulb 9W 5500K E27 (LMS-7-9)*.

Визначаємо необхідну кількість ламп:

$$N_v = \frac{2923,63}{900} \approx 3,24.$$

Відхилення фактичного світлового потоку всіх ламп має задовольняти умові  $10\% \leq \Phi_{л_v} \leq 20\%$  [14]. Даній умові задовольняє кількість ламп  $N_v = 3$ .

**Розрахунок освітлення туалету.** Визначаємо площу туалету:

$$S_m = 1,5 \cdot 0,88 = 1,32 \text{ м}^2.$$

Розраховуємо індекс приміщення:

$$F_m = \frac{1,32}{2,25 \cdot (1,5 + 0,88)} = 0,246.$$

Знаючи індекс приміщення, визначаємо із [14] (табл. 13.8) коефіцієнт використання світильника  $\eta_m = 0,22$ .

Світловий потік всіх ламп дорівнює

$$\Phi_{лm} = \frac{200 \cdot 1,32 \cdot 1,2 \cdot 1}{0,22} = 1440 \text{ лм.}$$

Визначивши потрібний світловий потік всіх ламп, обираємо лампу *Bulb 6W 5500K E27 (LMS-8-6)* з такими параметрами:

- термін служби – 100000 год;
- кут освітлення – 120 °;
- потужність – 6 Вт;
- тип цоколя – E27;
- температура світла – 5500 К;
- світловий потік – 600 лм;
- кількість світлодіодів – 6 шт.;
- розміри – 60 на 105,5 мм.

Визначаємо необхідну кількість ламп:

$$N_m = \frac{1440}{600} \approx 2,33.$$

Відхилення фактичного світлового потоку всіх ламп має задовольняти умові  $10\% \leq \Phi_{лm} \leq 20\%$  [14]. Даній умові задовольняє кількість ламп  $N_m = 2$ .

**Розрахунок освітлення кухні.** Оскільки кухня складається з двох прямокутних фігур, то її загальну площу визначаємо як їх суму:

$$S_k = 3,25 \cdot 2,40 + 0,3 = 8,1 \text{ м}^2.$$

Розраховуємо індекс приміщення:

$$F_k = \frac{8,1}{2,6 \cdot (3,25 + 2,4)} = 0,551.$$

Знаючи індекс приміщення, визначаємо із [14] (табл. 13.8) та за допомогою подальшої інтерполяції коефіцієнт використання світильника  $\eta_k = 0,271$ .

Світловий потік всіх ламп дорівнює:

$$\Phi_{лк} = \frac{200 \cdot 8,1 \cdot 1,2 \cdot 1}{0,271} = 7173,43 \text{ лм.}$$

Визначивши потрібний світловий потік всіх ламп, обираємо лампу *Bulb 9W 5500K E27 (LMS-7-9)*.

Визначаємо необхідну кількість ламп:

$$N_k = \frac{7173,43}{900} \approx 7,97.$$

Відхилення фактичного світлового потоку всіх ламп має задовольняти умові  $10\% \leq \Phi_{лк} \leq 20\%$  [14]. Даній умові задовольняє кількість ламп  $N_k = 7$ .

**Розрахунок освітлення холу.** Визначаємо площу холу:

$$S_x = 2,06 \cdot 2,03 = 4,18 \text{ м}^2.$$

Розраховуємо індекс приміщення:

$$F_x = \frac{4,18}{2,6 \cdot (2,06 + 2,03)} = 0,393.$$

Знаючи індекс приміщення, визначаємо із [14] (табл. 13.8) коефіцієнт використання світильника  $\eta_x = 0,22$ .

Світловий потік всіх ламп дорівнює

$$\Phi_{лх} = \frac{100 \cdot 4,18 \cdot 1,2 \cdot 1}{0,22} = 2280 \text{ лм.}$$

Визначивши потрібний світловий потік всіх ламп, обираємо лампу *Bulb 9W 5500K E27 (LMS-7-9)*.

Визначаємо необхідну кількість ламп:

$$N_x = \frac{2280}{900} \approx 2,53.$$

Відхилення фактичного світлового потоку всіх ламп має задовольняти умові  $10\% \leq \Phi_{лх} \leq 20\%$  [14]. Даній умові задовольняє кількість ламп  $N_x = 3$ .

**Розрахунок освітлення господарського приміщення.** Визначаємо площу господарського приміщення:

$$S_g = 2,06 \cdot 1,6 = 3,3 \text{ м}^2.$$

Розраховуємо індекс приміщення:

$$F_g = \frac{3,3}{2,6 \cdot (2,06 + 1,6)} = 0,346.$$

Знаючи індекс приміщення, визначаємо із [14] (табл. 13.8) коефіцієнт використання світильника  $\eta_g = 0,22$ .

Світловий потік всіх ламп дорівнює

$$\Phi_{lg} = \frac{50 \cdot 3,3 \cdot 1,2 \cdot 1}{0,22} = 900 \text{ лм.}$$

Визначивши потрібний світловий потік всіх ламп, обираємо лампу *Bulb 9W 5500K E27 (LMS-7-9)*.

Визначаємо необхідну кількість ламп:

$$N_g = \frac{900}{900} = 1.$$

**Розрахунок освітлення спальної кімнати.** Визначаємо площу спальної кімнати:

$$S_c = 3,08 \cdot 3,74 = 11,51 \text{ м}^2.$$

Розраховуємо індекс приміщення:

$$F_c = \frac{11,51}{2,6 \cdot (3,08 + 3,74)} = 0,649.$$

Знаючи індекс приміщення, визначаємо із [14] (табл. 13.8) та за допомогою подальшої інтерполяції коефіцієнт використання світильника  $\eta_c = 0,354$ .

Світловий потік всіх ламп дорівнює

$$\Phi_{lc} = \frac{100 \cdot 11,51 \cdot 1,2 \cdot 1}{0,354} = 3901,69 \text{ лм.}$$



Визначивши потрібний світловий потік всіх ламп, обираємо лампу *Bulb 9W 5500K E27 (LMS-7-9)*.

Визначаємо необхідну кількість ламп:

$$N_c = \frac{3901,69}{900} \approx 4,33.$$

Відхилення фактичного світлового потоку всіх ламп має задовольняти умові  $10\% \leq \Phi_{lc} \leq 20\%$  [11]. Даній умові задовольняє кількість ламп  $N_c = 4$ .

**Розрахунок освітлення вітальні.** Визначаємо площу вітальні:

$$S_g = 5,28 \cdot 3,88 = 20,48 \text{ м}^2.$$

Розраховуємо індекс приміщення:

$$F_g = \frac{20,48}{2,6 \cdot (5,28 + 3,88)} = 0,86.$$

Знаючи індекс приміщення, визначаємо із [14] (табл. 13.8) та за допомогою подальшої інтерполяції коефіцієнт використання світильника  $\eta_c = 0,458$ .

Світловий потік всіх ламп дорівнює:

$$\Phi_{lg} = \frac{200 \cdot 20,48 \cdot 1,2 \cdot 1}{0,458} = 10731,87 \text{ лм.}$$

Визначивши потрібний світловий потік всіх ламп, обираємо лампу *Bulb 9W 5500K E27 (LMS-7-9)*.

Визначаємо необхідну кількість ламп:

$$N_g = \frac{10731,87}{900} \approx 11,92.$$

Відхилення фактичного світлового потоку всіх ламп має задовольняти умові  $10\% \leq \Phi_{lg} \leq 20\%$  [11]. Даній умові задовольняє кількість ламп  $N_g = 10$ .

### 3.3 Вибір конфігурації системи автономного електропостачання

Об'єктом проектування є житловий будинок у селі Гаї Шевченківські Тернопільського району Тернопільської області. Енергія, яка споживається житловим будинком, витрачається на опалення, освітлення і приведення в дію різних електроприймачів. Для опалення традиційно використовується викопне тверде або газоподібне паливо, рідше – рідке паливо. Застосування для цих цілей електроенергії скоріше є анахронізмом, ніж перспективним напрямком. Якщо не розглядати опалення, то решта приймачів є електричними і потребують електроенергії.

У зв'язку з цим для проектування системи автономного електропостачання необхідно мати інформацію щодо графіків електроспоживання і зміни споживаної потужності.

Визначаємо сумарну потужність освітлювальних установок з лампами типу *Bulb 9W 5500K E27 (LMS-7-9)*:

$$P_{1\text{уст}} = N_1 \cdot P_{1л}, \quad (3.5)$$

де  $N_1$  – кількість ламп даного типу, шт,

$P_{1л}$  – потужність однієї лампи даного типу, Вт.

У результаті розрахунку було визначено, що потрібна кількість ламп складає  $N_1 = 37 \text{ шт.}$

Тоді підставивши чисельні дані, одержимо

$$P_{1\text{уст}} = 37 \cdot 9 = 333 \text{ Вт.}$$

Визначаємо потужність освітлювальних установок з лампами типу *Bulb 6W 5500K E27 (LMS-8-6)*:

$$P_{2\text{уст}} = N_2 \cdot P_{2л}, \quad (3.6)$$

де  $N_2$  – кількість ламп даного типу, шт,

$P_{2л}$  – потужність однієї лампи даного типу, Вт.

У результаті розрахунку було визначено, що потрібна кількість ламп складає  $N_l = 2$  шт. Тоді підставивши чисельні дані, одержимо

$$P_{2уст} = 2 \cdot 6 = 12 \text{ Вт.}$$

Крім освітлення у будинку споживається потужність також і побутовими приладами. Перелік даних приладів із зазначенням потужності наведено в табл. 3.1.

Таблиця 3.1 - Перелік наявних в будинку електроприладів

№	Найменування приладу	Потужність, Вт
1	Кондиціонер	800
2	Кавоварка	1500
3	Праска	1100
4	Електрична кухонна плита	1000
5	Пилосос	650
6	Пральна машина	425
7	Телевізор	339
8	Холодильник	188
9	Кабельна коробка	20
10	Фен	1538
11	Обігрівач	1500
	<b>Разом:</b>	<b>9060</b>

Повна потужність, що споживається освітленням і побутовими приладами, визначається за формулою:

$$P_p = P_{уст} K_{ПТ.уст} + P_{ноб} K_{ПТ.ноб}, \quad (3.7)$$

де  $P_{уст}$  – потужність освітлювальних установок, Вт,

$K_{ПТ.уст}$  – коефіцієнт попиту (приймаємо  $K_{ПТ.уст} = 0,5$ ),

$P_{ноб}$  – потужність побутових приладів, Вт,

$K_{ПТ.ноб}$  – коефіцієнт попиту (згідно ДБН В.2.5-23-2003, приймаємо  $K_{ПТ.ноб} = 0,75$ ).

Тоді одержимо

$$P_p = 345 \cdot 0,5 + 9060 \cdot 0,75 = 6968,5 \text{ Вт.}$$

За рівнем інтенсивності сонячного випромінювання (радіації) на території України виділяють чотири зони. Тернопіль відноситься до четвертої зони, яка найменш придатна для використання сонячної енергії. Величина надходження сонячного проміння в цій зоні – 1000 кВт·год/км<sup>2</sup>.

Якщо врахувати те, що вітер з робочими для ВЕУ швидкостями дме не постійно, а переважно в похмурі дні, коли енергія, що виробляється СБ, є незначною, то в цій дипломній роботі ми вирішили використовувати гібридну (вітро-сонячну) систему автономного електропостачання, що зображена на рис. 3.2. Такі системи рекомендовані для використання у Тернопільській області.

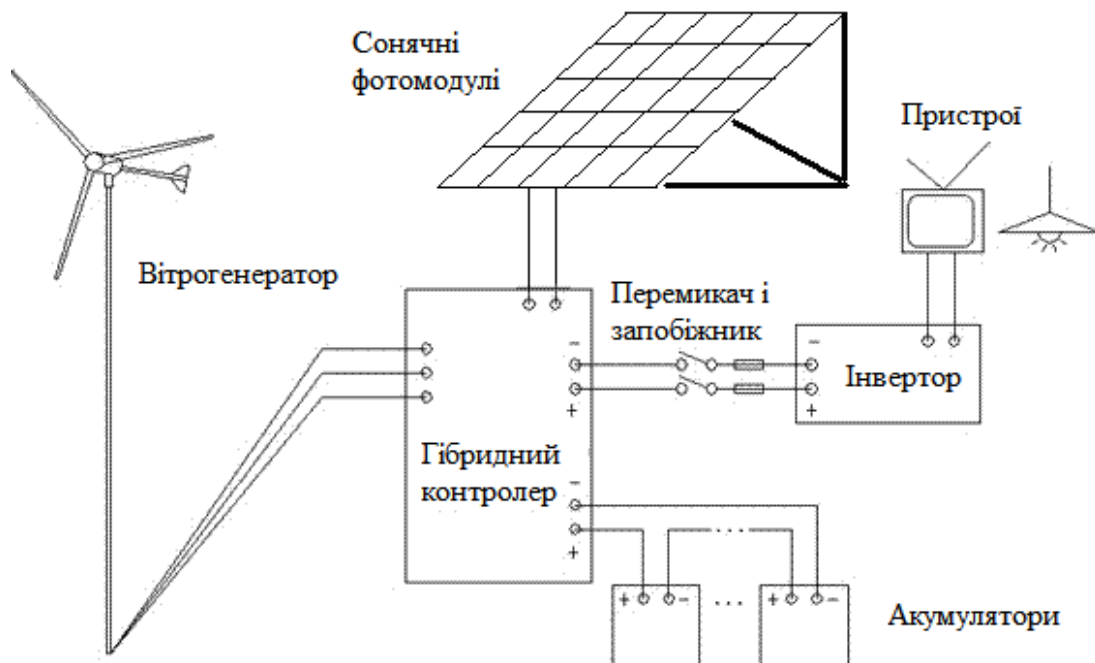


Рисунок 3.2 - Гібридна автономна система – «Сонце-вітер»

**Характеристика роботи вітросонячного комплексу.** До складу вітро-сонячного комплексу входять, крім вітрогенератора (ВГ) і фотоелектричних модулів (ФМ), перетворювач постійного струму в змінний (інвертор -220В, 50Гц), контролери, автоматика і акумуляторні батареї (АБ).

Основні величини, що визначають роботу всього комплексу:

1. *Вихідна потужність (кВт)* – визначається тільки потужністю перетворювача (інвертора) і не залежить від швидкості вітру, ємності акумуляторів. Ще її називають «піковим навантаженням». Цей параметр визначає максимальну кількість електроприладів, які можуть бути одночасно підключені до системи. Ми не зможемо одночасно споживати більше електроенергії, ніж дозволяє потужність інвертора. Для збільшення вихідної потужності можливе одночасне підключення декількох інверторів.

2. *Час безперервної роботи (t, година)* – при відсутності вітру/сонця визначається лише розміром АБ (А·год) і залежить від величини і характеру навантаження та режимів роботи. Для прикладу, в 4-х повністю заряджених АБ ємністю 200А·год запасється 7-8 кВт·год електроенергії, що при постійному навантаженні 1 кВт забезпечує безперервну роботу протягом 7-8 годин.

3. *Вироблення електроенергії (W, кВт·год)* визначається реальним вітропотенціалом, висотою щогли, рельєфом місцевості, сонячної освітленістю і розташуванням ФМ і, зазвичай, вказується за усереднений проміжок часу, наприклад, місяць, тому що денний або, тим більше годинний виробіток носитиме випадковий характер.

У разі використання комплексних вітросонячних систем передбачається більш плавне середньорічне покриття навантажень, тому що вітер домінує в осінньо-зимовий період, а Сонце – у весняно-літній, а також збільшення середньодобового (середньомісячного) вироблення енергії за рахунок збільшення ймовірності одночасної роботи двох незалежних джерел енергії.

Таким чином, при роботі двох джерел з одним блоком управління і перетворення відносна вартість системи в цілому знижується і, як наслідок, зменшується питома собівартість вироблення однієї кВт·год електроенергії.

## 4 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

### 4.1 Розрахунок фотоелектричної системи

*Визначення енергоспоживання і потужності інвертора.* Споживання енергії на тиждень складає  $W_{зм} = 90,015 \text{ кВт}\cdot\text{год}$  (табл. 4.1). Будинок підключений до загальної електромережі. Якщо енергії, що виробляється СБ, буде недостатньо, енергія буде споживатися від ВЕУ. А коли вироблення буде більше споживання, електроенергія передається на забезпечення опалення приміщень будинку.

Таблиця 4.1 - Навантаження змінного струму

№	Навантаження змінного струму	Потужність, Вт	Час роботи, годин/тиждень	Споживана електроенергія, кВт·год/тиждень
1	Освітлення	345	60	20,7
2	Кондиціонер	800	2	1,6
3	Кавоварка	1500	1	1,5
4	Праска	1100	0,5	0,55
5	Електрична кухонна плита	1000	18	18
6	Пилосос	650	1	0,65
7	Пральна машина	425	1	0,425
8	Телевізор	339	28	9,492
9	Холодильник	188	168	31,584
10	Кабельна коробка	20	168	3,36
11	Фен	1538	0,1	0,154
12	Обігрівач	1500	2	3
<b>Всього:</b>				<b>90,015</b>

Потрібна енергія постійного струму з урахуванням втрат у інверторі визначається за формулою:

$$W_{нотр} = W_{зм}k, \quad (4.1)$$

де  $W_{зм}$  – сумарна споживана енергія змінного струму за тиждень, кВт·год,  
 $k$  – коефіцієнт, що враховує втрати в інверторі (приймаємо  $k = 1,2$ ).

Тоді

$$W_{нотр} = 90,015 \cdot 1,2 = 108,02 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

Для того, щоб вибрати інвертор, розділимо значення  $W_{нотр}$  на число годин за тиждень, тобто на  $7 \cdot 24 = 168$  год:

$$P_{инв} = \frac{W_{нотр}}{168} = \frac{108,02 \cdot 10^3}{168} = 0,643 \text{ кВт.} \quad (4.2)$$

Вибираємо інвертор (чиста синусоїда) *WESWEN NC-800-S*. Номінальна напруга інвертора  $U_{инв} = 30 \text{ В}$ , номінальна потужність:  $P_{ном} = 0,8 \text{ кВт}$ .

Визначимо число ампер-годин на тиждень, необхідне для покриття навантаження змінного струму за формулою:

$$q_m^{зм} = \frac{W_{нотр}}{U_{инв}}. \quad (4.3)$$

де  $U_{инв}$  – вхідна напруга інвертора, В.

$$q_m^{зм} = \frac{108,02 \cdot 10^3}{30} = 3600 \text{ А} \cdot \text{год.}$$

Приймаємо, що у корпусі немає навантаження постійного струму.

Добове значення споживаних ампер-годин:

$$q_{доб} = \frac{q_m^{зм}}{7}, \quad (4.4)$$

де  $q_m^{зм}$  – число ампер-годин на тиждень, потрібне для покриття навантаження змінного струму.

$$q_{доб} = \frac{3600}{7} = 514,29 \text{ А} \cdot \text{год.}$$

**Визначення ємності акумуляторної батареї та їх кількості.** Визначимо максимальне число послідовних «днів без Сонця»  $N_{bc}$  (тобто коли сонячної енергії недостатньо для заряду АБ і відповідно для роботи навантаження через негоду або хмарності), користуючись табл. 4.2 і орієнтуючись на режим експлуатації.

Таблиця 4.2 - Кількість днів без сонця, обумовлена погодними умовами

Широта місцевості	Період		
	Літні місяці	Осінні та весняні місяці	Зимові місяці
30	2-4	3-4	4-6
40	2-4	4-6	6-10
50 (Тернопіль)	2-4	6-8	10-15
60	3-5	8-12	15-25
70	3-5	12-14	20-35

При цілорічній експлуатації фотоелектричної системи з дублером, у тому числі при роботі із загальною електромережею, для зменшення витрат можна вибрати мінімально можливу кількість днів без сонця на тиждень – 1. Це обумовлюється підзарядкою від резервного джерела в будь-який час. Також можливо прийняти за цей параметр вибрану кількість днів, протягом яких АБ буде жити навантаження самостійно без підзарядки.

Сумарна ємність акумуляторів, що враховує кількість днів без сонця

$$q_N = q_{доб} \cdot N_{bc}. \quad (4.5)$$

Підставивши чисельні дані, одержимо:

$$q_N = 514,29 \cdot 1 = 514,29 \text{ А} \cdot \text{год}.$$

Задаємося величиною глибини допустимого розряду акумуляторної батареї 50%, відповідно коефіцієнт використання  $\gamma = 0,5$ . Заряд акумуляторної батареї з урахуванням глибини розряду:



$$q_{\gamma} = \frac{q_N}{\gamma}. \quad (4.6)$$

Тоді

$$q_{\gamma} = \frac{514,29}{0,5} = 1028,58 \text{ A} \cdot \text{год.}$$

Загальна необхідна ємність акумуляторних батарей

$$q_{\text{заг}} = q_{\gamma} \alpha, \quad (4.7)$$

де  $\alpha$  – температурний коефіцієнт для акумуляторної батареї.

Вибираємо коефіцієнт  $\alpha$  з табл. 4.3. Даний коефіцієнт враховує зменшення ємності при зниженні температури. Зазвичай це середня температура. Для кліматичних умов с. Гаї Шевченківські Тернопільського району прийmemo  $\alpha = 1,19$ , при середній температурі  $10^{\circ}\text{C}$ .

Таблиця 4.3 - Температурний коефіцієнт для акумуляторної батареї

Температура в градусах		Коефіцієнт $\alpha$
Цельсія	Фаренгейта	
26,7C	80F	1,00
21,2C	70F	1,04
15,6C	60F	1,11
10,0C	50F	1,19
4,4C	40F	1,30
-1,1C	30F	1,40
-6,7C	20F	1,59

Тоді

$$q_{\text{заг}} = 1028,58 \cdot 1,19 = 1224 \text{ A} \cdot \text{год.}$$

Вибираємо АБ *DJM 12200*, з номінальною напругою  $U_{\text{ном}}=12 \text{ В}$  та номінальною ємністю  $q_{\text{ном}}=200 \text{ A} \cdot \text{год.}$

Кількість батарей, з'єднаних паралельно, визначається за формулою:

$$N_{\text{пар}}^{AB} = \frac{q_{\text{заг}}}{q_{\text{ном}}} \quad (4.8)$$

Тоді

$$N_{\text{пар}}^{AB} = \frac{1224}{200} \approx 6.$$

Кількість батарей, з'єднаних послідовно:

$$N_{\text{посл}}^{AB} = \frac{U_{\text{інв}}}{U_{\text{ном}}} \quad (4.9)$$

Тоді

$$N_{\text{посл}}^{AB} = \frac{30}{12} \approx 3.$$

Загальна необхідна кількість АБ:

$$N^{AB} = N_{\text{пар}}^{AB} N_{\text{посл}}^{AB} \quad (4.10)$$

Тоді

$$N^{AB} = 6 \cdot 3 = 18.$$

**Визначення кількості сонячних батарей.** Для того, щоб визначити число пікових сонце-годин, необхідно знати значення середньомісячного надходження сонячного випромінювання в с. Гаї Шевченківські Тернопільського району.

Якщо сонячні батареї встановлюються під кутом  $\beta = 45^\circ$  до горизонту, то проводиться перерахунок сонячного випромінювання з горизонтальної поверхні на похилу. Значення широти місцевості ( $\varphi$ ), кута нахилу сонячних батарей ( $\beta$ ), часового кута заходу Сонця для горизонтальної поверхні ( $w_3$ ), часового кута заходу Сонця для похилій поверхні з південною орієнтацією ( $w_{3н}$ ), коефіцієнта перерахунку з горизонтальної площини на похилу з південною орієнтацією ( $R$ ), значення сонячної енергії, що надходить на горизонтальну поверхню ( $E$ ), альbedo земної поверхні ( $\rho$ ) – коефіцієнт відбиття поверхні Землі і оточуючих

тіл, зазвичай приймається рівним 0,7 для зими і 0,2 для літа, середньомісячний коефіцієнт перерахунку прямого сонячного випромінювання з горизонтальної на похилу поверхню ( $R_n$ ) і число годин сонячного сьйва наведені в табл. 4.4.

Таблиця 4.4 - Розрахунок числа пікових Сонце-годин для кута нахилу  $\beta=45^\circ$

Місяць	$\varphi$	$\beta$	$\omega_z$	$\omega_{zn}$	$R_n$	Пряме випр-ння $E_d$ кВт·год/м <sup>2</sup>	Розсіяне випр-ння $E_s$ кВт·год/м <sup>2</sup>	Сумарне випр-ння $E_t$ кВт·год/м <sup>2</sup>	$\rho$	R	i
1	45	45	67,55	90	2,98	15,13	24,44	39,57	0,7	1,78	2,37
2	45	45	76,65	90	2,13	20,95	31,43	52,38	0,7	1,48	2,58
3	45	45	87,60	90	1,51	47,72	51,22	98,94	0,7	1,29	4,26
4	45	45	99,53	90	1,11	77,99	59,36	137,35	0,2	1,01	4,61
5	45	45	109,9	90	0,89	96,61	73,33	169,94	0,2	0,88	4,99
6	45	45	115,2	90	0,80	123,38	69,84	193,22	0,2	0,84	5,38
7	45	45	112,8	90	0,84	145,5	66,35	211,85	0,2	0,86	6,09
8	45	45	103,9	90	1,01	123,3	57,04	180,42	0,2	0,98	5,87
9	45	45	92,20	90	1,33	87,3	48,89	136,19	0,2	1,18	5,34
10	45	45	80,26	90	1,89	59,3	38,41	97,77	0,7	1,61	5,26
11	45	45	69,98	90	2,71	22,12	27,94	50,06	0,7	1,79	2,99
12	45	45	64,88	90	3,33	11,64	20,95	32,59	0,7	1,85	2,00
										Сеп.	4,31

Розрахунок в даному випадку буде проводитися за середньорічною кількістю пікових Сонце-годин, щоб зменшити витрати на фотоелектричну систему. Це можливо за рахунок використання загальної енергосистеми в якості дублера. У теплу пору року вироблювана енергія може передаватися в загальну мережу, а в холодну, відповідно, забиратися.

Вибираємо тип СБ  $ES(M) 240$ , яку плануємо використовувати. Номінальна потужність  $P_{\text{НОМ}}^{\text{СБ}} = 240 \text{ Вт}$  і напруга  $U_{\text{НОМ}}^{\text{СБ}} = 46,85 \text{ В}$ , а також струм в точці максимальної потужності  $I_{\text{mpp}} = 5,48 \text{ А}$ . Площа сонячної батареї  $1,7 \text{ м}^2$ .

Для живлення інвертора встановлюємо понижуючий стабілізатор напруги і приймаємо мінімальну напругу на виході сонячної батареї  $U_{\text{мін.}}^{\text{СБ}} = 24 \text{ В}$ . Це забезпечить стабільність роботи енергосистеми при низькій інтенсивності сонячної радіації.

Втрати на заряд-розряд АБ визначаємо за формулою:

$$q_{z-p} = q_{\text{доб}} \zeta, \quad (4.11)$$

де  $\zeta = 1,2$  – коефіцієнт для обліку втрат на заряд-розряд АБ.

Тоді маємо

$$q_{z-p} = 514,29 \cdot 1,2 = 617,15 \text{ А} \cdot \text{год.}$$

Значення струму, який повинні генерувати СБ

$$I^{\text{СБ}} = \frac{q_{z-p}}{i}, \quad (4.12)$$

де  $i$  – середнє число пікових сонце-годин.

Підставивши чисельні дані, одержимо

$$I^{\text{СБ}} = \frac{617,15}{4,31} = 143,19 \text{ А.}$$

Загальна необхідна кількість СБ визначається за формулою:

$$N^{\text{СБ}} = \frac{I^{\text{СБ}} U_{\text{інв}}}{P_{\text{НОМ}}^{\text{СБ}}}, \quad (4.13)$$

де  $I^{CB}$  – струм, який повинні генерувати СБ, А;

$U_{инв}$  – вхідна напруга інвертора, В;

$P_{ном}^{CB}$  – номінальна потужність СБ, Вт.

$$N^{CB} = \frac{143,19 \cdot 30}{240} \approx 18.$$

Число модулів, з'єднаних послідовно, визначається за формулою:

$$N_{посл}^{CB} = \frac{U_{инв}}{U_{мін}^{CB}}, \quad (4.14)$$

Тоді

$$N_{посл}^{CB} = \frac{30}{24} \approx 2.$$

Визначаємо число модулів, з'єднаних паралельно:

$$N_{пар}^{CB} = \frac{N^{CB}}{N_{посл}^{CB}}, \quad (4.15)$$

Підставимо чисельні дані:

$$N_{пар}^{CB} = \frac{18}{2} = 9.$$

Обчислюємо площу СБ:

$$S^{CB} = N^{CB} S_1^{CB}, \quad (4.16)$$

де  $S_1^{CB}$  – площа однієї СБ, м<sup>2</sup>.

$$S^{CB} = 18 \cdot 1,7 = 30,6 \text{ м}^2.$$

**Монтаж і установка сонячних батарей.** СБ можна встановлювати в довільній конфігурації: на даху, на балконі, на рамах, розміщених на поверхні землі. При монтажі на плоских поверхнях батареї повинні бути розміщені на рівній і твердій поверхні. Перекошування або часта зміна положення може призвести до виникнення небажаних напружень та виходу з ладу сонячних батарей. Перевага надається способу монтажу, коли рама жорстко пригвинчується до масивних бетонних плит за допомогою гумових підкладок. Різні фірми

пропонують власні перевірені та надійні конструкційні рішення монтажу сонячних батарей.

Для отримання максимального ефекту необхідно дотримуватись таких вимог:

- фотомодуль має бути повернений світлосприймаючою стороною на південь;
- нахил батарей має бути  $45^{\circ}$  до горизонтальної поверхні, це оптимальне значення при їх використанні з лютого до листопада;
- у літні місяці оптимальний кут нахилу становить  $30^{\circ}$ ;
- на батареї не повинна падати тінь від дерев, будівель, кущів тощо.

На похилих дахах фотомодулі монтуються на консолях, на відстані близько 15 см від поверхні даху. На плоских дахах монтаж виконується на спеціальних стелажах, що мають відповідний кут нахилу та напрямлення.

Враховуючи особливості конструкції нашого будинку, пропонується виконувати встановлення СБ на його даху. Необхідність фіксованого чи змінного положення СБ аналізується у наступному підрозділі.

#### **4.2 Розробка електроприводу механізму повороту сонячних батарей**

Кількість енергії, що виробляється сонячною установкою, можливо збільшити, якщо до складу вітросонячного комплексу ввести спеціальну систему з електроприводом для повороту СБ. Вище відзначалося, що нахил СБ до горизонтальної поверхні має складати  $45^{\circ}$ . Але даний кут є оптимальним з точки зору усереднених показників і не є строго оптимальним для конкретного часу доби, години, місяця чи пори року. Наведення СБ на Сонце дозволяє підвищити їх енергетичну ефективність не менше, ніж на 30% [11].

***Вибір двигуна слідкуючого ЕП механізму повороту сонячних батарей.***  
Вибір електродвигуна для механізму повороту СБ здійснюється на основі їх масо-габаритних показників.

Визначаємо момент інерції панелі СБ:

$$J_n = \frac{ml^2}{12}, \quad (4.17)$$

де  $m$  – маса панелі, кг,

$l$  – довжина панелі, м.

Обраний тип СБ *ES(M) 240* має наступні масо-габаритні характеристики:

– маса – 22 кг;

– розміри – 1580x1080x45 мм.

Тоді маса панелі дорівнює

$$m = N^{CB} m^{CB}, \quad (4.18)$$

де  $m^{CB}$  – маса однієї сонячної батареї.

$$\text{Тоді} \quad m = 18 \cdot 22 = 396 \text{ кг.}$$

Момент інерції панелі:

$$J_n = \frac{396 \cdot 1,58^2}{12} = 82,38 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Визначимо необхідний момент для подолання сил інерції при умові, що механізм повороту вмикається 20 разів (кожні 18°):

$$\dot{I}_{i\ddot{a}i\ddot{a}} = \frac{J_i \omega_{\dot{a}\ddot{a}\ddot{a}}}{t_i}, \quad (4.19)$$

де  $\omega_{вих}$  – максимальна необхідна швидкість виконавчого валу, рад/с,

$t_n$  – необхідна тривалість “переходу”, с.

Підставивши чисельні дані, одержимо:

$$M_{необ} = \frac{82,38 \cdot 0,105}{4} = 2,16 \text{ Нм.}$$

Обираємо двигун постійного струму, який виготовляється фірмою *Maxon*, типу *RE8* з наступними параметрами:

– номінальна потужність  $P_\partial = 50 \text{ Вт}$ ;

– номінальна швидкість обертання  $n_\partial = 5410 \text{ об/хв}$ ;

- номінальна напруга  $U_{я.ном} = 12 \text{ В}$ ;
- номінальний струм  $I_{я.ном} = 0,0865 \text{ А}$ ;
- момент інерції  $J_{\delta} = 3,55 \cdot 10^{-9} \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ ;
- індуктивність обмотки якоря двигун  $L_{я} = 0,606 \cdot 10^{-3} \text{ Гн}$ ;
- номінальний момент двигуна  $M_n = 0,589 \cdot 10^{-3} \text{ Нм}$ ;
- пусковий момент  $M_n = 0,925 \cdot 10^{-3} \text{ Нм}$ .

Перевіримо достатність пускових характеристик двигуна (при номінальному і пусковому режимах роботи) для подолання моменту інерції панелі СБ.

Передавальне число редуктора дорівнює:

$$K_p = \frac{\omega_{\delta}}{\omega_{вих}}. \quad (4.20)$$

Тоді 
$$K_p = \frac{566,24}{0,105} \approx 5392.$$

Тоді момент, який передається за допомогою редуктора, дорівнює

$$M_{ном}^{\delta} = K_p M_n. \quad (4.21)$$

Тоді одержимо 
$$M_{ном}^{\delta} = 5392 \cdot 0,589 \cdot 10^{-3} = 3,18 \text{ Нм}.$$

Для пускового режиму:

$$M_n^{\delta} = K_p M_n. \quad (4.22)$$

$$M_n^{\delta} = 5392 \cdot 0,925 \cdot 10^{-3} = 4,99 \text{ Нм}.$$

Тоді

Коефіцієнт запасу по моменту дорівнює:

$$\frac{M_{ном}^{\delta}}{M_{необ}} = \frac{3,18}{2,16} = 1,47. \quad (4.23)$$



### 4.3 Розрахунок параметрів вітроустановки

Оскільки основним джерелом для автономного електропостачання сільського будинку в даному дипломному проекті є фотоелектрична система, то ми обираємо вітроустановку невеликої потужності, яка буде забезпечувати отримання необхідної кількості електроенергії у випадку її недостачі у похмурі дні. Даним вимогам відповідає *вітрогенератор горизонтальної серії E1,5*.

Він є надійною системою, що зарекомендувала себе в умовах українського клімату. Простота і надійність конструкції досягається за рахунок використання високоякісних матеріалів та першокласного складання. Ефективний малошумний генератор прямого приводу на постійних магнітах з використанням кращих струмозйомних технологій забезпечує стабільне альтернативне енергозабезпечення навіть за низьких швидкостях вітру. У вітрогенераторі застосовано аеромеханічну систему стабілізації частоти обертання вітротурбіни, що дозволяє експлуатувати її в широкому діапазоні швидкостей вітру.

#### *Характеристики:*

Номінальна потужність: 1500 Вт;

Максимальна потужність: 1800 Вт;

Номінальна напруга: 24 В;

Діаметр вітроколеса: 3,2 м;

Стартова швидкість вітру: 2,5 м/с;

Початкова робоча швидкість вітру: 3 м/с;

Номінальна швидкість вітру: 11 м/с;

Максимальна робоча швидкість вітру: 25 м/с;

Ураганна розрахункова швидкість вітру: 45 м/с;

Метод захисту від ураганного вітру: автоматичне згортання вітроколеса;

Номінальна швидкість обертання ротора: 380 об/хв.;

Ступень захисту оболонки: IP54;

Клас нагрівостійкості ізоляції: F;

Матеріал гондоли: корозієстійкий алюмінієвий сплав;

Матеріал лопатей: вуглецеве волокно і скловолокно;

Тип генератора: трифазний, на постійних магнітах (PMG);

Тип вихідного сигналу напруги: чиста синусоїда;

Вага вітрогенератора: 56 кг.

*Основні параметри ВЕУ :*

1) номінальна потужність  $P_{ном}$  [Вт, кВт] – потужність, що розвивається вітроустановкою при розрахунковій швидкості вітру;

2) розрахункова швидкість вітру  $V_p$  [м/с];

3) діаметр віротурбіни  $D$  [м] ;

4) вироблення енергії за місяць  $W_m$  [кВт·год] – величина, залежна від середньої швидкості вітру;

5) середня потужність  $P_{ср}$  [кВт] – це основний параметр вітроустановки, який має бути узгоджений з відомою або проектною енергією, споживаною навантаженнями за той же проміжок часу. Він залежить від середньої швидкості вітру в місці роботи вітроустановки, розміру ВЕУ (обтікаючої площі, діаметру віротурбіни) і конструктивної досконалості ВЕУ.

Якщо вважати що ВЕУ виконана грамотно і на сучасному рівні, то розрахувати очікуване вироблення енергії можна на спеціальному вітрокалькуляторі.

Потужність вітроустановки рівна:

$$P_{ВЕУ} = \eta P_m, \quad (4.24)$$

де  $\eta$  – коефіцієнт корисної дії генератора і трансмісії (зазвичай рівний 0,8 – 0,9);

$P_m$  – потужність віротурбіни, Вт.

Потужність турбіни складає:

$$P_m = \xi P_{П}, \quad (4.25)$$

де  $\xi$  – коефіцієнт вітровикористання. Принципово відрізняється від ККД тим, що “недоотримана” потужність, в основному, не є втратами, а залишається в потоці.

За різними теоріями максимальне значення коефіцієнта вітровикористання ідеального пристрою складає 0,59–0,68. Реальний коефіцієнт вітровикористання добре спроектованої турбіни складає 0,4–0,55;

$P_{\Pi}$  – потужність вітрового потоку, що проходить через обтікаючу вітротурбіною площу, Вт.

Потужність потоку обчислюється за формулою:

$$P_{\Pi} = \frac{\rho V^3}{2} S, \quad (4.26)$$

де  $\rho$  – густина повітря (стандартне значення  $1,225 \text{ кг/м}^3$ ),

$V$  – швидкість необуреного вітрового потоку, приймаємо  $V = 9 \text{ м/с}$ ,

$S$  – обтікаюча площа,  $\text{м}^2$ .

Обтікаючу площу розраховуємо за формулою:

$$S = \frac{\pi D^2}{4}. \quad (4.27)$$

Підставивши чисельні дані, одержимо

$$S = \frac{3,14 \cdot 3,2^2}{4} = 8,04 \text{ м}^2. \quad (4.28)$$

Визначимо потужність потоку:

$$P_{\Pi} = \frac{1,225 \cdot 9^3}{2} \cdot 8,04 = 3590 \text{ Вт}. \quad (4.29)$$

Обчислюємо потужність турбіни:

$$P_m = 0,45 \cdot 3590 = 1615,5 \text{ Вт}. \quad (4.30)$$

Отже, потужність ВЕУ рівна:

$$P_{BEY} = 0,85 \cdot 1615,5 = 1373,2 \text{ Вт}. \quad (4.31)$$

Цих залежностей вистачає для узгодження таких параметрів ВЕУ, як номінальна потужність, діаметр і розрахункова швидкість вітру. Але не менш важливими є очікуване вироблення енергії і середня потужність вітроустановки.

Досить точно ці величини можна обчислити, знаючи діаграму розподілу швидкостей вітру за період, що цікавить. Для умов с. Гаї Шевченківські дана діаграма наведена на рис. 4.1.

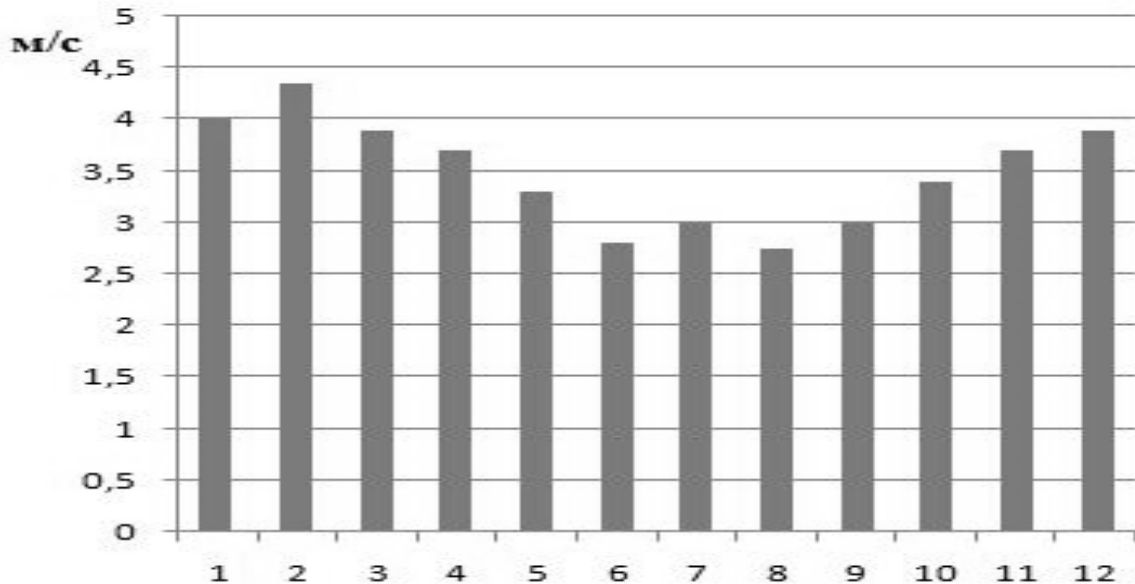


Рисунок 4.1 - Середні швидкості вітру по місяцях (с. Гаї Шевченківські)

При розрахунку місячного вироблення енергії приймаються наступні припущення:

– потужність ВЕУ при швидкості вітру нижче розрахункової пропорційна кубу швидкості вітру:  $P = P_{ном} \cdot (V/V_p)^3$ ;

– потужність вітроустановки при швидкості вітру вище розрахункової дорівнює номінальній (обмежується системою управління або потужністю генератора);

– розподіл швидкостей вітру за часом підпорядковується закону Гауса:

$$p = A e^{-\pi A^2 (V - V_0)^2}, \quad (4.32)$$

де  $V_0$  – середня швидкість вітру м/с,

$A$  – параметр, що залежить від  $V_0$ .

У табл. 4.5 приведені деякі значення параметру  $A$ , одержані на базі статистичних даних.

Таблиця 4.5 - Деякі значення коефіцієнта  $A$  при різних значеннях швидкості вітру

$V_0$ , м/с	3	4	5	6
$A$	0,228	0,185	0,165	0,15

Таким чином, середня потужність вітроустановки залежно від її розрахункової швидкості і середньої швидкості вітру складе:

$$P_{cp} = \int_0^{\infty} P_{ном} \left( \frac{V}{V_p} \right)^3 A e^{-\pi A^2 (V - V_0)^2} dV. \quad (4.33)$$

Маючи дані:  $P_{ном} = 1500 \text{ Вт}$ ,  $V = 9 \text{ м/с}$ ,  $V_p = 9,268 \text{ м/с}$ ,  $A = 0,228$ ,  $V_0 = 3 \text{ м/с}$  і використовуючи програму *Mathcad*, отримаємо  $P_{cp} = 103,3 \text{ Вт}$ .

Визначаємо кількість виробленої енергії за місяць:

$$W_M = P_{cp} N n, \quad (4.34)$$

де  $N$  – кількість днів у місяці,

$n$  – кількість годин у добі.

Тоді

$$W_M = 103,3 \cdot 30 \cdot 24 = 74,38 \text{ кВт} \cdot \text{год}. \quad (4.35)$$

Величина виробленої енергії невелика, але оскільки вітроустановка в системі використовується лише як додаткове джерело енергії у випадку нестачі її від роботи фотоелектричної системи, то її достатньо.

#### 4.4 Розрахунок імпульсного стабілізатора напруги

Однією з найрозповсюдженіших причин, що призводить до відмови або виводу з ладу електрообладнання, є нестабільність напруги мережі. Це трапляється, наприклад, через аварії на підстанціях та лініях електропередач, застаріле високовольтне обладнання тощо. У промислових мережах змінного струму часто виникають недопустимі відхилення напруги, імпульсні перешкоди амплітудою в

одиниці кВ. Надійним захистом від неякісного електроживлення зазвичай є стабілізатори напруги – апарати для її автоматичного підтримання. Стабілізатор автоматично підтримує рівень напруги 220 В при відхиленнях від норми величини вхідної напруги мережі живлення.

*Ферорезонансні стабілізатори* характеризуються надійністю, здатністю одночасно стабілізувати лінійну і фазну напруги. Цей тип стабілізаторів функціонує у діапазоні температур від -40 до +40 °С, тому може встановлюватись у неопалюваних приміщеннях.

*Переваги:*

- висока швидкодія;
- регулювання напруги без розриву фази;
- відносна простота схеми і, відповідно, висока її надійність;
- висока точність стабілізації напруги (3%).

*Ступеневі стабілізатори* є найбільш розповсюдженим типом стабілізаторів. Вторинна обмотка їх трансформатора має виводи з різними коефіцієнтами трансформації, які перемикаються автоматично при зміні напруги мережі. Схема базується на комутації виводів автотрансформатора за допомогою силових ключів. За типом силових ключів ці стабілізатори поділяються на дві групи: з напівпровідниковими і релейними ключами. Перевагами першої є безшумність роботи, можливість створення швидкодіючих схем регулювання напруги. До переваг релейних ключів належить висока стійкість до імпульсних перенапруг. Виробники сучасних реле гарантують у середньому до 6 млн. перемикань при номінальному струмі, це забезпечує безаварійну роботу стабілізатора протягом тривалого часу.

*Переваги:*

- малі габарити;
- відносно низька вартість;
- незначні перешкоди та спотворення синусоїдності напруги;
- широкий діапазон вхідної напруги.

*Недоліки:*

- переривання напруги у процесі регулювання (обмеження застосування для високоіндуктивних та високоємнісних навантажень);
- дискретність регулювання (напруга на виході змінюється “ступенево” у межах заданого діапазону).

Потужність таких стабілізаторів від 100 ВА до 100 кВА.

*Електромеханічні стабілізатори.* Основу схеми цих пристроїв складає регульований автотрансформатор, який вмикається у первинну обмотку вольто-додавального трансформатора. Вторинна обмотка вмикається у розрив фази мережі. Контроль вхідної напруги відбувається постійно, при відхиленні її від номінального значення змінюється характеристика автотрансформатора. Така схема дозволяє плавно регулювати напругу без переривання фази і без спотворення синусоїди. Цей стабілізатор напруги достатньо компактний і придатний для будь-якого навантаження. Застосовується у силових мережах житлових будівель, банків, промислових об'єктів, медичних закладів.

*Перевагами є:*

- найвищий коефіцієнт віддачі (98-99%);
- великий робочий ресурс;
- висока точність утримання вихідної напруги  $220 \pm 1\%$ ;
- відсутність перешкод та спотворень синусоїди;
- велика навантажувальна здатність;
- широкий діапазон корекції напруги 140-260 В;
- відсутність електронних блоків, можливість організації систем з широким діапазоном потужностей від 0.3 кВА до 2 МВА.

*Недоліками є:*

- висока вартість;
- великі масо-габаритні показники порівняно із ступеневими коректорами напруги;
- обмежена швидкість регулювання.

Спочатку потрібно визначити потужність стабілізатора напруги. Для цього достатньо знати лише струм спрацювання автоматичного вимикача на вводі в будівлю (номінал автомату). У нашому випадку струм спрацювання автоматичного вимикача становить 63 А. Отже, мінімальна потужність, яка нам дозволена технічними умовами підключення до загальної електромережі становить 13860 ВА (200 А·220В).

Враховуючи все вище зазначене, обираємо трифазний стабілізатор напруги «Елім Україна» СНАЗШ-15 кВА.

Потужність: 15 кВА;

Вхідна напруга: 300-430 В;

Вихідна напруга:  $380 \pm 3\%$ ;

ККД: 98% при напрузі в мережі 380 В;

Швидкість спрацювання: не менше 0,5 с;

Робоча температура:  $-5 \dots +40^\circ\text{C}$ ;

Вихідний сигнал – чиста синусоїда;

Підключення – гвинтові клеми;

Принцип роботи: електромеханічні автотрансформатори на кожній фазі, керовані прецизійною мікропроцесорною електронікою;

Габарити: 355 x 360 x 870 мм;

Вага: 61 кг.

*Вихідні дані, необхідні для розрахунку:*

–  $P_n = 15000 \text{ Вт}$  – потужність навантаження;

–  $U_{\text{вх.ном}} = 380 \text{ В}$  – номінальна вхідна напруга;

–  $k_{\text{вх.1}} = 0,8$  – коефіцієнт для розрахунку мінімальної вхідної напруги;

–  $k_{\text{вх.2}} = 1,2$  – коефіцієнт для розрахунку максимальної вхідної напруги;

–  $U_n = 380 \text{ В}$  – вихідна стабілізована постійна напруга блоку;

–  $I_n = 40 \text{ А}$  – номінальний струм навантаження;

–  $U_n \sim = 1,1 \text{ В}$  – змінна складова вихідної постійної напруга ІСН, розмах;

–  $f = 10 \text{ кГц}$  – частота роботи силових транзисторів ІСН;



– матеріал осердя М6000НМ1 (марка фериту осердя силового трансформатора вибирається з ряду: М2000 НМ1–А(Б); М2000 НМ1-17; М3000 НМ-А; М6000 НМ-1).

#### 4.5 Розрахунок трансформатора

Головна вимога до імпульсного трансформатора – це передача короткочасних імпульсів без спотворення форми (з найменшим спотворенням), що залежить від властивостей осердя, конструктивного виконання трансформатора та параметрів приладів, з якими працює трансформатор.

Передача імпульсів з великою частотою обмежується втратами на вихрові струми. Тому осердя малопотужних імпульсних трансформаторів, що призначені для роботи на високих частотах, виконують з феритів.

Потужність навантаження дорівнює:

$$P_n = U_n I_n, \quad (4.36)$$

де  $U_n$  – напруга навантаження, В,

$I_n$  – струм в навантаженні, А.

Підставивши чисельні дані, одержимо:

$$P_n = 380 \cdot 40 \approx 15000 \text{ Вт}. \quad (4.37)$$

Мінімальне амплітудне значення напруги на первинній обмотці трансформатора визначається за формулою:

$$U_{к.е.н. \min_{1m.min}}, \quad (4.38)$$

де  $U_{к.е.н. \min}$  – мінімальна вхідна напруга, В,

$U_{к.е.н.}$  – напруга колектор-емітер силового транзистора в режимі насичення, становить 0,7 В.

Мінімальну вхідну напругу розраховуємо за формулою:

$$U_{ex.1} \cdot 1_{ex.ном} \cdot U_{ex.min}. \quad (4.39)$$

$$U_{ex.min}. \quad (4.40)$$

Тоді мінімальне амплітудне значення напруги на первинній обмотці трансформатора складе

$$U_{1m.min}. \quad (4.41)$$

Мінімальне амплітудне значення напруги на вторинній обмотці трансформатора:

$$U \frac{U_n + \Delta U_{\partial p} + \Delta U_{\partial}}{\gamma_{max} \quad 2m.min}, \quad (4.42)$$

де  $\Delta U_{\partial p}$  – падіння напруги на дроселі  $L_{\phi}$  (приймається  $\Delta U_{\partial p} \approx 0,6$  В при  $U_n > 5$ В),

$R_{\partial p}$  – опір обмотки дроселя, Ом,

$\gamma_{max}$  – граничний коефіцієнт заповнення імпульсів керування, приймаємо  $\gamma_{max} = 0,45$ . Теоретично граничний коефіцієнт заповнення повинен бути  $< 0,5$ .

$$U \frac{380 + 0,6 + 0,7}{0,45} \cdot 2m.min}. \quad (4.43)$$

Визначаємо коефіцієнт трансформації:

$$K_{mp} = \frac{U_{2m.min}}{U_{1m.min}}. \quad (4.44)$$

Тоді

$$K_{mp} = \frac{847,34}{303,3} = 2,79. \quad (4.45)$$

Максимальна амплітудна напруга на вторинній обмотці трансформатора обчислюється за формулою:

$$U_{mp} \cdot 1_{1m.max} \cdot 2m.max}, \quad (4.46)$$

де  $U_{1m.max} = k_{ex.2} \cdot U_{ex.ном} - U_{к.е.н.}$  – максимальна амплітудна напруга на первинній обмотці трансформатора.

Тоді

$$U_{1m.max} \cdot \quad (4.47)$$

$$U_{2m.max} \cdot \quad (4.48)$$

Визначимо мінімальне значення коефіцієнта заповнення імпульсів напруги на трансформаторі:

$$\gamma \frac{U_H + \Delta U_{dp} + \Delta U_d}{U_{2m.max} \cdot \min} \cdot \quad (4.49)$$

$$\gamma \frac{380 + 0,6 + 0,7}{1270,29 \cdot \min} \cdot \quad (4.50)$$

Обчислюємо ефективні значення напруг на первинній та вторинній обмотках трансформатора:

$$U_{1.e\phi} = U \sqrt{\gamma_{max} \cdot 1m.min} \cdot \quad (4.51)$$

$$U_{2.e\phi} = U \sqrt{\gamma_{max} \cdot 2m.min} \cdot$$

Тоді

$$U_{1.e\phi} = 303,3 \cdot \sqrt{0,45} = 203,46 \text{ B}, \quad (4.52)$$

$$U_{2.e\phi} = 847,34 \cdot \sqrt{0,45} = 568,41 \text{ B}.$$

Визначаємо ефективні значення струмів у вторинній та первинній обмотках трансформатора:

$$I_{1.e\phi} = I_2 \sqrt{\gamma_{max}}, \quad (4.53)$$

$$I_{2.e\phi} = I_H \sqrt{\gamma_{max}} \cdot$$

де  $I_2$  – амплітудне значення струму вторинної обмотки трансформатора, А. У нашому випадку  $I_2 = 14,34 \text{ A}$  при незначній пульсації струму через дросель фільтра.

Тоді

$$I_{1.e\phi} = 14,34 \cdot \sqrt{0,45} = 9,62 \text{ A}, \quad (4.54)$$

$$I_{2.e\phi} = 40 \cdot \sqrt{0,45} = 26,83 \text{ A}.$$

Тепер ми можемо знайти габаритну потужність трансформатора:

$$P_{заб} = \frac{U_{1.эф}I_{1.эф} + U_{2.эф}I_{2.эф}}{2} + P_{втр}, \quad (4.55)$$

де  $P_{втр.} = P_n \cdot k_y$ , Вт,  $k_y$  – коефіцієнт втрат на живлення схеми (зірка-зірка) з урахуванням її споживання  $P_{втр.}$

Прийmemo  $k_y = 0,02$ , тоді можна визначити додаткову потужність у трансформаторі:

$$P_{втр} = 15000 \cdot 0,02 = 300 \text{ Вт}, \quad (4.56)$$

$$P_{заб} = \frac{203,46 \cdot 9,62 + 568,41 \cdot 26,83}{2} + 300 = 8904 \text{ Вт}.$$

Розрахуємо параметр, що характеризує електромагнітну потужність трансформатора –  $S_{см} \times S_{\epsilon}$  (в см<sup>4</sup>). Це похідна площі активного поперечного перерізу магнітопроводу трансформатора  $S_{см}$  (в см<sup>2</sup>) на площу «вікна» осердя  $S_{\epsilon}$  (в см<sup>2</sup>), яке заповнене обмотками трансформатора:

$$S_{см} \cdot S_{\epsilon} \geq \frac{P_{заб}}{10 \Delta B j \eta_{мп} k_c k_M f}, \quad (4.57)$$

де  $\Delta B$  – діапазон зміни магнітної індукції в осерді трансформатора за час робочого імпульсу  $t_i$  (Тл). Прийmemo  $\Delta B = 0,4 \text{ Тл}$  згідно табл. 4.6;

$f$  – частота роботи, кГц;

$j$  – щільність струму в обмотках трансформатора, вибирається в залежності від вихідної потужності (табл. 4.7), приймаємо  $j = 4 \text{ А/мм}^2$ ;

$\eta_{мп}$  – коефіцієнт корисної дії трансформатора на цьому етапі, приймаємо  $\eta_{мп} = 0,97$  – для  $P_n > 50 \text{ Вт}$ ,

$k_c$  – коефіцієнт, що враховує ефективне заповнення площі поперечного перерізу осердя магнітопроводу феромагнетиком; для фериту  $k_c = 1$ ,

$k_M$  – коефіцієнт, що враховує ступінь заповнення «вікна» осердя міддю обмоток, приймаємо  $k_M = 0,15$  – при  $P_n > 50 \text{ Вт}$ :

Таблиця 4.6 - Діапазон зміни магнітної індукції в осерді трансформатора для двотактного силового вузла

Марка фериту	Діапазон $\Delta B$ , Тл
	$P_n \geq 11 \text{ Вт}$
M2000HM1-A M2000HM1-B M2000HM1-17	0,2
M300HM1-A	0,28
M6000HM1	0,4

Тоді

$$S_{cm} \cdot S_g \geq \frac{8904}{10 \cdot 0,4 \cdot 4 \cdot 0,97 \cdot 1 \cdot 0,25 \cdot 10} = 229,48 \text{ см}^4. \quad (4.58)$$

Таблиця 4.7 - Щільність струму в обмотках трансформатора

$P_n$ , Вт	<10	10...20	21...50	51...100	101...200	>200
$J$ , А/мм <sup>2</sup>	10	8...6	6...5	5...4,5	4,5...4	4...3

За цим параметром обираємо за довідниковими даними найближче осердя із ряду магнітопроводів [15] – ПЛ 20×40×100:  $S_{ct} \times S_b = 227,2 \text{ см}^4$  (рис. 4.2).

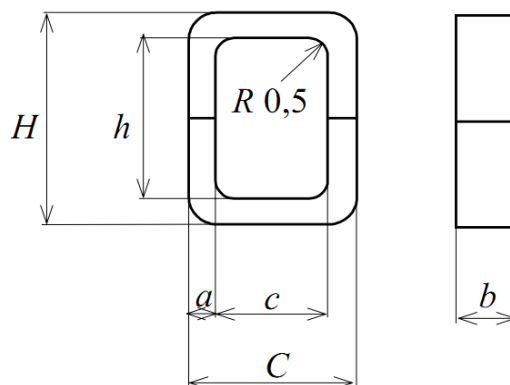


Рисунок 4.2 - Стрічковий магнітопровід:  $a = 20 \text{ мм}$ ;  $h = 40 \text{ мм}$ ;  $c = 32 \text{ мм}$ ;  $C = 72 \text{ мм}$ ;  $H = 140 \text{ мм}$ ;  $b = 100 \text{ мм}$ ;  $S_{cm} = 7,1 \text{ см}^2$ ;  $l_{cp} = 32,7 \text{ см}$ ;  $G_{cm} = 1,77 \text{ кг}$

Максимальна тривалість імпульсу напруги (в мкс) на обмотках трансформатора визначається за формулою:

$$t_{max_{i.max}} \quad (4.59)$$

де  $T$  – період імпульсів, с.

$$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{10 \cdot 10^3} = 0,1 \text{ мс.} \quad (4.60)$$

Тоді

Максимальна тривалість імпульсу напруги дорівнює

$$t_{i.max} \quad (4.61)$$

Визначаємо число витків первинної  $W_1$  та вторинної  $W_2$  обмоток силового трансформатора:

$$W_1 = \frac{t_{i.max} U_{1m.min}}{\Delta B S_{\bar{n}\bar{o}}}, \quad (4.62)$$

$$W_2 = K_{mp} W_1.$$

Підставивши чисельні дані й округливши результат до цілого числа, одержимо:

$$W_1 = \frac{0,45 \cdot 303,3 \cdot 10^{-4}}{0,4 \cdot 7,1 \cdot 10^{-4}} = 48 \text{ витків,} \quad (4.63)$$

$$W_2 = 2,79 \cdot 48 = 134 \text{ витки.}$$

Діаметри міді проводів (в мм) для первинної та вторинної обмоток обчислюємо таким чином:

$$D_{1M} = D_{2M} = 1,13 \sqrt{\frac{I_{1.ef}}{j NN_1}}, \quad (4.64)$$

де  $I_{1.ef}$  – ефективний струм, А,

$$j – \text{щільність струму в обмотках трансформатора, } j = 4 \left[ \frac{A}{\text{мм}^2} \right],$$

$NN_1$  – число паралельних проводів в первинній та вторинній обмотках трансформатора, для двотактного:  $NN_1 = 3$ .

Тоді одержимо

$$D_{1M} = D_{2M} = 1,13 \sqrt{\frac{9,62}{4 \cdot 3}} = 1,01 \text{ мм.} \quad (4.65)$$

Із довідкових даних для обмотувальних проводів вибираємо провід, найближчий за значенням діаметра. Там же знаходимо площі поперечного перерізу обраних проводів (в мм<sup>2</sup>) з урахуванням ізоляції  $S_{1iz}$  і  $S_{2iz}$  відповідно для первинної та вторинної обмоток. Обираємо провід ПЕВ-2 з  $D_{1.eф} = D_{2.eф} = 1,08 \text{ мм}$ .

Площа проводу з ізоляцією:  $S_{1iz} = 1,11 \text{ мм}^2$ . Опір постійному струму  $\rho_1 = 0,0191 \text{ Ом/м}$ .

Сумарна площа поперечного перерізу (в см<sup>2</sup>), яка займає вікно осердя первинною і вторинною обмотками:

$$S_{\Sigma} = (S_{1\Sigma} + S_{2\Sigma}) / 100, \quad (4.66)$$

де  $S_{1\Sigma} = S_{1iz} W_1 N N_1$  – площа поперечного перерізу, що зайнята первинною обмоткою, мм<sup>2</sup>;

$S_{2\Sigma} = S_{2iz} W_2 N N_2$  – площа поперечного перерізу, що зайнята вторинною обмоткою, мм<sup>2</sup>.

$$\begin{aligned} S_{1\Sigma} &= 1,11 \cdot 48 \cdot 3 = 159,84 \text{ мм}^2, \\ S_{2\Sigma} &= 1,11 \cdot 134 \cdot 3 = 442,2 \text{ мм}^2 \end{aligned} \quad (4.67)$$

Тоді

$$S_{\Sigma} = (159,84 + 442,2) / 100 = 6,02 \text{ см}^2. \quad (4.68)$$

На основі попередніх даних визначимо коефіцієнт заповнення вікна осердя обмотками:

$$k_{\epsilon} = \frac{S_{\Sigma}}{S_{\epsilon}}, \quad (4.69)$$

де  $S_{\epsilon}$  – площа перерізу вікна вибраного нами осердя трансформатора.

$$\text{Тоді} \quad k_{\epsilon} = \frac{6,02}{32} = 0,19. \quad (4.70)$$

Визначаємо довжину проводу, необхідного для намотування первинної і вторинної обмоток:

$$\begin{aligned} l_{1н} &= l_{cp.в1} \cdot W_1/100, \\ l_{2н} &= l_{cp.в2} \cdot W_2/100. \end{aligned} \quad (4.71)$$

де  $l_{cp.в}$  – середня довжина витка при намотуванні, яка визначається за виразом:

$$l_{cp.в1} = 2(a + b + D_{1.эф}), \quad (4.72)$$

де  $a, b$  – розміри магнітопроводу, мм,

$D_{1эф}$  – діаметр міді проводів, мм.

Тоді

$$l_{cp.в1} = 2 \cdot (20 + 40 + 1,08) = 122,16 \text{ мм.} \quad (4.73)$$

$$l_{1н} = \frac{122,16 \cdot 48}{100} = 58,6 \text{ см,} \quad (4.74)$$

$$l_{2н} = \frac{122,16 \cdot 134}{100} = 163,7 \text{ см.}$$

Обчислюємо активний опір постійному струму (Ом) первинної та вторинної обмоток:

$$R_1 = \frac{\rho_1 l_{1н}}{NN_1}, \quad (4.75)$$

$$R_2 = \frac{\rho_2 l_{2н}}{NN_2},$$

де  $\rho_1, \rho_2$  – опір одного метра намотувального проводу даного перерізу,  $\rho_1 = \rho_2 = 0,0191 \text{ Ом/м.}$

Підставивши чисельні дані, одержимо:

$$\begin{aligned} R_1 &= \frac{0,0191 \cdot 0,586}{3} = 0,0037 \text{ Ом,} \\ R_2 &= \frac{0,0191 \cdot 1,637}{3} = 0,01 \text{ Ом.} \end{aligned} \quad (4.76)$$

Розрахуємо повний опір обмоток з урахуванням ефекту витіснення струму на високій частоті (поверхневого ефекту). Як відомо, із зростанням частоти перетворення збільшується опір мідного провідника.



Формула розрахунку опору мідного провідника круглого перетину на високій частоті має вигляд:

$$R_n = k_f \cdot r_o, \quad (4.77)$$

де  $R_n$  – повний опір провідника з урахуванням поверхневого ефекту, Ом,  
 $r_o$  – опір провідника постійного струму, Ом,  
 $k_f$  – коефіцієнт поправки на вплив високої частоти.

Таким чином, повертаючись до виразу повного опору на високій частоті в позначеннях розглянутої методики розрахунку трансформатора, будемо мати:

$$\begin{aligned} R_{1n} &= k_f R_1, \\ R_{2n} &= k_f R_2. \end{aligned} \quad (4.78)$$

де  $R_{1n}$  і  $R_{2n}$  – повні опору первинної та вторинної обмоток трансформатора на високій частоті, Ом;

$k_f$  – значення коефіцієнта, взяте з табл. 4.8;

$R_1$  і  $R_2$  – опори обмоток постійному струму.

Таблиця 4.8 - Коефіцієнт поправки  $k_f$  для струму високої частоти

Частота f, кГц	20	50	75	100	150	200	250	300	400	500
$k_f$ при $D_M > 0,8$ мм	1,014	1,065	1,24	1,3	1,41	1,6	1,76	1,9	2,16	2,37

У нашому випадку при діаметрі дроту  $1,08$  мм і частоті  $20$  кГц  $k_f = 1,014$ .  
 Знайдені значення опорів обмоток трансформатора будуть використані нижче, для визначення втрат потужності в трансформаторі.

$$R_{1n} = 1,014 \cdot 0,0037 = 0,00375 \text{ Ом}, \quad (4.79)$$

$$R_{2n} = 1,014 \cdot 0,01 = 0,0101 \text{ Ом}.$$

**Розрахунок втрат у високочастотному трансформаторі та його ККД.**

Визначаємо втрати потужності (у ватах) в міді первинної і вторинної обмоток трансформатора:

$$P_{1M} = I_{1.e\phi}^2 R_{1n}, \quad (4.80)$$

$$P_{2M} = I_{2.e\phi}^2 R_{2n}.$$

Підставивши чисельні дані, одержимо:

$$P_{1M} = 9,62^2 \cdot 0,00375 = 0,347 \text{ Вт},$$

$$P_{2M} = 26,83^2 \cdot 0,0101 = 7,27 \text{ Вт}.$$

Обчислюємо сумарні втрати в міді в обох обмотках трансформатора з урахуванням зміни опору при збільшенні температури за формулою:

$$P_M = (P_{1M} + P_{2M}) \cdot (1 + 0,004 \cdot (T_{\text{дон}} - T_0)), \quad (4.81)$$

де  $T_{\text{дон}}$  – максимальна допустима температура матеріалу осердя ( $T_{\text{дон}} = 100 \div 1200 \text{ }^\circ\text{C}$ ),  $T_0 = 15 \text{ }^\circ\text{C}$ .

$$\text{Тоді } P_M = (0,347 + 7,27) \cdot (1 + 0,004 \cdot (100 - 15)) = 10,2 \text{ Вт}.$$

Розраховуємо за виразом, приведеним нижче, питомі втрати в магнітопроводі в залежності від частоти і індукції:

$$P_{\text{nut}} = P_1 f^\alpha \Delta B^\beta (1 + kT), \quad (4.82)$$

де  $P_1$ ,  $k$  – коефіцієнти, значення яких наведені в таблиці 2.10,

$T$  – температура осердя трансформатора, на цьому етапі приймемо  $T = 100 \text{ }^\circ\text{C}$ , із табл. 4.9 знаходимо  $P_1 = 11 \text{ Вт/кг}$ ,  $\alpha = 1,35$ ,  $\beta = 2,69$ ,  $k = 0,008 \text{ (}^\circ\text{C)}^{-1}$ .

Підставивши ці чисельні дані, одержимо наступне значення питомих втрат у магнітопроводі:

$$P_{\text{nut}} = 11 \cdot 10^{1,35} \cdot 0,4^{2,69} \cdot (1 + 0,008 \cdot 100) = 37,7 \text{ Вт/кг}.$$

Таблиця 4.9 - Коефіцієнти для розрахунку питомої потужності

Коефіцієнт	Значення коефіцієнта при частоті, кГц							
	0,4÷100	100÷1000	0,4÷100	100÷1000	0,4÷100	100÷1000	0,4÷100	100÷1000
	Марки феритів							
	M2000HM-1A M2000HM-1Б		M2000HM1-17		M3000HH-A		M6000HM-1	
$P_1$ Вт/кг	32±7	13±3	63±10	25±4	48±8		11±2	38±0,8
$\alpha$	1,2	1,4	1,2	1,4	1,2		1,35	1,6
$\beta$	2,4		2,85		2,76		2,69	2,6
$k$ (°C) <sup>-1</sup>	0,004		0,004		0,008		0,008	

Знайдемо втрати в осерді трансформатора на його перемагнічування, нехтуючи втратами на вихрові струми:

$$P_{cm} = \frac{P_{num} m_{mp.o}}{1000}, \quad (4.83)$$

де  $m_{mp.o}$  – маса осердя трансформатора в грамах.

Тоді 
$$P_{cm} = \frac{37,7 \cdot 1770}{1000} = 66,73 \text{ Вт.}$$

Тепер можемо визначити сумарні втрати потужності в трансформаторі:

$$P_{\Sigma} = P_M + P_{cm}. \quad (4.84)$$

$$P_{\Sigma} = 10,2 + 66,73 = 76,93 \text{ Вт.}$$

Відповідно до знайдених сумарних втрат, ККД трансформатора одержимо з виразу:

$$\eta_{mp} = \frac{U_{2.e\phi} I_{2.e\phi} 100}{U_{2.e\phi} I_{2.e\phi} + P_{\Sigma}}, \quad (4.85)$$

$$\eta_{mp} = \frac{568,41 \cdot 26,83}{568,41 \cdot 26,83 + 76,93} \cdot 100 = 99,5 \text{ \%}.$$

#### 4.6 Розрахунок інвертора

Знаючи деякі параметри інвертора, а саме: вхідну напругу  $U_{ex} = 30 \text{ В}$ , ККД  $\eta_{inv} = 0,7$ , а також розрахункову споживану потужність,  $P_{inv} = 0,643 \text{ кВт}$ , а отже сумарну енергію, споживану будівлею за тиждень  $W_{тижд} = 90,015 \text{ кВт} \cdot \text{год}/\text{т}$ , ми можемо визначити необхідну кількість постійного струму для живлення інвертора, що надалі нам дозволить визначити необхідні параметри для вибору якості і кількості фотоелектричних модулів сонячних батарей, акумуляторних батарей та імпульсного стабілізатора напруги. Визначимо необхідне навантаження постійного струму на тиждень для живлення інвертора:

$$W_{p.m} = \frac{W_{тижд}}{\eta_{inv}}, \quad (4.86)$$

де  $W_m$  – сумарна енергія, споживана будівлею на тиждень, кВт·год. Вона дорівнює сумі енергії, споживаної електроприладами і освітленням;

$\eta_{inv}$  – ККД інвертора, приймаємо  $\eta_{inv} = 0,8$ .

$$W_{p.m} = \frac{90,015}{0,8} = 112,51 \text{ кВт} \cdot \text{год}/\text{тиждень}.$$

Визначимо кількість постійного струму на тиждень, для живлення інвертора:

$$I_m = \frac{W_{p.m}}{U_{ex}}, \quad (4.87)$$

де  $U_{ex}$  – вхідна напруга інвертора, В.

$$I_m = \frac{112,51}{30} = 3,75 \text{ кА} \cdot \text{год}/\text{тиждень}.$$

Визначимо необхідну кількість постійного струму в день (за добу), для живлення інвертора:

$$I_{\text{дн}} = \frac{I_m}{n}, \quad (4.88)$$

де  $n$  – кількість робочих днів, в які відбувається найбільше споживання, приймаємо 5 днів.

$$I_{\text{дн}} = \frac{3750}{5} = 750 \text{ A} \cdot \text{год/тиждень}.$$

При виборі інвертора для нашої системи слід керуватися такими принципами: простота і надійність конструкції, простота в експлуатації, невисока вартість поряд з такими характеристиками, як висока точність підтримки частоти і значення вихідної напруги, висока перевантажувальна здатність, синусоїдальна форма вихідної напруги. При всьому цьому потрібна однофазна вихідна напруга і необхідна потужність інвертора, для забезпечення загального навантаження на інвертор в 0,643 кВт. Оскільки ми розробляємо автономну гібридну (вітросонячну) систему електропостачання інвертор потрібно взяти із запасом потужності, враховуючи розрахунок вітроустановки. Тому перевагу надаємо інвертору *Santec NC-1200-S* типу OFF–GRID (для використання з акумуляторними батареями без підключення до мережі).

Номінальна напруга інвертора: 30 В;

Номінальна потужність: 1,2 кВт;

Пікова потужність: 2,4 кВт;

ККД при номінальному навантаженні: 87%;

Розміри: 310×150×70 мм.

Вихідні характеристики:

- вихідна напруга інвертора: 220В ± 15%;
- тип хвилі: чиста синусоїда, відхилення;
- частота: 50Гц ± 2%.

Інверторний силовий блок перетворює постійний струм в однофазний змінний синусоїдальний струм з постійною амплітудою і стабільною частотою. Вихідна напруга не залежить від спотворень або перебоїв в мережі.

До складу інвертора входить байпас (функція, що дозволяє виконати комутацію вхідного сигналу безпосередньо на вихід, минаючи всі функціональні блоки). У разі перебоїв або зникнення мережі сонячна або акумуляторна батарея, підключена до входу постійного струму, підключається миттєво, без перерви в живленні споживача. Якщо досягається рівень низького розряду

батареї, інвертор автоматично вимикається, своєчасно видаючи попередження про відключення. Автоматичне перемикавання навантаження на байпас або будь-який інший доступний ввід відбувається в разі виходу інвертора за рамки встановленого діапазону.

Статичний байпас складається з напівпровідникового ключа в колі байпаса. У разі допустимого відхилення вихідної напруги від встановленого значення він автоматично і безперервно перемикає навантаження на мережу. Модуль статичного байпаса задіє безперервний статичний ключ для перемикавання мережі в заданому діапазоні. Ключ може бути приведений в дію як вручну, так і автоматично – контролером. Мікропроцесорний моніторинг автономний, і запобігає збоям в роботі модуля і будь-яким нелогічним перемиканням статичного байпаса.

Статичний байпас має перевантажувальну здатність 150% на 10 хв, і 1000% на 100 мс. Якщо відбулося перевантаження або коротке замикання, байпас автоматично переводить навантаження на інвертор, в разі якщо він працює в нормальному режимі. Статичний байпас складається з антипаралельного тиристорного блоку з мікропроцесорним керуванням. Перемикавання з інвертора на мережу і назад здійснюється в синхронізованому режимі без розриву кола.

## 5.1 Вибір давача швидкості вітру

Давач швидкості вітру необхідний для передачі сигналу про поточне значення цього параметра до регулятора збудження. Регулятор аналізує цей і інші сигнали та видає сигнал на блок керування збудженням для підтримки струму збудження, а отже – і моменту навантаження на такому рівні, за якого встановлюється оптимальна швидкість обертання вітроколеса, що приводить до максимального відбору потужності [16].

При виборі давача швидкості вітру враховують діапазон вимірюваних швидкостей, ціну й масо-габаритні показники. Проаналізувавши доступні на сьогодні на ринку давачі, можна віддати перевагу давачу марки ДВ-160. Крім швидкості він вимірює також і напрямок вітру.

Отримання даних з давача відбувається по інтерфейсу RS-485. Вбудований мікропроцесор проводить обробку даних і накопичує їх у пам'яті. По інтерфейсу можна зробити запит як на поточні параметри вітрового потоку, так і на накопичені в пам'яті осереднені дані.

ДВ-160 має наступні параметри:

- діапазон швидкостей – 0,2... 60 м/с;
- дискретність вимірювання швидкості – 0,1 м/с;
- габаритні розміри (без кабеля) – 330x195x130 мм;
- маса – 0,3 кг;
- діаметр турбінки – 130 мм;
- крок турбінки – 160 мм;
- напруга живлення – 5-18 В;
- споживаний струм у режимі очікування – 1,2 мА;
- споживаний струм у режимі вимірювання – 12 А;
- час вимірювання – 0,1-1 с;
- крок вимірювання (налаштовується) – 2-120 с;
- тип інтерфейса – RS485, 9600 біт/с.

## 5.2 Вибір щитка освітлення і проводів

Щитки будинків призначені для розподілу й обліку електричної енергії, а також для захисту відхідних ліній при перевантаженнях і коротких замиканнях. Вони експлуатуються при температурі навколишнього повітря від +1 до +40 °С, відносній вологості повітря до 80% при температурі 25 °С і при більш низьких температурах без конденсації вологи в навколишньому середовищі, яке не містить газів, рідин і пилу в концентраціях, які можуть викликати порушення роботи щитків. Робоче положення щитка – вертикальне, з допустимим відхиленням не більше 1°.

Щитки освітлення повинні розташовуватися:

- по можливості ближче до центру електричних освітлювальних навантажень;
- у місцях безпечних і зручних для управління і обслуговування (біля входів, виходів, у проходах) таким чином, щоб були відсутні або мали місце мінімальні зворотні потоки електроенергії в електричній мережі від джерела живлення до світильника (це забезпечує мінімальні втрати напруги в освітлювальній мережі).

Виходячи з умов зручності експлуатації і безпеки обираємо щиток типу ЩИМ-УР і встановлюємо його біля входу в будинок.

*Розрахунок поперечного перерізу проводу для лінії живлення  
електроплити і пральної машини*

Розрахунок поперечного перерізу провідників проводять для кожної лінії окремо. У нашому випадку передбачено три лінії: живлення пральної машини і електроплити, групове освітлення та групова розводка на розетки.

Встановлена потужність для першої лінії складається із суми потужностей електроплити й пральної машини та становить  $P_{ум1} = 1425 \text{ Вт}$ .

Тоді розрахункова потужність дорівнює:



$$P_{розр1} = P_{уст1} K_{ППА}, \quad (5.1)$$

де  $K_{ППА}$  – коефіцієнт, який враховує вплив пуско-регулюючої апаратури.

Приймаємо для електромагнітної пуско-регулюючої апаратури  $K_{ППА} = 1,2$ .

Тоді

$$P_{розр1} = 1425 \cdot 1,2 = 1710 \text{ Вт.}$$

Розрахунковий струм дорівнює:

$$I_{розр1} = \frac{P_{розр1}}{U_n \cos(\phi)}, \quad (5.2)$$

де  $\cos(\phi)$  - для даних приладів приймаємо рівним 0,85;

$U_n$  - номінальна напруга мережі, В.

Підставивши чисельні дані, одержимо:

$$I_{розр1} = \frac{1710}{220 \cdot 0,85} = 9,14 \text{ А.}$$

Згідно [17] обираємо найближчий до обчисленого значення струм. Він рівний 14 А. Цьому значенню струму відповідає один трижильний алюмінієвий провідник марки АВРГ з поперечним перерізом жили 2 мм<sup>2</sup>.

*Розрахунок поперечного перерізу проводу для лінії  
живлення групового освітлення*

Встановлена потужність для освітлення відповідно до табл. 4.1, складає  
 $P_{уст2} = 345 \text{ Вт.}$

Тоді розрахункова потужність дорівнює:

$$P_{розр2} = P_{уст2} K_{ППА}, \quad (5.3)$$

де  $K_{ППА}$  – коефіцієнт, який враховує вплив пуско-регулюючої апаратури.

Приймаємо для електромагнітної пуско-регулюючої апаратури  $K_{ППА} = 1,2$ .

Тоді

$$P_{розр2} = 345 \cdot 1,2 = 414 \text{ Вт.}$$

Розрахунковий струм дорівнює:

$$I_{розр2} = \frac{P_{розр2}}{U_n \cos(\phi)}, \quad (5.4)$$

де  $\cos(\phi)$  - для світлодіодних світильників приймаємо рівним 0,85;

$U_n$  - номінальна напруга мережі, В.

Підставивши чисельні дані, одержимо:

$$I_{розр2} = \frac{414}{220 \cdot 0,85} = 2,21 \text{ А.}$$

Згідно [17] при малих значеннях струму рекомендується вибирати провідник з поперечним перерізом не менше 1 мм<sup>2</sup>. Тому обираємо алюмінієвий провідник типу АППВ з поперечним перерізом жили 1 мм<sup>2</sup>.

*Розрахунок поперечного перерізу провода для лінії  
живлення групової розводки розеток*

Встановлену потужність для лінії групової розводки розеток визначимо з табл. 3.1 відніманням суми встановлених потужностей першої і другої ліній від загальної встановленої потужності електроприладів в будинку. Вона складає  $P_{уст3} = 7290 \text{ Вт.}$

Тоді розрахункова потужність дорівнює:

$$P_{розр3} = P_{уст3} K_{ПРА}, \quad (5.5)$$

де  $K_{ПРА}$  – коефіцієнт, який враховує вплив пуско-регулюючої апаратури. Приймаємо для електромагнітної пуско-регулюючої апаратури  $K_{ПРА} = 1,2$ .

Тоді

$$P_{розр3} = 7290 \cdot 1,2 = 8748 \text{ Вт.}$$

Розрахунковий струм дорівнює:

$$I_{розрз} = \frac{P_{розрз}}{U_n \cos(\phi)}, \quad (5.6)$$

де  $\cos(\phi)$  - для даної групи електроприладів приймаємо рівним 0,85;

$U_n$  - номінальна напруга мережі, В.

Підставивши чисельні дані, одержимо:

$$I_{розрз} = \frac{8748}{220 \cdot 0,85} = 46,78 \text{ А.}$$

Згідно [17] обираємо найближчий до обчисленого значення струм. Він рівний 47 А. Цьому значенню струму відповідає алюмінієвий провідник марки АППП з поперечним перерізом жили 10 мм<sup>2</sup>.

### 5.3 Вибір апаратів захисту

Апарати захисту (автоматичні вимикачі і запобіжники) мають [18]:

- відповідати максимальному значенню струму короткого замикання (і забезпечувати надійне відключення одно- і багатофазних мереж);
- бути обраними за розрахунковим струмом мережі (номінальному струму з урахуванням пускового струму електроприймача і напруги мережі);
- відповідати вимогам селективності.

Вимога щодо найменшого часу відключення забезпечується правильним вибором апаратів захисту, їх конструкцією і захисною характеристикою.

Апарати захисту, послідовно ввімкнені в мережу, мають відключати ділянки мережі селективно (вибірково). При великих значеннях струмів короткого замикання можливі неселективні спрацювання захисту.

Для вибору ввідного автомата розрахуємо струм навантаження:

$$I_H = \frac{P_{уст}}{U_n \cos(\phi)}, \quad (5.7)$$

Під встановленою у цьому випадку приймаємо до уваги загальну встановлену потужність в будинку, яка згідно табл. 3.1, становить 9060 Вт.

Тоді

$$I_H = \frac{9060}{220 \cdot 0,85} = 48,44 \text{ A.}$$

Для того, щоб унеможливити хибні спрацювання, номінальний струм теплового розмикача відвідного автомата вибираємо на десять відсотків більшим, тобто:

$$I_{TP} = 1,1I_H. \quad (5.8)$$

Тоді маємо

$$I_{TP} = 1,1 \cdot 48,44 = 53,28 \text{ A.}$$

Використовуючи стандартний ряд струмів теплових розмикачів, обираємо автомат АП-50 на струм 63 А.

Крім того, передбачимо захист на лінію живлення пральної машини і електроплити, а також групової розводки на розетки.

Для лінії живлення пральної машини і електроплити струм навантаження відвідного автомата дорівнює:

$$I_{H1} = \frac{P_{H1}}{U_n \cos(\phi)}. \quad (5.9)$$

Підставивши чисельні дані, одержимо:

$$I_{H1} = \frac{1425}{220 \cdot 0,85} = 7,62 \text{ A.}$$

Для того, щоб унеможливити хибні спрацювання, номінальний струм теплового розмикача відвідного автомата вибираємо на десять відсотків більшим, тобто:

$$I_{TP1} = 1,1I_{H1}. \quad (5.10)$$

Тоді маємо

$$I_{TP1} = 1,1 \cdot 7,62 = 8,38 \text{ A.}$$

Використовуючи стандартний ряд струмів теплових розмикачів, обираємо автомат АП-50 на струм 10 А.

Для лінії живлення групової розводки на розетки струм навантаження відвідного автомата дорівнює:

$$I_{H2} = \frac{P_{H2}}{U_n \cos(\phi)}. \quad (5.11)$$

Підставивши чисельні дані, одержимо:

$$I_{розрз} = \frac{7290}{220 \cdot 0,85} = 38,98 \text{ А.}$$

Для того, щоб унеможливити хибні спрацювання, номінальний струм теплового розмикача відвідного автомата вибираємо на десять відсотків більшим, тобто:

$$I_{ТР2} = 1,1 I_{H2}. \quad (5.12)$$

Тоді маємо

$$I_{ТР1} = 1,1 \cdot 38,98 = 42,88 \text{ А.}$$

Використовуючи стандартний ряд струмів теплових розмикачів обираємо автомат АП-50 на струм 50 А.

#### **5.4 Вибір автоматичного введення резерву**

Автоматичне введення резерву (АВР) призначене для забезпечення резервним живленням навантажень, підключених до системи електропостачання, що має не менше двох ввідів живлення. Головною його задачею є підвищення надійності системи електропостачання. Воно автоматично підключає до навантаження резервні джерела живлення.

Вибір АВР здійснюється за струмом навантаження, який у нашому випадку дорівнює 48,44 А. Тоді обираємо АВР 50А ЩАГУ 1/1-D50/1К.

Щит автоматики має наступні режими роботи: автоматичний, тестовий і вимкнений.

В автоматичному режимі забезпечується автоматичний пуск електрогенератора і перемикання живлення навантаження на електрогенератор при зникненні мережі або її відхилення від заданого діапазону напруги.

АВР контролює роботу електрогенератора з забезпеченням аварійного захисту з відключенням контактора генератора при несправності двигуна, бракові масла, нестабільній частоті обертання і т.д.

Крім того, АВР забезпечує автоматичне перемикання живлення навантаження на мережу при відновленні величини напруги мережі і зупинку електрогенератора, компенсацію саморозряду акумуляторної батареї від зарядного пристрою.

У тестовому режимі забезпечується запуск електрогенератора без підключення до навантаження для перевірки працездатності агрегату (при виборі режиму тестування і зникненні вхідної мережі відбудеться автоматичне підключення електрогенератора до навантаження).

У вимкненому режимі є можливість моніторити напругу мережі, частоту мережі, заряд акумулятора.

## 6 ОБҐРУНТУВАННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ

### 6.1 Капітальні витрати на систему автономного електропостачання

*Визначення витрат на обладнання.* Одноразові капітальні витрати на обладнання для створення системи автономного електропостачання сільського будинку будуть складатись з вартості основного та додаткового обладнання. Перелік основного обладнання, яке треба закупити для створення системи, наведено в табл. 6.1.

Таблиця 6.1 - Основне обладнання, яке необхідно закупити для створення системи автономного електропостачання

Найменування	Кількість, шт	Ціна, грн
Вітрогенератор E1,5	1	22370
Сонячний модуль ES(M) 240	18	118320
Акумуляторна батарея DJM 12200	18	129600
Інвертор Santec NC-1200-S	1	3700
Двигун постійного струму RE8	1	2000
<b>Всього:</b>	39	<b>275990</b>

Як видно з таблиці, витрати на основне обладнання складуть 275990 гривень. Вартість допоміжного обладнання не перевищує 10% від вартості основного, тому її розрахуємо за формулою:

$$Z_{\text{дод}} = 0,1Z_{\text{осн}}. \quad (6.1)$$

Підставивши чисельні дані, одержимо:

$$Z_{\text{дод}} = 0,1 \cdot 275990 = 27599 \text{ грн.}$$

*Розрахунок заробітної плати з нарахуваннями.* Для створення системи автономного електропостачання необхідно виконати роботи з її монтажу, налагодження та пуску.

Дані роботи буде проводити один працівник КВПіА п'ятого розряду протягом чотирьох днів.

Витрати на заробітну плату з нарахуваннями визначимо за формулою:

$$Z_{ЗПС} = K_{НВ} \cdot \lambda \cdot t \cdot \sum_{i=1}^m C_{ti} \cdot (1 + H), \quad (6.2)$$

де  $K_{НВ}$  – коефіцієнт, який враховує накладні витрати на заробітну плату,

$K_{НВ} = 1,3$ ,  $\lambda$  – коефіцієнт, який враховує премії,  $\lambda = 1,25$ ,

$t$  – час виконання робіт,  $t = 32$  год,

$C_{ti}$  – годинна тарифна ставка для працівників  $i$ -розряду,  $C_{ti} = 14,87$  грн для працівників п'ятого розряду,

$H$  – норма нарахування на заробітну плату,  $H = 0,362$ ,

$m$  – кількість робітників,  $m = 1$  чол.

Тоді заробітна плата з нарахуваннями дорівнює:

$$Z_{ЗПС} = 1,3 \cdot 1,25 \cdot 32 \cdot 14,87 \cdot (1 + 0,362) = 1053,15 \text{ грн.}$$

*Визначення загальної суми витрат.* Витрати на створення системи автономного електропостачання визначимо як суму витрат на придбання обладнання та витрат на заробітну плату з нарахуваннями робітників, які проводять монтаж, наладку та пуск системи:

$$Z_c = Z_{ОСН} + Z_{ДОД} + Z_{ЗПМ}. \quad (6.3)$$

Тоді

$$Z_c = 275990 + 27599 + 1053,15 = 304642,15 \text{ грн.}$$

## 6.2 Розрахунок витрат на автономне електропостачання

Річні поточні витрати можуть бути визначені за співвідношенням:

$$П_з = Z_{ТР}, \quad (6.4)$$

де  $Z_{ТР}$  – витрати на технічне обслуговування і ремонт, грн.



Витрати на технічне обслуговування і ремонт визначаємо за формулою:

$$Z_{TR} = 0,08(Z_{ОСН} + Z_{ДОД}). \quad (6.5)$$

Підставивши чисельні дані, одержимо

$$Z_{TR} = 0,08 \cdot (275990 + 27599) = 24287,12 \text{ грн.}$$

Тоді річні поточні витрати, згідно формули (4.4), складуть:

$$П_3 = 24287,12 \text{ грн.}$$

### 6.3 Розрахунок собівартості електроенергії від автономної системи електропостачання

Собівартість енергії визначається відношенням поточних витрат до кількості виробленої енергії:

$$C = \frac{П_3}{W}, \quad (6.6)$$

де  $W$  – річне вироблення електроенергії, кВт·год.

Річне вироблення електроенергії обчислимо як суму електроенергії, яку виробляє вітроустановка і геліоустановка:

$$W = W_{BEY} + W_{CY}. \quad (6.7)$$

Річне вироблення електроенергії вітроустановкою знайдемо за формулою:

$$W_{BEY} = 12W_{BEY(MIC)}, \quad (6.8)$$

де  $W_{BEY(MIC)}$  – усереднене значення вироблення електроенергії вітроустановкою за один місяць, кВт·год. Згідно формули (4.34)

$$W_{BEY(MIC)} = 74,38 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

Річне вироблення електроенергії вітроустановкою дорівнює:

$$W_{BEY} = 12 \cdot 74,38 = 892,56 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

Річне вироблення електроенергії геліоустановкою знайдемо за формулою:

$$W_{CY} = S \cdot W_{ПИТ}, \quad (6.9)$$

де  $S$  – сумарна площа, яку займають сонячні панелі,  $\text{м}^2$ ;

$W_{ПИТ}$  – кількість виробленої електроенергії за рік, що припадає на один квадратний метр сонячної панелі,  $\text{кВт} \cdot \text{год} / \text{м}^2$ .

Сумарна площа сонячних панелей, розрахована за формулою (4.16), складає  $30,6 \text{ м}^2$ . Значення річної кількості електроенергії, яка припадає на один метр квадратний сонячної панелі визначаємо по спеціальних картах, наведених у [19]. Для умов Тернопільської області й оптимального кута нахилу сонячної панелі, який у нашому випадку забезпечується використанням САК електроприводом повороту,  $W_{ПИТ} = 1300 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{м}^2$ .

Тоді річне вироблення електроенергії геліоустановкою складе:

$$W_{CY} = 30,6 \cdot 1300 = 39780 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

Річне вироблення електроенергії вітросонячним комплексом, згідно (6.8), складе:

$$W = 892,56 + 39780 = 40672,56 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

Тоді собівартість електроенергії, виробленої системою автономного електропостачання, згідно (6.6):

	$C = \frac{24287,12}{40672,56} = 0,59 \text{ грн.}$	
--	---	--

#### 6.4 Розрахунок економічної ефективності від функціонування системи автономного електропостачання

Використання вітросонячного комплексу автономного електропостачання дозволяє виробити за рік 40672,56 кВт·год “безкоштовної” електроенергії. Тоді річний економічний ефект складе:

$$E = WC. \quad (6.10)$$

Підставивши чисельні дані, одержимо:

$$E = 40672,56 \cdot 0,59 = 23996,81 \text{ грн.}$$

Термін окупності витрат визначаємо за формулою:

$$T = \frac{3C}{E}. \quad (6.11)$$

Тоді

$$T = \frac{304642,15}{23996,81} = 12,69 \text{ роки.}$$

Зведена таблиця основних економічних показників наведена у табл. 6.2.

Таблиця 6.2 – Основні економічні показники автономної системи електропостачання

<i>№</i>	<i>Найменування показника</i>	<i>Одиниця виміру</i>	<i>Величина показника</i>
<i>1</i>	<i>Вартість основного обладнання</i>	<i>грн</i>	<i>275990</i>
<i>2</i>	<i>Вартість допоміжного обладнання</i>	<i>грн</i>	<i>27599</i>
<i>3</i>	<i>Заробітна плата з нарахуваннями</i>	<i>грн</i>	<i>1053,15</i>
<i>4</i>	<i>Річні поточні витрати</i>	<i>грн</i>	<i>24287,12</i>
<i>5</i>	<i>Сабвартість електроенергії</i>	<i>грн</i>	<i>0,59</i>
<i>6</i>	<i>Річний економічний ефект</i>	<i>грн</i>	<i>23996,81</i>
<i>7</i>	<i>Термін окупності витрат</i>	<i>років</i>	<i>12,69</i>

### **7.1 Аналіз шкідливих і небезпечних факторів, які можуть виникнути при монтажі й експлуатації вітросонячного комплексу**

Сонячні колектори дуже швидко прогріваються, а головний тепловідвідний колектор здатен нагріватися до дуже високих температур (до 160 °С). Тому при роботі з колектором треба бути дуже уважним, щоб уникнути опіків шкіри.

Крім сонячних колекторів до складу комплексу входить вітроенергетична установка Е 1,5 (1,5 кВ), яка, в свою чергу, є джерелом двох видів шумів: механічного (удари, коливання окремих деталей та обладнання в цілому) і аеродинамічного (шум газів або повітря). У результаті цього у людини в процесі праці можуть виникнути різні психічні порушення, серцево-судинні, шлунково-кишкові та шкірні.

Дослідження в області шуму показали, що шум є загальнобіологічним подразником, впливаючи не тільки на слух, але, в першу чергу, на структуру головного мозку, викликаючи порушення в різних функціональних системах організму.

Оскільки монтаж і вітроустановки, і сонячних колекторів пов'язаний з роботами, які виконуються на висоті, то існує ризик травмування робітників внаслідок падіння з даху або з конструкцій, які допомагають на цю висоту дістатися.

Вітросонячний комплекс постійно знаходиться під напругою, тому є імовірність ураження людини електричним струмом як під час монтажу, так і під час експлуатації системи.

### **7.2 Розрахунок струму при однополюсному і двохополюсному дотику до струмопровідних частин вітросонячного комплексу**

Проведемо розрахунок величини струму, що пройде крізь тіло людини при однополюсному і двохополюсному дотику до струмоведучих частин вітросонячного комплексу. Розглянемо трифазну мережу з глухозаземленою нейтраллю. При однополюсному дотику можливі два варіанти: людина торкається до

нульового провідника і людина торкається до фазного провідника (однофазний дотик). Розглянемо перший варіант.

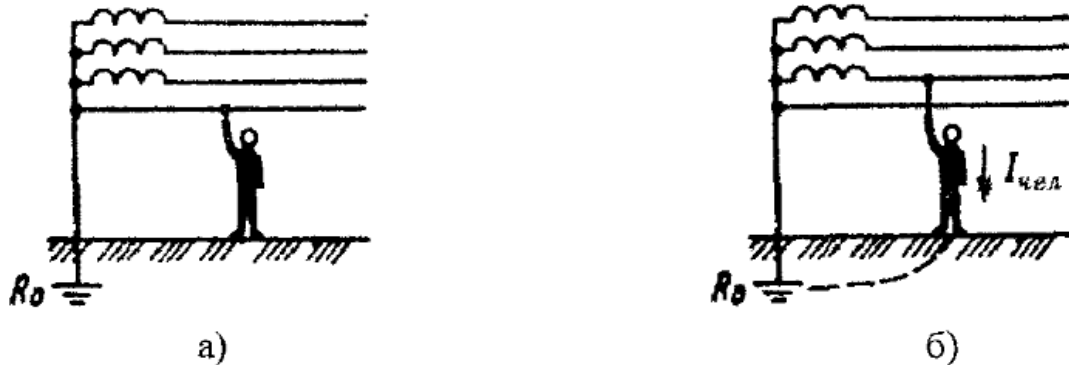


Рисунок 7.1 - Однополюсний дотик до мережі з глухозаземленою нейтраллю

Як видно з рис. 7.1, у даному випадку струм крізь тіло людини не проходить і такий дотик є безпечним для людини. Тепер розглянемо другий варіант (рис. 5.1 б). У цьому випадку струм, що проходить через тіло людини, визначається як:

$$I_{\text{люд}} = \frac{U_{\phi}}{R_0 + R_{\text{П}} + R_{\text{В}} + R_{\text{ЛЮД}}}, \quad (7.1)$$

де  $U_{\phi}$  – фазна напруга,

$R_0$  – опір заземлення нейтралі (приймаємо  $R_0 = 4 \text{ Ом}$ ),

$R_{\text{П}}$  – опір підлоги,

$R_{\text{В}}$  – опір взуття,

$R_{\text{ЛЮД}}$  – опір тіла людини (приймаємо  $R_{\text{ЛЮД}} = 1,5 \text{ кОм}$ ).

Опір підлоги для сухого асфальтного покриття визначаємо з [22]. Він дорівнює  $R_{\text{П}} = 2000 \text{ кОм}$ . Опір взуття вибираємо для взуття зі шкіряною підшовою і сухої підлоги з [22, додаток 90]. Він дорівнює  $R_{\text{В}} = 100 \text{ кОм}$ .

Тоді значення струму дорівнює:

$$I_{\text{люд}} = \frac{220}{4 + 2000 \cdot 10^3 + 100 \cdot 10^3 + 1,5 \cdot 10^3} = 1 \cdot 10^{-4} \text{ А.}$$

Така величина струму є безпечною для організму людини.

Тепер розглянемо двополюсний дотик. При двополюсному дотику також можливі два варіанти, коли людина торкається до нульового провідника і фазного провідника (рис. 7.2 а), і людина торкається до двох фазних провідників (рис. 7.2 б).

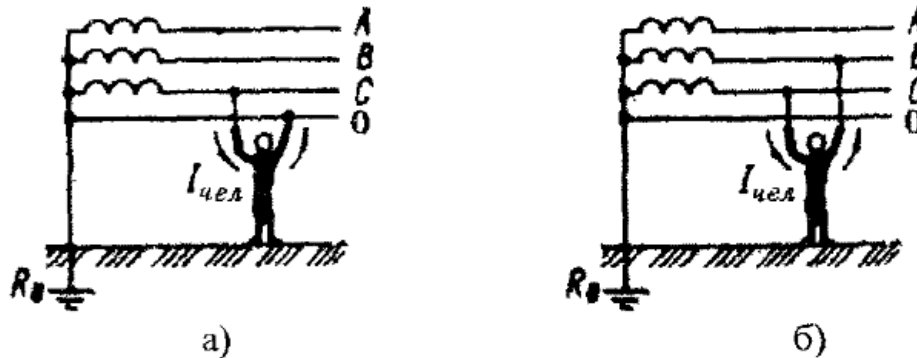


Рисунок 7.2 - Двополюсний дотик до мережі з глухозаземленою нейтраллю

Розглянемо перший варіант. У цьому випадку струм через тіло людини знайдемо за формулою:

$$I_{\text{люд}} = \frac{U_{\text{ф}}}{R_{\text{люд}}}. \quad (7.2)$$

Підставивши чисельні дані, одержимо:

$$I_{\text{люд}} = \frac{220}{1500} = 0,147 \text{ А.}$$

Дане значення струму частотою 50 Гц є смертельним для людини.

Розглянемо другий варіант. У цьому випадку струм, що проходить крізь тіло людини, визначається за формулою:

$$I_{\text{люд}} = \frac{U_{\text{Л}}}{R_{\text{люд}}}. \quad (7.3)$$

де  $U_{\text{Л}}$  – лінійна напруга мережі.

Тоді

$$I_{\text{люд}} = \frac{380}{1500} = 0,253 \text{ А.}$$

Дане значення струму частотою 50 Гц також є смертельним для людини.

### 7.3 Заходи безпеки життєдіяльності для захисту працюючих

Для гарантування безпеки життєдіяльності необхідно керуватися сучасними нормами і правилами, що стосуються монтажу, налагоджування та експлуатації вітросонячного комплексу.

**Монтаж вітросонячного комплексу.** Перед монтажем вітросонячного комплексу потрібно обстежити стан конструкції та покрівлі даху з точки зору додаткового навантаження на ці конструкції. Сонячні колектори можуть бути змонтовані на плоскій та похилих стелажах як елементи фасаду будівлі або на рамах біля будинків. При монтажі потрібно дотримуватися інструкцій щодо виконання висотних робіт. Кожен монтажник повинен мати довідку про завершення перепідготовки в сфері виконання робіт на висоті. При роботі на висоті більше 4 м вимагається допуск до висотних робіт.

Розташування вітрогенератора на місцевості виконується у відповідності з розою вітрів і рельєфом місцевості заданої карти.

Необхідно враховувати, що відстань між вітроустановками повинна бути більшою, ніж 5-10 діаметрів вітрового колеса.

**Правила електробезпеки.** Електричні пристрої, що застосовуються в геліосистемі при монтажі та експлуатації, підпадають під норми та правила безпеки щодо ураження електричним струмом для установок напругою до 1000 В. Правила влаштування електроустановок для установок до 1000 В передбачають наступні правила безпеки:

- застосування безпечної напруги (до 36 В);
- ізолювання струмопровідних частин від прямого дотику (основний захист);
- додаткові заходи безпеки, що забезпечують безпечність від ураження струмом на доступних неструмопровідних частинах обладнання, який з'являється у результаті пошкодження ізоляції струмопровідних частин.



У електричних пристроях з напругою, що перевищує 1000 В, охорона від ураження електричним струмом забезпечується одночасним застосуванням заходів безпеки перед безпосереднім дотиком.

До безпечних джерел живлення можна віднести:

- трансформатори безпеки (захисний трансформатор);
- перетворювачі безпеки;
- батареї акумуляторів;
- електронні пристрої.

До основних заходів безпеки відносяться:

- ізоляція струмопровідних частин електричних пристроїв;
- прикриття струмопровідних деталей та частин захисними корпусами;
- розміщення струмопровідних деталей та частин у важкодоступних місцях;
- застосування дугових комірок в електричних апаратах;
- під час робіт слід користуватися слюсарно-монтажними інструментами з ізольованими рукоятками;
- місця під'єднання струмопровідних проводів ізолювати трубчастою або плитковою ізоляцією;
- між струмопровідними шинами та металевим корпусом передбачається відповідний ізоляційний проміжок;
- захисні чохла, кожухи або перегородки в приміщенні виконуються з матеріалів, що не дозволяють торкання до голих шин або затисків.

До додаткових заходів електробезпеки належать:

- занулення;
- заземлення;
- захисна мережа;
- запобіжники;
- блокування різних джерел живлення;
- ізоляція корпусу та захисна ізоляція.

Згідно правил пристроїв електроустановок (класифікація приміщень за небезпекою ураження електрикою) СЕС відносяться до особливо небезпечних, так як вони поєднують кілька ознак з підвищеною небезпекою. А саме:

- струмопровідні підлоги (земля);
- жаркі приміщення (температура до 35°);
- можливість одночасного дотику людини до металевих корпусів електрообладнання і до з'єднання з землею металоконструкцій.

Відповідно до цього дотримуються наступних правил розміщення електроустаткування:

- кнопки управління встановлюють на робочих місцях;
- проводка відкрита, кабелі, висота підвісу 2,5 м.

Апаратура управління розміщується в шафах, в спеціальному приміщенні – електрощитовій. Доступ до неї має тільки спеціальний персонал (електрики). Пускозахисна апаратура розташовується в технологічному коридорі в шафах управління ШУМ. Корпус ШУМ заземлюється. Також заземленню підлягають корпуси електродвигунів. Основним показником виробничого травматизму є коефіцієнти частоти травматизму (Кч) і коефіцієнт тяжкості травматизму (Кт). Коефіцієнт частоти відображає кількість нещасних випадків на тисячу працюючих. Він визначається формулою:

$$K_{\text{ч}} = 1000 \times N/P,$$

де N – число нещасних випадків, од.;

P – середньорічна чисельність працівників.

Коефіцієнт тяжкості травматизму показує кількість днів непрацездатності, що припадають на один нещасний випадок. Він визначається за формулою:

$$K_{\text{т}} = T/M,$$

де T – втрачено днів, дн.;

M – кількість потерпілих.

Показник втрат – середнє число людино - днів непрацездатності на 1000 працюючих.

**Протипожежна охорона.** При монтажі і експлуатації вітросонячного комплексу необхідно знати і виконувати норми протипожежної охорони. Вітросонячний комплекс має бути оснащений засобами пожежогасіння, а обслуговуючий персонал повинен:

- правильно поводитися у випадку пожежі;
- вміти гасити електроенергетичні пристрої;
- правильно користуватися засобами пожежогасіння;
- знати заходи, які запобігають виникненню пожеж.

**Захист від удару блискавки і вирівнювання потенціалів.** При наявності блискавковідводу необхідно приєднати до нього і вітросонячний комплекс. Крім того, у конструкції потрібно передбачити вирівнювання потенціалів. Воно несе захисну функцію та запобігає електрохімічним процесам руйнування металічних частин вітросонячного комплексу.

**Захист від шуму.** Захист від шуму повинен забезпечуватися розробкою шумобезпечної техніки, застосуванням засобів і методів колективного захисту, в тому числі будівельно-акустичних, застосуванням засобів індивідуального захисту.

У першу чергу слід використовувати засоби колективного захисту. По відношенню до джерела збудження шуму колективні засоби захисту поділяються на засоби, що знижують шум у джерелі його виникнення, і засоби, що знижують шум на шляху його поширення від джерела до об'єкта, що захищається.

Зниження шуму в джерелі здійснюється за рахунок поліпшення конструкції комплексу або зміни технологічного процесу. Засоби, що знижують шум у джерелі його виникнення в залежності від характеру шумоутворення поділяються на засоби, що знижують шум механічного походження, аеродинамічного та гідродинамічного походження, електромагнітного походження.

## 8 ЕКОЛОГІЯ

### 8.1 Вплив сонячних електростанцій на навколишнє середовище

Сонячні електростанції – це електростанції з видобутком електроенергії від постійного джерела енергії – Сонця. Сотні тисяч років Сонце віддавало нам свою енергію, і за підрахунками вчених, ще приблизно мільйон років це буде відбуватись. А тому отримання такої енергії та застосування її в ще одній функції не буде зайвим. Головними позитивними факторами цієї генерації енергетики являються економічна складова, та екологічна. Економічна полягає в тому, що дана енергія безкоштовна та невичерпна, її можна отримувати стабільно та без жодних ризиків. Екологічна, у свою чергу, – це вплив даних електростанцій на навколишнє середовище. Розглянемо, як сонячні батареї впливають на екологію планети.

Питання екології останні 20 років стоїть дуже гостро не лише в нашій країні, але й по всій планеті. Стан нашої Землі щодо екології – катастрофічний. Вчені щороку зменшують і зменшують вік життя нашої планети, тому пропонуються різноманітні виходи поліпшення екологічного становища. Сонячні електростанції – це один саме з цих виходів, адже вона зовсім не вносить забруднень в атмосферу, ґрунт, як наприклад це роблять атомні чи гідро електростанції. В Україні ця проблема почала розглядатись на початку 21 столітті, адже наша територія країни в силу історичних подій брала на себе багато екологічних катастроф. І відновлювати екологію – це необхідна задача і першим етапом цього стане зупинення погіршення ситуації.

Сонячні електростанції позитивно впливають на екологію завдяки таким фактам:

- їх вироблення не потребує залучення екологічно небезпечних речовин;
- експлуатація сонячних панелей атмосферу ніяким чином не зачіпають, тому що енергія генерується за допомогою фізичних процесів без викидів залишок, навпаки, залишки – і є отриманою електроенергією;
- монтування електростанцій не шкодить ґрунту та його поверхні;

- обслуговування сонячних панелей відбувається за допомогою простих та нешкідливих дій, процесів (ремонтів, миття панелей водою);
- високий термін служіння батарей та їх ремонтпридатність позитивно впливає на екологію.

Якщо брати до уваги заміну сонячними електростанціями атомних, то вплив на екологію буде неймовірно високий, адже жодних викидів в атмосферу не відбувається. Газові та аерозольні викиди від атомної електростанції зменшують строк служби нашої планети в декілька разів. І в інших електростанціях, окрім альтернативних, не менше. Такі викиди впливають навіть на життя людей поблизу.

Фахівці Асоціації США по енергетиці в 2018 році опублікували статтю, присвячену саме екологічному впливу сонячних електростанцій. Висновком цієї статті можна з точністю назвати видобуток електроенергії та її експлуатації за допомогою такого способу – екологічно чистим. Є тільки одна проблема - це утилізація обладнання використаних фотоелектронних панелей.

Вироблення сонячних панелей відбувається з чистих матеріалів, що не шкодять екології, а їх робота повністю полягає у генерації сонячної енергії. Технології досягли такого рівня, що при побудові або віднайдені нового способу здобуття енергетики в першу чергу має бути відповідним з екологічними стандартами.

Сонячні електростанції абсолютно екологічно чисті та лише з позитивом впливають на життя людей. Потрібно розуміти, що дане обладнання – це майбутнє, котре наступило в світових державах – лідерах, і Україна має перехоплювати такі тенденції задля здобуття добробуту Землі.

## **8.2 Спосіб вилучення шкідливих речовин при утилізації сонячних модулів**

Переробка сонячних батарей є процесом з відновлення та експлуатації тих матеріалів, з яких вони виготовлені. Під час цього процесу є можливість витягувати метали, які потім вдруге включатимуться до складу нових виробів.

Метою такого процесу є збереження сировини. Переробка подібних виробів сприяє збереженню навколишнього середовища для здорової життєдіяльності людини. Так як свинцево-кадмієві гальванічні елементи (СКЕ) містять в своєму складі свинець та кадмій, які можна за допомогою ресурсозберігаючої й екологічно безпечної технології повернути дані компоненти СКЕ у сферу виробництва з урахуванням їх екологічних стандартів, а також поліпшити екологію довкілля. Дану технологію переробки можна використати і для витягування свинцю і кадмію із сонячних батарей в процесі їх утилізації. Для переробки сонячних модулів пропонується реагентний спосіб, заснований на різній здатності кадмію, свинцю та їх сполук до комплексоутворення, відношення до кислот, лугів і розчинності.

В табл. 8.1 приведено етапи і хімічні процесу переробки сонячних батарей, а на рис. 8.1 - блок-схему утилізації сонячних панелей.

Таблиця 8.1 – Етапи і хімічні процеси переробки СБ

Стадії процесу	Результати
Розчинення кадмію і діоксиду свинцю в сірчаній кислоті	$Cd + H_2SO_4 = CdSO_4 + H_2 \uparrow$ $PbO_2 + H_2SO_4 = PbSO_4 + H_2O + 0,5O_2 \uparrow$
Розділення свинцю і кадмію фільтруванням	осад $PbSO_4$ , розчин $CdSO_4$
Отримання карбонату свинцю	$PbSO_4 \downarrow + Na_2CO_3 = PbCO_3 \downarrow + Na_2SO_4$
Фільтрування розчину з осадом карбонату свинцю	осад $PbCO_3$ , розчин $Na_2SO_4$
Сушка і прожарювання осаду карбонату свинцю	$PbO$ і $CO_2$
Відновлення оксиду свинцю (II) воднем у вільний свинець	$PbO + H_2 = Pb + H_2O$
Осадження сульфату кадмію гідроксидом натрію	осад $Cd(OH)_2$ , розчин $Na_2SO_4$
Фільтрування розчину з осадом гідроксиду кадмію	осад $Cd(OH)_2$
Сушіння і прожарення осаду гідроксиду кадмію	$CdO$ і $H_2O$
Відновлення оксиду кадмію воднем	$Cd$ і $H_2O$
Випаровування, кристалізація і сушка розчину сульфату натрію	натрію кристалічний $Na_2SO_4$ і $H_2O$

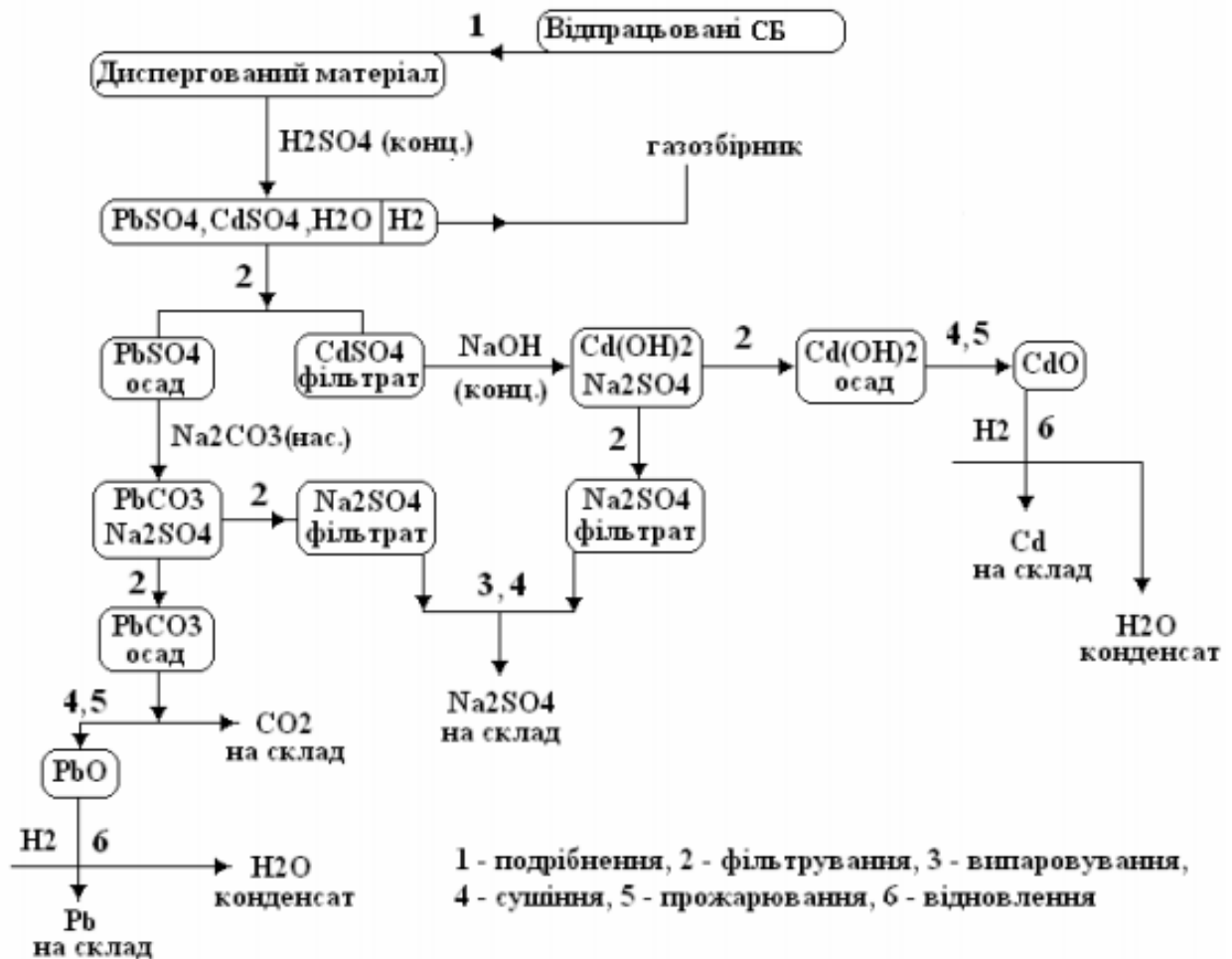


Рисунок 8.1 - Блок-схема утилізації сонячних панелей

На рисунку 8.2 представлена схема хімічних перетворень СКЕ та апаратурно-технологічну схему утилізації відпрацьованих СБ.

Відпрацьовані СБ з бункера 1 потрапляють на вальцову дробарку 2, а подрібнений матеріал – у бункер 3 і далі на конвейєр 4 й завантажувальний бункер 5 із дозатором. У реактор 6, обладнаний механічною мішалкою з електроприводом, потрапляє подрібнений матеріал із бункера 5 і сірчана кислота з ємності 7 через дозатор 8. Кадмій і оксид свинцю (IV) розчиняються у сірчаній кислоті з відновленням свинцю (IV) у свинець (II). Надлишок водню через каплевідбійник 9 і холодильник 10 потрапляє до газозбірника 11. Насос Н подає пульпу з реактора 6 на нутч-фільтр 12, котрий безперервно розділяє пульпу на осад і фільтрат. Осад сульфату свинцю (II) після фільтру 12 подає шнек 13 у реактор 14.

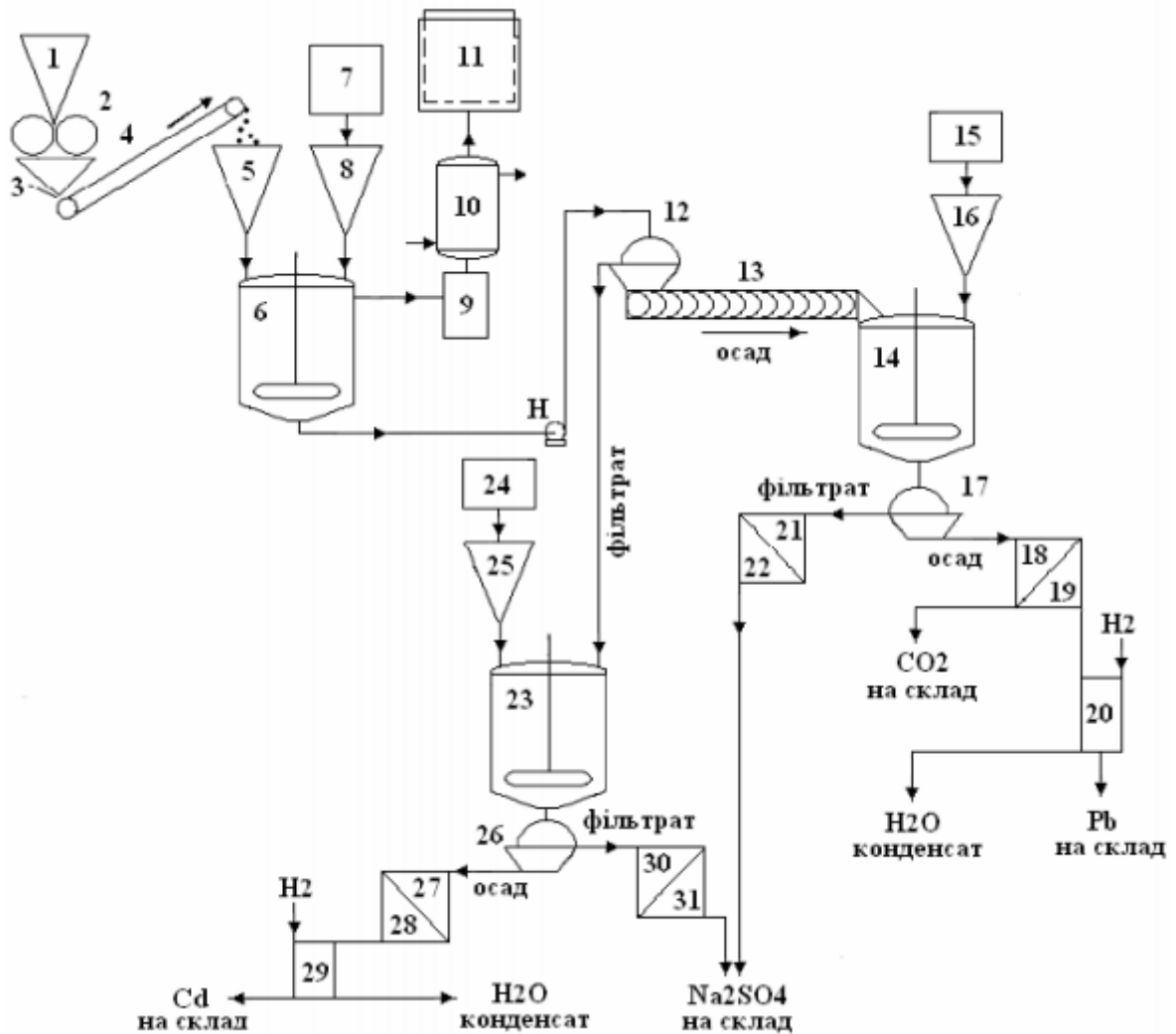


Рисунок 8.2 - Апаратно-технологічна схема переробки відпрацьованих сонячних панелей

Для перетворення сульфату свинцю (II) у карбонат свинцю (II) у реактор потрапляє насичений розчин карбонату натрію з ємності 15 через дозатор 16. Пульпа з реактора 14 потрапляє на нутч-фільтр 17, котрий її безперервно розділяє на осад і фільтрат. Осад карбонату свинцю після фільтру 17 піддається сушінню в сушарці 18 і прожарюванню у термокамері 19 з одержанням оксиду свинцю (IV) й 29 оксиду вуглецю (IV), котрий потрапляє на склад. Оксид свинцю відновлюють у печі 20 до металевого свинцю, що потрапляє на склад, а водяна пара утворює конденсат.

Після фільтру 17 розчин сульфату натрію упарюють у випарці 21 і сушать у сушарці 22, після чого сульфат натрію у вигляді кристалогідрату подають на



склад. Фільтрат 12 (розчин сульфату кадмію) після фільтру подають у реактор 23. Для перетворення сульфату кадмію на гідроксид кадмію у реактор подають концентрований розчин гідроксиду натрію з ємності 24 через дозатор 25, а суміш осаду гідроксиду кадмію і розчину сульфату натрію, що утворилася, поступає на фільтр 26. Фільтрат (розчин сульфату натрію) після фільтру 26 подають у випарку 30 і далі на склад у вигляді кристалогідрату.

Після фільтру 26 осад гідроксиду кадмію подають у сушарку 27 і термокамеру 28 для отримання сухого гідроксиду кадмію, котрий прокалюють і відновлюють у печі 29 до металевого стану і далі відправляють на склад, а водяна пара утворює конденсат. Об'єднані конденсати водяної пари використовують для приготування розчинів реагентів, котрі потрібні технологічному процесу.

### **8.3 Способи захисту навколишнього середовища і персоналу від впливу вітросонячного комплексу**

*Захист від отруйних речовин.* Щоб не допустити потрапляння отруйних речовин, які містяться в сонячних батареях, до атмосфери, необхідно запобігти можливому їх руйнуванню. Для цього обов'язково дотримуються інструкцій і вимог по монтажу і експлуатації, що дозволяє надійно закріплювати сонячні колектори на даху будинку або на спеціально призначених для цього конструкціях. Якщо ж витік отруйних речовин все ж стався і вони потрапили в організм людини, то необхідно діяти таким чином, як викладено нижче.

*Лікування отруєння свинцем.* Лікування сатурнізму: комплексні сполуки, які містять кальцій – вони зв'язують свинець у крові та виводять його з організму. Для виведення свинцю застосовують діатермію печінки. При гострих отруєннях використовуються комплексоутворювачі (тетацин і пентацин).

Профілактичні заходи зменшення викидів свинцю: реабілітація забруднених територій, правильне харчування з достатньою кількістю легкозасвоюваного кальцію, впровадження досягнень очисної техніки на підприємствах.

*Лікування отруєння кадмієм.* Визначати концентрацію кадмію в крові марно, оскільки переважним місцем його накопичення служать нирки. Екскреція кадмію з сечею більше 10 мг/л пов'язана з пошкодженням ниркових канальців, особливо якщо при цьому виявляють підвищений вміст у сечі b2-мікроглобуліну і металотіонеїну. Концентрацію кадмію в нирках можна оцінити, досліджуючи нейтронно-активаційний методом отриманий біоптат. Концентрація кадмію в нирках, що перевищує 200 мг/г сухої маси, пов'язана з ураженням нирок.

До сих пір немає однозначних поглядів на лікування хворих при отруєнні кадмієм. Існуючі комплексоутворюючі зв'язують кадмій, але вони ефективно переносять його в нирки, посилюючи їх пошкодження. При гострому впливі може бути корисно використання етілендіамінтетрацетата щодня в дозі 1 мг/м<sup>2</sup>. Димеркапрол неефективний. Багатообіцяючим препаратом, є димеркаптобурштинова кислота. Хворих з гострим інгаляційним пневмонітом слід лікувати стероїдами і сечогінними засобами.

*Лікування отруєння миш'яком.* У разі гострого отруєння миш'яком необхідно якомога швидше вжити всіх заходів по поліпшення стану потерпілого. Необхідно запобігти подальшому проникненню отрути в організм, вивести ту кількість отруйної речовини, яка не встигла всмоктатися в стінки шлунково-кишкового тракту. Для цього проводять ретельне очищення шлунка за допомогою клізм.

У разі зниження показників артеріального тиску потрібно виконати ін'єкції препаратів кортикостероїдного ряду. Дуже важлива нормалізація водно-електролітного співвідношення. Якщо потерпілий відчуває нестерпний біль, то, як правило, терапія отруєння миш'яком будується на застосуванні унітіолу, який вводиться внутрішньом'язово. При важкому отруєнні може виникнути необхідність переливання крові. При своєчасному лікуванні всі порушення, що відбулися з причини отруєння миш'яком, вдається відновити.

*Захист від шуму.* Для захисту від шуму при проектуванні установки необхідно враховувати допустимі норми рівня звуку. Захисною зоною має бути

обмежена територія близько 500 м від щогли електростанції, однак все залежить від особливостей території поблизу електростанції.

*Уникнення ефекту затінювання.* Ефекту затінювання легко уникнути за рахунок відповідного розташування і “затуляння” ротора деревами, які розсаджують навколо електростанції, зокрема, вони також поглинають значну частину шумів.

Для того, щоб зменшити *імовірність зіткнення птахів з лопатями ротора*, при установці вітросонячного комплексу необхідно ретельно враховувати місця їх гніздування та годівлі.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ДО ДИПЛОМНОЇ РОБОТИ

Метою дипломної роботи була розробка системи автономного електропостачання для житлового будинку на основі альтернативних джерел енергії.

Для досягнення поставленої мети були розв'язані наступні задачі:

1) З метою побудови конфігурації системи автономного електропостачання житлового будинку були проаналізовані існуючі конструкції вітроенергетичних установок та фотоелектричних систем. Визначені їх переваги та недоліки. На основі проведеного аналізу запропоновано комбіновану систему автономного електропостачання житлового будинку на основі вітро- і геліоустановок. Використання гібридної системи дозволило компенсувати недоліки, якими володіє кожна з систем при самостійному використанні.

2) Проаналізовані існуючі джерела світла. Встановлено, що з метою додаткової економії електроенергії доцільно використовувати світлодіодні світильники. Для кожного з приміщень житлового будинку проведений розрахунок освітлення на основі даних джерел світла.

3) Здійснено розрахунок і вибір інвертора, акумуляторних і сонячних батарей, а також вітрогенератора.

4) З метою підвищення енергоефективності сонячних установок розроблено САК механізмом повороту сонячних батарей. Перехідний процес системи характеризується відсутністю перерегулювання та часом регулювання 2 с, що в цілому відповідає вимогам, які пред'являються до таких САК.

За допомогою критеріїв Гурвіца і Найквіста доведено стійкість системи. Запас за амплітудою складає 47,9 Дб, а по фазі – 180°.

5) Здійснено вибір наступної апаратури: давач швидкості вітру, щиток освітлення, проводи, захисні автомати, автоматичне введення резерву.

6) Розраховано економічну ефективність використання автономної системи електропостачання житлового будинку на основі відновлювальних джерел енергії. Річний економічний ефект склав 23996,81 грн, а термін окупності капітальних вкладень – приблизно 12 років.

7) Проаналізовано шкідливі і небезпечні фактори, що можуть виникати при експлуатації вітросонячного комплексу та запропоновані засоби захисту від них, розглянуто потенційні надзвичайні ситуації, що можуть виникати при роботі системи електропостачання та запропоновані способи їх попередження та засоби захисту навколишнього середовища

Враховуючи той факт, що кількості енергії, яка виробляється вітросонячним комплексом, достатньо для забезпечення потреб житлового будинку, мету дипломної роботи можна вважати досягнутою.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Нікульшин В.Р. Використання відновлювальних джерел енергії: навч. посіб. / В.Р. Нікульшин, В.В. Височин. – Одеса: Наука і техніка, 2006. – 244 с.
2. Величко С.А. Енергетика навколишнього середовища України (з електронними картами і графіками): навч.-метод. посібник для магістрантів / С.А. Величко. – Харків: ХНУ ім. В.Н. Каразіна, 2003. – 52 с.
3. Лакутин Б.В. Ветроэлектростанции в автономной энергетике Якутии / Б.В. Лакутин, В.Р. Киушкина. – Томск: Изд-во ТПУ, 2006. – 202 с.
4. Твайдейл Дж. Возобновляемые источники энергии: Пер. с англ. / Дж. Твайдейл, А. Уэйр – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 392 с.
5. Титко Р. Відновлювальні джерела енергії (досвід Польщі для України) / Р. Титко, В. Калініченко. – Варшава – Краків – Полтава: OWG, 2010. – 533 с.
6. Харитонов В.П. Автономные ветроэлектрические установки / В.П. Харитонов. – М.: ГНУ ВИЭСХ, 2006. – 280 с.
7. Сарнацкий Э.В. Использование солнечной энергии для теплоснабжения зданий / Э.В. Сарнацкий, Ю.А. Константиновский, А.И. Заваров. – К.: Будівельник, 1985. – 103 с.
8. Андерсон Б. Солнечная энергия (основы строительного проектирования) / Б. Андерсон. – М.: Стройиздат, 1982. – 375 с.
9. Кудря С.О. Основы конструювання енергоустановок з відновлювальними джерелами енергії / С.О. Кудря, В.М. Головка. – К.: НТУ “КП”, 2009. – 201 с.
10. Виссарионов В.И. Солнечная энергетика: учеб. пособие для вузов / В.И. Виссарионов, Г.В. Дерюгина, В.А. Кузнецова, Н.К. Малинин. – М.: Издательский дом МЭИ, 2008. – 317 с.
11. Шиняков Ю.А. Повышение энергетической эффективности автономных фотоэлектрических энергетических установок / Ю.А. Шиняков, Ю.А. Шурьгин, О.Е. Аркатова // Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. – 2010. – № 2 (22). – Ч. 2. – С. 102-107

12. Андреев В.П. Основы электропривода / В.П. Андреев, Ю.А. Сабинин. – Л.: Госэнергоиздат, 1963. – 772 с.
13. Попович М.Г. Теорія автоматичного керування: Підручник. – 2-ге вид. / М.Г. Попович, О.В. Ковальчук. – К.: Либідь, 2007. – 656 с.
14. Орлов Г.Г. Инженерные решения по охране труда в строительстве (Справочник строителя) / Г.Г. Орлов, В.И. Булыгин, Д.В. Виноградов. – М.: Стройиздат, 1985. – 278 с.
15. Мартынов А.А. Трансформатор для вторичных источников питания: учебное пособие / А.А. Мартынов. – СПб.: СПбГУАП, 2001. – 50 с.
16. Мокін Б.І. Математична модель пристрою керування електричною вітроенергетичною установкою з вертикальною віссю обертання / Б.І. Мокін, О.Б. Мокін, О.А. Жуков // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2010. – № 3. – С. 48-54.
17. Корякин-Черняк С.Л. Справочник домашнего электрика / С.Л. Корякин-Черняк. – СПб.: Наука и Техника, 2009. – 400 с.
18. Пастухова И.В. Выбор аппаратов защиты и сечений проводов (кабелей) электрических сетей / И.В. Пастухова, Л.Г. Насановский // Информационный весник. – 2006. – № 2 (13). – С. 1-5.
19. Сколько электричества можно получить с одной солнечной батареи? [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://solareview.blogspot.com/2011/03/blog-post\\_23.html](http://solareview.blogspot.com/2011/03/blog-post_23.html).
20. Сокольский А.К. Возобновляемые источники энергии для индивидуальных домов и небольших поселений / А.К. Сокольский // Энергетическая автономия. – 2006. – № 9 (57). – С. 107-125.
21. Бергельсон В.Н. Электробезопасность в строительстве / В.Н. Бергельсон, Л.И. Бржезицкий. – К.: Будівельник, 1987. – 208 с.
22. Дзюндзюк Б.В. Охорона праці. Збірник задач. Навчальний посібник / Б.В. Дзюндзюк, В.Г. Іванов. – Харків: ХНУРЕ, 2006. – 244 с.

23. Менеджмент організацій: Методичні вказівки до виконання економічної частини дипломних робіт для студентів ІКТА, ІТРЕ / Укл.: Ю.В. Войцеховська, Н.П. Любомудрова, - Львів: Вид. Львівської політехніки, 2010. – 16с.

24. Євтух П.С., Оробчук Б.Я. Методичні вказівки по підготовці магістрів виконанню кваліфікаційної роботи магістра для студентів спеціальності 8.090603 – "Електротехнічні системи електроспоживання", напрям – 8.050701 «Електротехніка та електротехнології». Тернопіль, ТДТУ, 2007 р., 20 с.



