

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**  
**Інженерно-технологічний факультет**  
**Кафедра енергетики та електротехнічних систем**

До захисту  
Допускається  
Завідувач кафедри енергетики та  
електротехнічних систем

---

доцент Чепіжний А.В.

**ДИПЛОМНА РОБОТА**  
за магістерським рівнем вищої освіти

На тему: «Дослідження особливостей акумулювання  
електричної енергії в енергетичних системах на основі  
відновлювальних джерел енергії для умов Сумської  
області»

Виконав

---

(підпис)

Кучер О.О.  
(прізвище, ініціали)

Група

ЗЕТЕ 2301М

(Науковий) керівник:

---

(підпис)

Чепіжний А.В.  
(прізвище, ініціали)

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**  
**Інженерно-технологічний факультет**  
**Кафедра енергетики та електротехнічних систем**

Ступінь вищої освіти «Магістр»

Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

завідувач кафедри енергетики та  
електротехнічних систем

доцент \_\_\_\_\_ Чепіжний А.В.  
(підпис, вчене звання, прізвище, ініціали)

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 202\_\_ року

**ЗАВДАННЯ**  
**НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ**  
**ЗДОБУВАЧУ ВИЩОЇ ОСВІТИ**

*Кучер Олександр Олександрович*

(прізвище, ім'я та по батькові)

**1. Тема роботи:** Дослідження особливостей акумулювання електричної енергії в енергетичних системах на основі відновлювальних джерел енергії для умов Сумської області

керівник роботи: Чепіжний Андрій Володимирович, к.т.н., доцент

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

затверджено наказом по закладу вищої освіти від «06» 11 2024 р. № 3738/ос

**2. Термін подання здобувачем закінченої роботи** «11» 11 2024 р.

**3. Вихідні дані до роботи** показники роботи акумуляторів, технічні характеристики електроприладів, нормативні документи для проведення досліджень, стандарти, постанови

**4. Зміст пояснювальної записки** (перелік питань, що підлягають розробці):

Вступ.

1 Особливості потенціалу ВДЕ для Сумської області.

2. Особливості забезпечення ефективності роботи ВДЕ.

3 Результати проведених досліджень.

4 Охорона праці.

5 Економічне обґрунтування.

Висновки та пропозиції.

Список використаної літератури.

**5. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу:**

Презентаційний матеріал виконаний в програмі Power Point

## 6. Консультанти розділів роботи:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата

## КАЛЕНДАРНИЙ ГРАФІК

№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітки
1	Аналіз літературних джерел з обраної тематики	до 15.08.2024 р.	
2	Складання плану роботи	до 23.08.2024 р.	
3	Написання вступу	до 26.08.2024 р.	
4	Підготовка розділу «Розділ 1»	до 28.08.2024 р.	
5	Підготовка розділу «Розділ 2»	до 16.09.2024 р.	
6	Підготовка розділу «Розділ 3»	до 14.10.2024 р.	
7	Підготовка розділу «Розділ 4»	до 21.10.2024 р.	
8	Написання висновків та пропозицій	до 28.10.2024 р.	
9	Подання роботи на перевірку унікальності до експертної ради факультету	до 01.11.2024 р.	
10	Подання роботи на рецензування	до 05.11.2024 р.	
11	Подання до попереднього захисту	до 12.11.2024 р.	

**Здобувач вищої освіти**

\_\_\_\_\_

(підпис)

**(Кучер О.О.)**

(прізвище, ініціали)

**(Науковий) керівник  
дипломної роботи**

\_\_\_\_\_

(підпис)

**(Чепіжний А.В.)**

(прізвище, ініціали)

## РЕФЕРАТ

Дослідження особливостей акумулювання електричної енергії в енергетичних системах на основі відновлювальних джерел енергії для умов Сумської області. Магістерська робота / Кучер Олександр Олександрович – Суми: СНАУ, 2024 р. – 50 с.

В роботі виконано аналіз загального потенціалу відновлювальних джерел енергії для умов Сумської області. Проведено аналіз основних типів автономних станцій, що побудовані на даному типі джерел енергії.

Виконано аналіз особливостей акумуляторів, що використовуються в різних енергетичних системах, в тому числі і відновлювальних. При цьому проведено аналіз використання сонячних панелей та вітроустановок для загального заряджання акумуляторів.

Наведено пропозиції по збільшенню ефективності роботи сонячних електростанцій та вітроустановок для покращення роботи акумуляторних батарей.

Виконано аналіз основних заходів з охорони праці та наведено економічне обґрунтування використання відновлювальної енергетики.

**Ключові слова:** енергія вітру, енергія сонця, акумулювання, автономна енергетична система, відновлювані джерела енергії.

**ЗМІСТ**

ВСТУП.....	5
1 ОСОБЛИВОСТІ ПОТЕНЦІАЛУ ВДЕ ДЛЯ СУМСЬКОЇ ОБЛАСТІ.....	7
1.1 Загальний потенціал застосування ВДЕ в Україні.....	7
1.2 Аналіз основних типів автономних систем, що ґрунтуються на основі ВДЕ.....	10
1.3 Аналіз використання акумуляторів в енергосистемах з ВДЕ.....	15
Висновки до розділу.....	17
2. ОСОБЛИВОСТІ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ ВДЕ.....	18
2.1 Аналіз особливостей розрахунку вітроустановок.....	18
2.2 Використання сонячних панелей в енергосистемах з ВДЕ.....	24
Висновок до розділу.....	28
3 РЕЗУЛЬТАТИ ПРОВЕДЕНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	30
3.1 Аналіз основних способів підтримки роботи сонячної панелі в режимі максимальної подачі.....	30
3.2 Результати процесу заряджання акумулятора при зміні параметрів сонячної панелі.....	31
Висновки до розділу.....	32
4 ОХОРОНА ПРАЦІ.....	34
Висновок до розділу.....	36
5 ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ.....	37
Висновок до розділу.....	38
ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ.....	39
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	41

## ВСТУП

*Актуальність теми.* Станом на сьогодні доволі великого розповсюдження набувають різноманітні ВДЕ. при цьому на території України їх розповсюдження за час війни має значні величини. подібне розповсюдження та значна популярність ВДЕ в певній мірі залежить від відключень електроенергії. Виходячи з цього найбільшої популярності набирають різноманітні системи з можливістю акумулювання електроенергії.

Для умов Сумської області основними джерелами ВДЕ можуть бути сонячні електростанції та вітрогенератори. При цьому швидкість вітру на території області є незначною, а також значна лісистість сприяють малій ефективності використання вітрогенераторів.

Іншим питанням є сонячні електростанції. Сумська область доволі гарно забезпечена сонячною радіацією, хоча порівняно з іншими південними областями її мало для високої ефективності роботи загальної системи з значним виробітком електроенергії.

Оскільки використання даних ВДЕ можливе фактично за умови використання систем акумулювання електроенергії то постає питання в якісних показниках роботи всіх елементів. При цьому нерівномірність виробітку електричної енергії від сонячних панелей та вітрогенераторів має поганий вплив на тривалість роботи акумуляторів. Також необхідно зауважити, що не всі електростанції дозволяють повністю виконати заряджання акумуляторів, а отже необхідно враховувати можливість їх розряду.

Врахування всіх цих особливостей при дослідженні акумуляторів, що заряджаються від ВДЕ є необхідним фактором для визначення параметрів їх роботи. Виходячи з цього дослідження особливостей заряджання акумуляторних баратей в умовах нестачі електроенергії та заряджання змінним значенням постійного струму потребує дослідження. А отже дана робота є актуальною та потребує подальшої роботи над необхідними матеріалами.

**Мета та задачі дослідження.** Дослідження особливостей заряджання акумуляторів від найбільш популярних відновлювальних джерел енергії Сумської області.

Для проведення дослідження нами пропонується вирішити наступні задачі:

1. Провести аналіз основних схем відновлювальних джерел енергії та можливість їх використання в умовах Сумської області.
2. Виконати моделювання процесу заряджання акумуляторів в залежності від типу ВДЕ.
3. Визначення основних пристроїв для забезпечення максимального ефекту заряджання акумуляторів
4. Визначити основні показники заряджання акумулятора від сонячних панелей за умови нестабільності постійного струму.

**Об'єктом дослідження** в роботі є особливості заряджання акумуляторних батарей від сонячних електростанцій в умовах Сумської області.

**Предметом дослідження** в роботі є величина виробленого постійного струму від сонячних панелей, що змінюється протягом доби.

**Методи дослідження.** Для проведення дослідження було використано в основному математичне моделювання різноманітних процесів та ймовірнісних параметрів, що мають значний вплив на якість заряджання акумуляторів.

**Практичне значення отриманих результатів** полягає в наданні пояснень для споживачів при виборі різноманітних акумуляторних батарей для ВДЕ в умовах Сумської області.

# 1 ОСОБЛИВОСТІ ПОТЕНЦІАЛУ ВДЕ ДЛЯ СУМСЬКОЇ ОБЛАСТІ

## 1.1 Загальний потенціал застосування ВДЕ в Україні

Доволі серйозної уваги приділено ВДЕ в 1973 році одразу після енергетичного буму, після того, як ціна на нафту була збільшена в чотири рази. В цей період урядом з кількох країн профінансували роботи з дослідів ВДЕ та ввели в розробку енергосистему на їх основі.

В нашій країні розвиток ВДЕ отримав державну підтримку. Найголовнішим серед документів, що сприяють розвитку ВДЕ є програма Державної підтримки розвитку ВДЕ.

Зважаючи на досвід запровадження ВДЕ в Україні, а також досвід світових партнерів, також за даними про ресурс з інших джерел енергії в Україні (табл. 1.1), до запровадженої програми віднесено декілька основних напрямів: вітро- та сонячна енергетика; нетрадиційні види палива; мала гідроенергетика; комбіновані системи, що використовують ВДЕ з акумулюванням.

Таблиця 1.1 – Загальний потенціал ВДЕ для України в цілому

Напрямок програми	Потенціал, млрд. кВтгод/рік					
	Загальний		Технічний		Доцільно-економічний	
	млрд. кВтгод	млн. т у.п.	млрд. кВтгод	млн. т у.п.	млрд. кВтгод	млн. т у.п.
Вітроенергетика	270	97,2	30	10,8	3,8	1,2
Сонячна енергетика	720000	88400	3460	720	5,4	0,9
Геотермальна енергетика	438	50	262,8	30	180	21
Мала гідроенергетика	12,5	4,5	8,3	3	3,7	1,3
Нетрадиційне паливо	165,2	20,3	165,2	20,3	165,2	20,3
Енергія доквілля та скидний енерго-технологічний потенціал	2806,7	421,2	1135	170,4	95,3	14,5
Мала теплоенергетика	300	40,3	215	29	300	40,5
Всього	723992,4	89033,7	5276,3	983,5	754,4	99,7

В кінці 2020 року за результатами реалізації програми заплановано зекономити на енергоресурсах що є традиційних, до 40 млн. тон умовного палива (до 10% споживання що є загальним в Україні), що у еквіваленту

вартості складає 26,3 млрд. гривень. До 2020 р. економія склала 190,55 млн. т у. п. п. (табл. 1.2).

Таблиця 1.2 – Значення економії паливних та енергетичних джерел

Напряв ВДЕ	Економія палива, млн. т у.п		
	2010 рік	2015 рік	2020 рік
Вітроенергетика	0,02	0,78	3,41
Сонячна енергетика	0,05	0,39	1,03
Геотермальна енергетика	0,26	6,5	22,75
Мала гідроенергетика	0,08	4,73	12,08
Нетрадиційне паливо	4,72	25,44	55,34
Енергія доквілля та скидний енерготехнологічний потенціал	0,24	2,74	5,46
Мала теплоенергетика	-	11,85	31,6
Комбіновані енергосистеми на основі НВДЕ та системи акумулювання	0,01	0,11	0,96
Всього	5,38	52,54	132,63

Етапи реалізації програми до 2020 дали шанс не тільки зробити економію енергетичних ресурсів, а також посприяла покращенню екологічної ситуації.

Наша країна має гарний потенціал відновлювання ресурсів енергії. Ресурси вітрової енергії, які надходять на територію України, набагато більші тієї чисельності енергії, яка має генерацію всіма електростанціями нашої країни.

Вітрова енергія має не рівномірний розподіл на території України. У північній частині України на однаковій висоті енергетичний ресурс до 2,5...3 раз менший ніж у південній частині. Зростання енергетичного ресурсу вітру помічається до висоти 60...100 м, а потім його зростання дещо зменшується. Сприятливими регіонами для використання енергії в промисловості у великих обсягах є майже весь Південь, це Одеська, Миколаївська, Херсонська, Кропивницька області, також південний схід Полтавської області, Крим та Карпати. Обсяги виробництва електроенергії за рік з 1 м<sup>2</sup> ділянки вітроколеса в багатообіцяючих районах складають 800-100 кВт/м<sup>2</sup> за рік. Нижче в таблиці 1.3 показано розвиток вітроенергетики в Україні аж до 2030 року

Таблиця 1.3 – Розвиток вітроенергетики в Україні

Рік	Встановлена потужність, МВт	Частка загального енергоспоживання, %
2010	7000	5
2020	51000	8
2030	100000	10

Необхідно зазначити, що в загальному випадку використання вітроенергетики на території Сумської області є доволі проблематичним оскільки кількість вітру на її території доволі низька. При цьому додатково необхідно зауважити, що Сумська область має доволі нерівний рельєф місцевості зі значною лісистістю, що також перешкоджає виникненню великої кількості вітрів.

Наступним доволі гарним ВДЕ є сонячна енергетика. При цьому в загальному випадку Україна належить до місць з середніми величинами по сонячній радіації. Для різних областей України даний показник може значно коливатись. При цьому сонячна радіація, як і енергія вітру найбільшу величину має в південних областях, а в північних областях вона є доволі невеликою з малими значеннями. Так для Сумської області величина потенціалу сонячної енергії наведена в таблиці 1.4.

Таблиця 1.4 – Значення потенціалу сонячної енергетики для Сумської області

Параметр	Загальний	Технічний	Доцільно-економічний
Величина потенціалу, млрд. кВт·год	26000	125	0,2

Слід зазначити, що розвиток сонячної енергетики фактично повністю стримувався різноманітними факторами, що пов'язані з вартісними показниками обладнання сонячних панелей та значною неефективністю вночі. В результаті військової агресії даний напрям отримав друге дихання. Доволі потужно почали розвиватись маленькі сонячні електростанції для приватних будинків, вибудовуватись сонячні електростанції мережевого характеру, що

працюють на продаж електричної енергії. При цьому необхідно зауважити, що вартість зеленого тарифу стала доволі низькою для отримання необхідного прибутку. Але для забезпечення незалежності від електроенергії з мережі даний варіант використання сонячних електростанцій виявився доволі ефективним.

Необхідно також зазначити, що на сьогодні продовжується певне стримування сонячної енергетики оскільки є фактори розвитку даної галузі, що не дозволяють виконати значне підвищення основних її показників роботи та ККД.

В Сумській області інші ВДЕ фактично відсутні та не мають значного впливу на реалізацію забезпечення енергетичною енергією. Виходячи з цього найбільш доцільним є використання вітроенергетики та сонячних електростанцій в якості ВДЕ для нашої області.

## **1.2 Аналіз основних типів автономних систем, що ґрунтуються на основі ВДЕ**

В більшості літературних джерел та при розробці основних систем електропостачання на базі ВДЕ є фактично три типи електростанцій. При цьому вони відрізняються за своїми характеристиками та особливістю роботи. Це такі як, автономні, мережеві електростанції та електростанції гібридного типу.

Для користувачів, у яких відсутнє централізоване енергопостачання, варто побудувати енергосистему автономного типу, на основі ВДЕ. Даний вид системи застосовує потік енергії, що існує у довкіллі, та при наявності системи акумулювання певної кількості енергії, можуть надавати потрібний обсяг енергопостачання на необмежений час.

Таблиця 1.5. – Загальний опис сонячних панелей

Тип ФЕП	Матеріал ФЕП	Площа ФЕП, см <sup>2</sup>	ККД,% AM0,+25° C	Примітки
1	2	3	4	5
Планарні	Si – звичайний	64	14,6	Каскадні
	Si – перспективний	4	20,8	

1	2	3	4	5	
Планарні	GaAs	4	21,8	Каскадні	
	InP	4	19,9		
	GaInP/GaAs/Ge	4	26,9		
	Al/GaAs/GaAs	0,5	23,0		
	Al/GaAs/GaAs/InGaAsP	0,5	25,2		
Концентраторні	Ga/As	0,07	24,6	K=100	Каскадні
	GaInPGaAs	0,25	26,4	K=50	
	GaAs/GaSb	0,05	30,5	K=100	
Тонкоплівочні	Si (аморфний)	0,5	12,0	Лабораторні зразки	
	CuIn/GaAs	-	14,2		
	CdTe	-	12,9		

Зважаючи на вищенаведене, треба визнати правильність того, що енергосистеми на основі ВДЕ повинні співпадати певним вимогам. Вочевидь що:

1. Акумулятивна система має забезпечувати покупців енергією у часи її відсутності, для цього треба визначити її місткість, оперуючись на кліматичні умови довкілля, де енергосистема працюватиме.

2. Під час роботи електроенергії, енергосистема має надавати накопичення енергії в акумуляюючій системі, в тому об'ємі, якого буде достатньо для споживачів навіть за відсутністю енергії.

3. За відсутністю енергопостачання, здійснювати живлення енергії для критично важливих об'єктів з високим пріоритетом.

4. Керування енергетичною системою має бути атоматичне та працювати таким чином, щоб якомога ефективніше використати енергію ВДЕ.

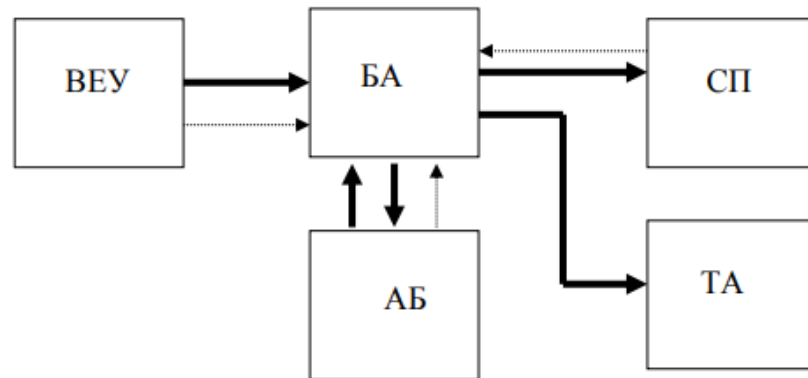
Так для проведення аналізу необхідно також додатково провести основні дані по сонячним фотомодулям. Для прикладу нами було обрано сонячні панелі фірми Siemens та Solarex (табл. 1.6).

Таблиця 1.6 – Порівняльні данні сонячних фотомодулів різних фірм

Тип	Найменування	Вартість 1Вт, євро	Номинальні параметри одного модуля			Ціна одного фотомодуля, євро
			потужність, Вт	Напруга холостого ходу, В	Струм короткого замикання, А	
T20	Siemens, тонкоплівочні	15,65	20,0	16,5	1,2	313
M24	Siemens, монокристалічні	21,80	24,0	16,2	1,5	523
M55	Siemens, монокристалічні	13,33	55,0	17,5	3,0	733
SA2/12	Solarex, тонкоплівочні	48,50	2,0	14,5	0,15	97
VLX32	Solarex, полікристалічні	16,35	32,0	17,0	1,88	523

Наявні різноманітні алгоритми побудови автономних енергосистем на базі ВДЕ. Комплектування енергетичної системи будь-якими джерелами повинна проводитись з аналізу метеорологічних умов. Вивчимо певні основні алгоритми будівництва енергетичної системи в основі якої ВДЕ.

#### 1. Алгоритм на основі вітроустановок (рис. 1.1).



ВЕУ – вітроелектроустановка, БА – блок автоматики, АБ – аккумуляторна батарея, СП – споживач, ТА – тепловий акумулятор

—▶ - потоки енергії,  
 .....▶ - потоки інформації

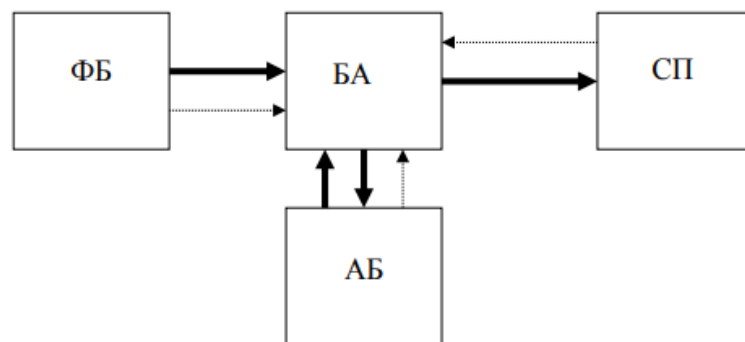
Рисунок 1.1 – Система на базі вітроелектроустановок, що є автономною

Алгоритм роботи системи полягає в наступному: за наявного для електрогенерації вітру ВЕУ утворює електроенергію, яка доходить до блока автоматики (БА). БА робить огляд стану аккумуляторної батареї, проводить

унормовування напруги, що живить користувача та заряджає акумуляторну батарею. Дивлячись на умови праці енергосистеми може бути зроблений режим заряд-розряд, або режим підзаряду на постійній основі. БА захищає АБ від перезаряду та перерозряду. БА вмикає споживача напряму або через інвертор, до акумуляторної батареї. Також відбувається захист від АБ від КЗ в колі споживачів.

Коли користувачу не потребується енергія, але АБ має заряд, то згенерована електроенергія ВЕС перетворюється на теплову та запасється в тепловому акумуляторі (ТА).

## 2. Енергосистема на основі фотобатарей (рис. 1.2).



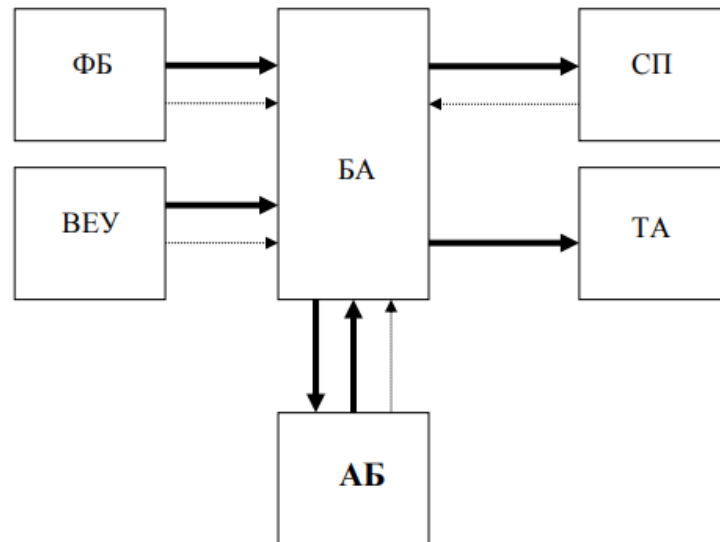
ФБ – фотобатарея, БА – блок автоматики,  
 АБ – акумуляторна батарея, СП – споживач  
 —————> - потоки енергії,  
 .....> - потоки інформації

Рисунок 1.2 – Загальний вигляд енергосистеми з фотобатарейми

Енергетичні системи на основі вітроустановок мають більшу ефективність у місцевості де гарні вітрові умови. При цьому середня швидкість вітру повинна бути більше 4...5 м/с.

В нашій країні такі умови є в Карпатах, в Криму, у південно-східних областях а також на Чорноморському узбережжі. На решті територій більш доцільно використовувати вітроустановки для виробництва механічної роботи. При цьому для умов сумської області вітроустановки не дають потрібного ефекту взагалі. За такої умови необхідно проводити комбінування різноманітних систем ВДЕ.

### 3. Комбінований тип енергетичних систем (рис. 1.3).



ФБ – фотобатарея, АБ – акумуляторна батарея, СП – споживач,

БА – блок автоматики, ТА – тепловий акумулятор,

ВЕУ – вітроелектроустановка

—————> - потоки енергії,

.....> - потоки інформації

Рисунок 1.3 – Енергосистеми комбінованого типу

На наш погляд дані системи є максимально енергоефективними в порівнянні з іншими типами. При цьому виробіток електричної енергії виконується як в нічний час так і в денний. Функціонування системи відбувається наступним чином: БА робить напругу стабільною, яка поступає від ФБ для живлення, та забезпечує віддачу максимальної потужності при заряді БА. Так само як в системі з вітроустановками БА запобігає перезаряду та перерозряду АБ, підтримує роботу АБ постійного підзаряду або заряд-розряд. В такому випадку присутність ТА є не обов'язковою тому що режим холостого ходу ФБ є допустимим.

Як зазначалось вище, системи на основі фотомодулей можуть використовуватись фактично по всій території України в тому числі і Сумської області. При цьому створення великих та потужних СЕС потребує значних коштів та великих площ.

Комбіновані енергосистеми мають певний ряд переваг порівняно з іншими, адже основною перевагою в них є зменшення ємності для

акумуляторних батарей. При цьому ємність вдається зменшити за рахунок несинхронного надходження електроенергії від фотопанелей та від вітроустановки. В результаті відбувається певна компенсація нестабільності в постачанні енергії до батарей.

При цьому принцип її роботи аналогічний попереднім вище описаним енергосистемам, але при цьому узгодження відбувається одразу від двох джерел енергії.

### 1.3 Аналіз використання акумуляторів в енергосистемах з ВДЕ

В основному всі ВДЕ є джерелами, що мають нестаціонарність.

Заміна енергетичного потенціалу такого джерела має випадкову та періодичну складову, які мають залежність від погодних умов, часу, та пори року.

На рисунку 1.4 наведені графіки як змінювалась сонячна енергія, та енергія вітру для Сумського району. На цих графіках помітно, що коли менше надходить сонячна радіація, то вітрова енергія максимальна. З графіків можна помітити що при зменшенні сонячної радіації – вітрова енергія максимальна. З цього робимо висновки, що при проектуванні автономних енергетичних систем потрібно бути зорієнтованим на комплексне використання ВДЕ.

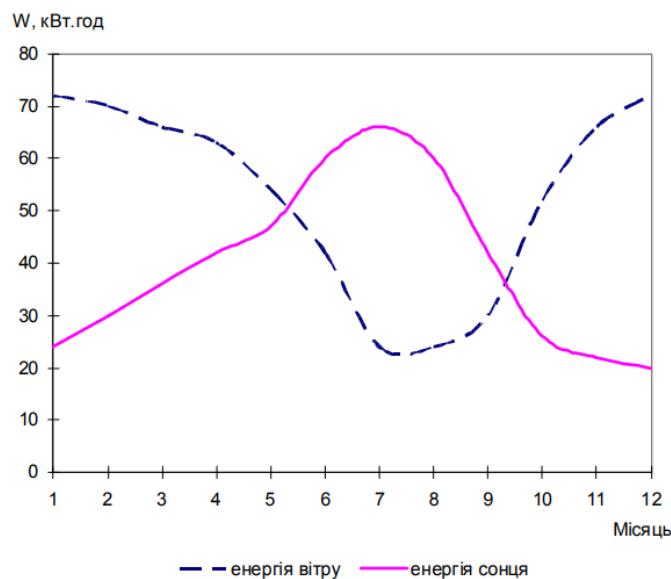


Рисунок 1.4 – Графік зміни енергії сонця та вітру

З рисунку видно, що при використанні фактично комбінованих систем спостерігається певна компенсація та вирівнювання значних перепадів з забезпеченням рівномірності роботи всієї системи. При цьому вони потребують використання акумулюючих пристроїв для своїх конструкцій.

Виходячи з цього промисловість на сьогодні випускає доволі велику кількість різних типів акумуляторних батарей. Необхідно зазначити, що їх різноманіття веде фактично до унеможливлення виконання вибору. При цьому основними показниками їх роботи може бути як дешевизна так і ефективність їх використання в режимах заряду- розряду.

Традиційним та найбільш розповсюдженим типом акумуляторних батарей є свинцево-кислотні. Вони фактично мають доволі невеликий термін служби порівно з іншими типами акумуляторів. При цьому основною їх перевагою є мала величина саморозряду за добу. Виходячи з цього вони мають низьку вартість, а отже в певній мірі використовуються в системах з ВДЕ акумулюванням.

Іншим типом акумуляторів є нікель-цинкові. Вони мають малу величину внутрішнього опору. При цьому фактично даний тип батарей не боїться повного її розряду. Але мінусом є велика трудомісткість при проведенні обслуговування. При цьому дані батареї потребують повного розряджання з послідуочим заряджанням.

Також доволі розповсюдженими є нікель-залізні акумуляторні батареї. Дані акумулятори мають доволі гарний ресурс та не потребують обслуговування. При цьому є значні мінуси даних акумуляторів, що не дають їм широкого розповсюдження. Це такі недоліки як високий саморозряд, низьке використання ємності, високе значення питомого опору та ін.

Іншими акумуляторами подібного типу є залізо-кадмієві акумулятори. Вони мають подібні характеристики з попередніми але потребують значних затрат при їх утилізації, адже мають шкідливі речовини в своєму складі.

Існують і інші типи акумуляторних батарей, основні з них нами розглянуті в порівняльній таблиці 1.7.

Таблиця 1.7 – Порівняння різних типів акумуляторів для ВДЕ

Тип джерела струму	Питома енергія, Вт. год/кг	Питома потужність, Вт/кг	Робоча температура, °С	Кількість заряд-розрядних циклів	Вартість по відношенню до свинцевих
Свинцево-кислотні	35	100	Оточуюче середовище (ОС)	600	1
Герметичні свинцево-кислотні	40	160	ОС	500	2,5
Свинцево-водневі	60	120	ОС	1500	3
Нікель-кадмієві	80	300	ОС	1700	4
Нікель-залізні	50	100	ОС	2000	2000
Нікель-цинкові	70	200	ОС	150	10
Нікель-гідрид металічні	80	170	ОС	1500	-
Цинк-хлорні	60	120	ОС	350	-
Натрій-нікельхлоридні	100	150	300	1000	-
Літій-залізосульфідні	100	180	450	1000	4
Літійалюмінієві	175	-	450	1000	-

На сьогодні, як видно з даних таблиці існує доволі велика кількість різноманітних акумуляторних батарей. При цьому в відновлювальній енергетиці доволі часто застосовуються свинцево-кислотні, а також нікель-залізні акумуляторні батареї. Оскільки вони є доволі розповсюдженими то надалі планується розглядати в дослідженнях саме їх.

### **Висновки до розділу**

Відновлювальна енергетика є доволі гарною перспективою на сьогодні. В результаті обстрілів пошкоджена велика кількість об'єктів традиційної енергетики, а отже використання розосереджених джерел ВДЕ дозволяє забезпечити роботу різноманітних об'єктів. При цьому все ж необхідною умовою є врахування особливостей генерації енергії ними та брати до уваги особливості акумуляторів. На сьогодні є доволі велика кількість акумуляторних батарей, що дозволяють працювати ВДЕ доволі продуктивно. При цьому є певного роду забезпечення акумуляторами в різних цінових та якісних показниках.

## 2. ОСОБЛИВОСТІ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ ВДЕ

### 2.1 Аналіз особливостей розрахунку вітроустановок

На сьогодні доволі великого розповсюдження набувають різноманітні установки на базі ВДЕ в тому числі і вітроелектроустановки. При цьому доволі якісно вони працюють в різного роду автономних системах. Загалом по території України спостерігається певного роду бум по їх використанню. Але серед проблем в Сумській області необхідно все ж таки зауважити, що вони не здатні набувати великого поширення, а мають скоріше одиничний характер використання.

При використанні вітроенергоустановок потрібно враховувати різноманітність швидкісних потоків на різних висотах, а отже потрібною умовою є використання щогл для вітряків, що піднімуть їх на необхідну висоту з стабільним вітром.

Розглянемо коротенько особливості проведення розрахунків вітроустановок. Потужність вітряка можна визначити з рівняння:

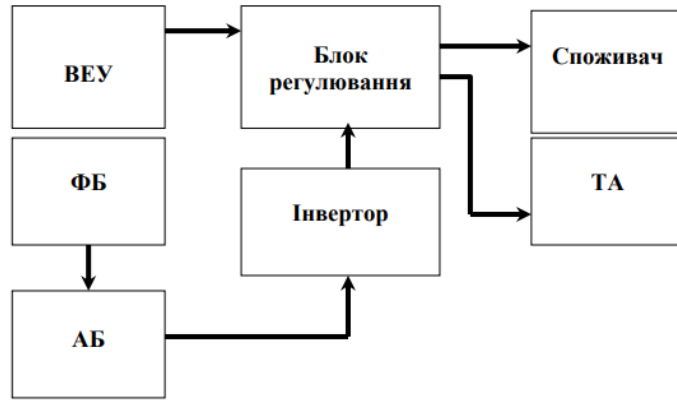
$$P = C_p \cdot \frac{\rho \cdot v^3}{2} \quad (2.1)$$

де  $C_p$  – коефіцієнт, що здатен враховувати потужність вітроустановки;

$\rho$  – величина густини для повітря оточуючого середовища;

$v$  – значення для швидкості вітрових потоків.

Для більш кращого розуміння особливостей будови вітроелектроустановок пропонується розглянути автономну її схему (рис. 2.1)



ФБ – фотобатарея, ТА – тепловий акумулятор, АБ – акумуляторна батарея

Рисунок 2.1 – Система на основі вітроелектроустановки для виробітку змінного струму в мережу

Представлена на рисунку 2.1 схема є фактично автономною схемою живлення електроенергією змінного струму. В загальному випадку дана схема складається з вітроустановки, яка живить споживачів. При цьому живлення споживачів відбувається при наявності необхідного потоку вітру. Для забезпечення постійної підтримки обертання додатково використовують навантаження резистивного типу, що під'єднується паралельно до споживача.

Дане додаткове резистивне навантаження можна замінити з використанням акумуляторів. При цьому струм акумулятора повинен регулюватись за наступним законом:

$$P_a + P_l = P_\omega \quad (2.2)$$

де  $P_l$  – величина потужності надана споживачеві;

$P_a$  – величина потужності, що подається на акумулятор;

$P_\omega$  – потужність, що отримана на валу вітрогенератора.

Для аналізу основних особливостей використання вітроустановок необхідною умовою є побудова графічних залежностей його механічної характеристики (рис. 2.2).

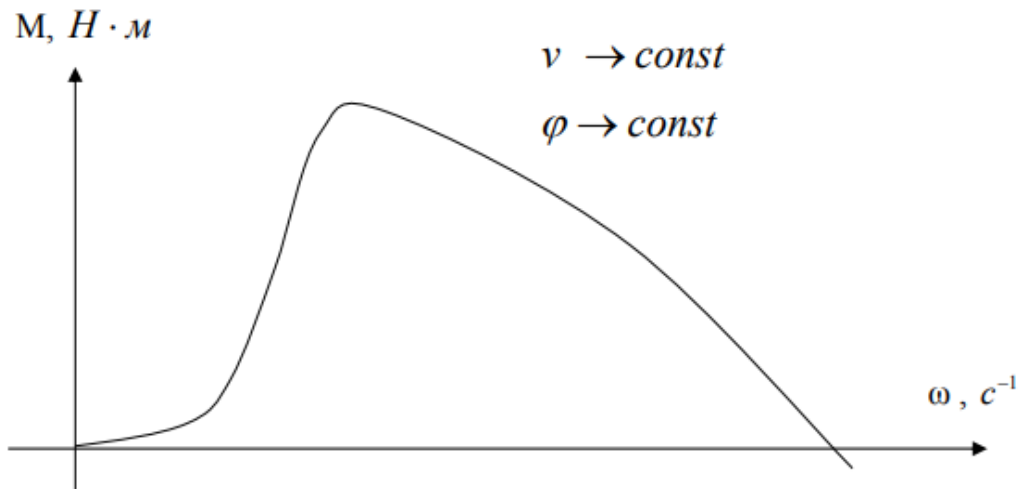


Рисунок 2.2 – Графік механічної характеристики вітрогенератора

Для розрахунку значень механічної характеристики необхідно забезпечити врахування швидкості вітру  $v$  та кута, під яким розміщені лопаті вітряка до загального потоку вітру  $\varphi$ . Дана характеристика була отримана для вітроустановки з шістьма лопатями та загальним діаметром вітроколеса 15,3м.

Даний графік показує, що залежність моменту на валу вітроколеса та частота його обертання змінюються за однаковими законами. Виходячи з цього зміна частоти обертання валу призводить до зміни моменту.

Так для регулювання частоти обертання можна використовувати схему, що розглянута на рисунку 2.3.

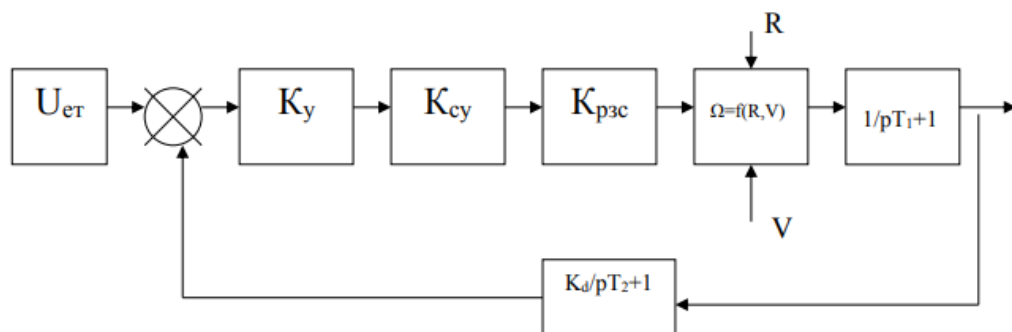


Рисунок 2.3 – Схема для виконання регулювання частоти обертання вітрогенератора

На даному рисунку використовуються наступні позначення:

$U_{ет}$  – напруга, що виникає за умови номінальної частоти обертання;

$K_y$  – коефіцієнт врахування неузгодження по параметру підсилення;

$K_{cy}$  – коефіцієнт врахування передавання системи керування для пристрою виконання заряджання;

$K_{pzc}$  – коефіцієнт врахування зарядного струму;

$\Omega = f(R, V)$  – визначений об'єкт для проведення регулювання;

$\frac{1}{pT_1 + 1}$  – ланка врахування інерційності колеса вітряка, що є певного роду аперіодичною ланкою;

$T_1$  – величина, що є постійною по значенню часу;

$\frac{K_d}{pT_2 + 1}$  – перетворення по параметру частота-напруга, що враховує передаточну характеристику.

Система працює в наступному режимі. При виникненні зміни вітру чи навантаження спостерігається зміна частоти обертання вітряка. В результаті обертання спостерігається зміна напруги на перетворювачі частота-напруга. Результатом виникнення напруги є утворення величини напруги на виході з частотного перетворювача. При цьому полярність в даному випадку спостерігається залежність від знаку по параметру частоти обертання.

Напруга, що підсилюється подається на систему керування РСЗ, де формується сигнал керування. Даний сигнал здійснює керування так, щоб величина приросту потужності виконувала стабілізуючий вплив з подальшою дією на частоту обертання вітряка.

Для опису передаточної функції системи проведення регулювання необхідно скористатись рівнянням:

$$K = \frac{\omega}{U_{er}} = \frac{K_{\Sigma}(p \cdot T_2 + 1)}{(p \cdot T_2 + 1)(p \cdot T_1 + 1) + K_{\Sigma} \cdot K_d} \quad (2.3)$$

де  $K_{\Sigma}$  – коефіцієнти, що враховують особливості передачі;

$T_1$  та  $T_2$  – основні константи часових проміжків для функції перетворення частота-напруга.

При цьому додатково можна розглядати характеристичну функцію для даної системи:

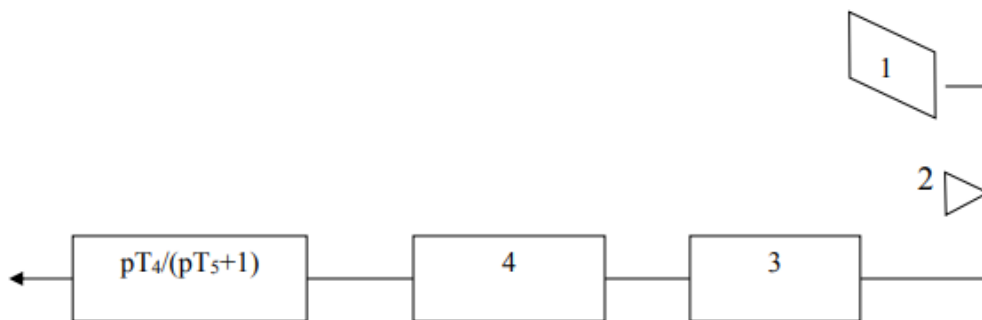
$$a_0 \cdot p^2 + a_1 \cdot p + a_2 = 0 \quad (2.4)$$

де  $a_0 = T_1 \cdot T_2$ ;  $a_1 = T_1 + T_2$ ;  $a_2 = K_{\Sigma} \cdot K_d$ .

Дане характеристичне рівняння використовується для забезпечення необхідних умов стійкості загальної системи вітроелектроустановки. При цьому важливо, щоб загальне рівняння та вся система в результаті застосування характеристичного рівняння мали величину більшу від нуля. Для нашого випадку дана умова виконується в повному обсязі.

Вищенаведена система регулювання частоти обертання вітроколеса є доволі простою схемою та все ж має ряд недоліків. При цьому основним недоліком є певний час перехідних процесів, що спричиняє коливання величини напруги. При цьому дані коливання напруги є фактично небезпечними для споживачів. Такі коливання фактично характеризують в загальному випадку всі системи на базі вітроелектроустановок.

Значний час перехідних процесів викликається в вітряках доволі великою інерційністю системи загалом. Вирішення даної проблеми може полягати в використанні комбінованої системи керування для регулювання частоти обертання. При цьому в дану систему додатково необхідно вводити сигнали, що враховують зміну вітру, а також зміну навантажувального опору. Подібний сигнал можна отримати в результаті вводу сигналу, що може бути знятий з плоскої пластини (рис. 2.4).



1 – пластина; 2 – важіль; 3 – тензодатчик; 4 – ввід в систему

Рисунок 2.4 – Особливості реалізації принципу вводу сигналу врахування швидкості на навантажувального опору з використанням плоскої пластини

Загалом дана система працює наступним чином. При дії потоку вітру на систему вона відхиляється на важелі і передає механічно дію на тензодатчик. Сигнал з тензодатчика поступає далі на пристрій вводу даних в загальну систему. При цьому необхідною умовою є визначення певної пропорційності сигналів для проведення аналізу швидкості вітру та інших параметрів вітрового потоку. В якості подібних датчиків можна використовувати датчик Хола чи навіть трансформатор струму.

В результаті можна отримати більш модифіковану систему для створення стабілізації за величиною частоти обертання вітроколеса. Така схема наведена на рисунку 2.5.

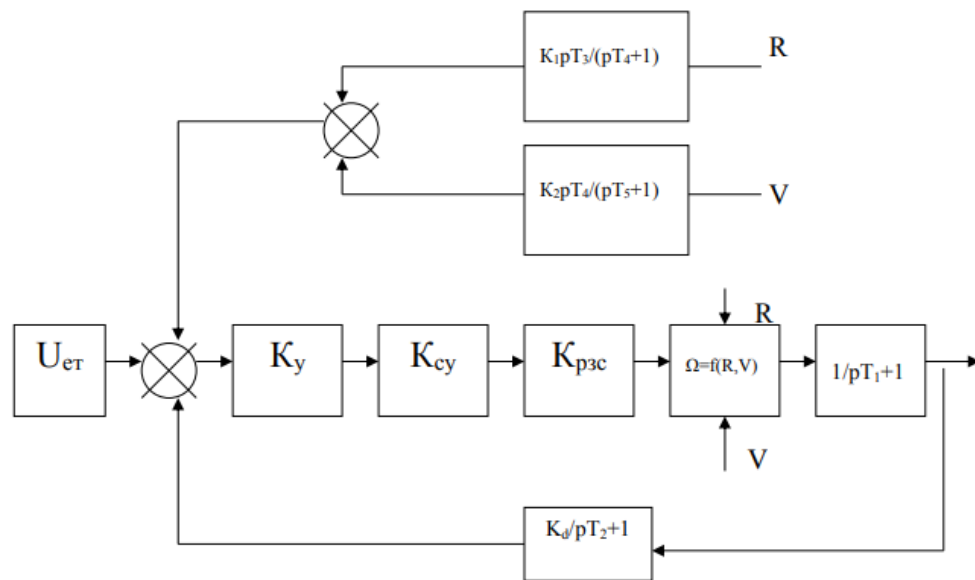


Рисунок 2.5 – Загальна схема регулювання за параметром частоти обертання вітроустановки

Для опису системи автоматизованого регулювання пропонується використовувати наступне рівняння:

$$[Y] = [A] \cdot [X] \quad (2.5)$$

де  $Y$ ,  $X$ ,  $A$  – вектори відповідно вихідних, вхідних параметрів, а також матриця необхідних коефіцієнтів врахування передачі.

Всі ці системи для забезпечення максимального комбінованого керування за всіма можливими параметрами потрібна для узгодження загальної роботи всієї системи та якісного виконання процесу заряджання акумуляторних батарей. При цьому якісне виконання функції заряду-розряду в значній мірі підвищує ефективність роботи акумуляторів та системи в цілому.

## 2.2 Використання сонячних панелей в енергосистемах з ВДЕ

Як зазначалось вище, фотоперетворювачі дозволяють отримувати електроенергію з сонячних променів. Порівняно з вітроустановками на території Сумської області сонячні панелі мають більше розповсюдження.

Для проведення визначення особливостей використання сонячних панелей на території Сумської області необхідною умовою є проведення певних досліджень для побудови ВАХ. При цьому пропонується обрати різну освітленість на рівні 1000 лк та відповідно 700 лк. В результаті можна отримати ВАХ для існуючих типів сонячних панелей (таблиця 2.1).

Таблиця 2.1 – Дані отримані експериментально для побудови ВАХ сонячних панелей при умові різної освітленості

Освітленість 1000 лк								
U, В	15,67	15,28	15,19	15,13	14,58	13,17	7,43	0
I, А	0	0,33	0,43	0,65	1,25	2,15	2,33	2,40
Освітленість 700 лк								
U, В	14,32	13,55	12,94	12,62	10,68	8,3	6,26	0
I, А	0	0,17	0,28	0,36	0,46	0,53	0,65	0,70

Отримані данні можна використовувати в подальшому аналізі залежностей для реалізації використання сонячних панелей в якості пристроїв для заряджання акумуляторів. При цьому дані значення дозволяють виконувати визначення роботи акумуляторів відповідно до двох параметрів, що необхідні для врахування при заряджанні акумуляторів.

Оскільки сонячні панелі в більшій мірі підходять до використання в умовах Сумської області то пропонується розглянути процес виконання заряджання їх саме від сонячних панелей.

Сонячні панелі генерують певну величину електричної потужності, що має періодичну дію. Подібно до вітроустановок в сонячних панелях спостерігається зростання виробітку електроенергії в денний час. При цьому в нічний час енергія від сонячних панелей не поступає до акумуляторів. Виходячи з подібної ситуації в денний період час спостерігається виконання заряджання акумуляторів, а в нічний час – розряджання.

В результаті подібних процесів необхідною умовою є використання більш енергоефективних систем, що можна досягти за рахунок збільшення коефіцієнту, що враховує використання електроенергії. Виходячи з цього більш доцільним є використання підтримки фотомодулів панелі та акумулятора. Все це в кінцевому результаті дозволить значно підвищити ефективність використання загальної системи на сонячних панелях. Для опису подібного процесу необхідною умовою є використання математичної моделі, що здатна виконати подібний опис:

$$U(I) = a_1 I + b_1, (0 < I < I_M) \quad (2.6)$$

$$U(I) = a_2 I + b_2, (I_M < I < I_{SC}) \quad (2.7)$$

При цьому:

$$a_1 = \frac{U_M - U_{OC}}{I_M}, b_1 = U_{OC} \quad (2.8)$$

$$a_2 = \frac{U_M}{I_M - I_{SC}}, b_2 = \frac{U_M \cdot I_{SC}}{I_M - I_{SC}} \quad (2.9)$$

Для опису процесу заряджання акумуляторних батарей можна застосувати рівняння:

$$U(I) = a_3 \int_0^t I dt + a_4 \cdot I + b_3 \quad (2.10)$$

Виходячи з вищенаведеної інформації характеризують системою рівнянь:

$$\left. \begin{aligned} U(I) &= a_1 I + b_1, (0 < I < i_M) \\ U(I) &= a_2 I + b_2, (i_M < I < i_{K3}) \\ U(I) &= a_3 \int_0^t I dt + a_4 \cdot I + b_3 \end{aligned} \right\} \quad (2.11)$$

За припущення початкової точки, що розташована на ВАХ фактично співпадає з точкою, що розміщуються на перетину прямих з апроксимуючими характеристиками, то рівняння, що описує загальну систему сонячні панелі – акумулятор матиме вигляд:

$$a_1 \cdot I + b_1 = a_3 \int_0^t I dt + a_4 I + b_3 \quad (2.12)$$

$$a_1 \cdot I + b_1 = a_3 \int I dt + a_3 Q(0) + a_4 I + b_3 \quad (2.13)$$

де  $Q(0)$  – відповідно значення величини  $\int I dt$  за умови коли  $t = 0$ .

Провівши диференціювання обох частин даного рівняння отримуємо рівняння опису системи, що працює в колі сонячна панель – акумулятор:

$$a_1 \frac{dI}{dt} = a_3 I + a_4 \frac{dI}{dt} \quad (2.14)$$

Виходячи з розв'язання даного рівняння отримаємо вираз:

$$I = I(0) e^{\frac{a_3}{a_1 - a_4} t} \quad (2.15)$$

де  $I(0)$  – певне початкове значення величини струму в колі, що аналізується.

$$I(0) = \frac{a_1}{a_1 - a_4} \cdot \frac{b_2 - b_1}{a_1 - a_2} \approx \frac{b_2 - b_1}{a_1 - a_2} \quad (2.16)$$

Виконавши інтегрування отримуємо зв'язок заряду, що наданий до акумулятора з часом виконання заряду:

$$Q = I(0) \frac{a_1 - a_4}{a_3} \left( e^{\frac{a_3}{a_1 - a_4} t} - 1 \right) \quad (2.17)$$

Використовуючи рівняння (2.17) можна отримати графік даної функції при зарядці від сонячної панелі акумулятора. Так на рисунку 2.6 наведено графік заряджання акумулятора типу НК-14 від сонячної панелі, що працює за умови освітленості 1000 лк. При цьому необхідно зазначити, що заряджання акумулятора відбувається постійним струмом.

Необхідно також зазначити, що під час заряджання акумулятора від сонячної панелі маємо відсутність можливості надати потенціалу акумулятору, що перевищував порогове його значення:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} Q(t) \rightarrow 15,53 \text{А/год} \quad (2.18)$$

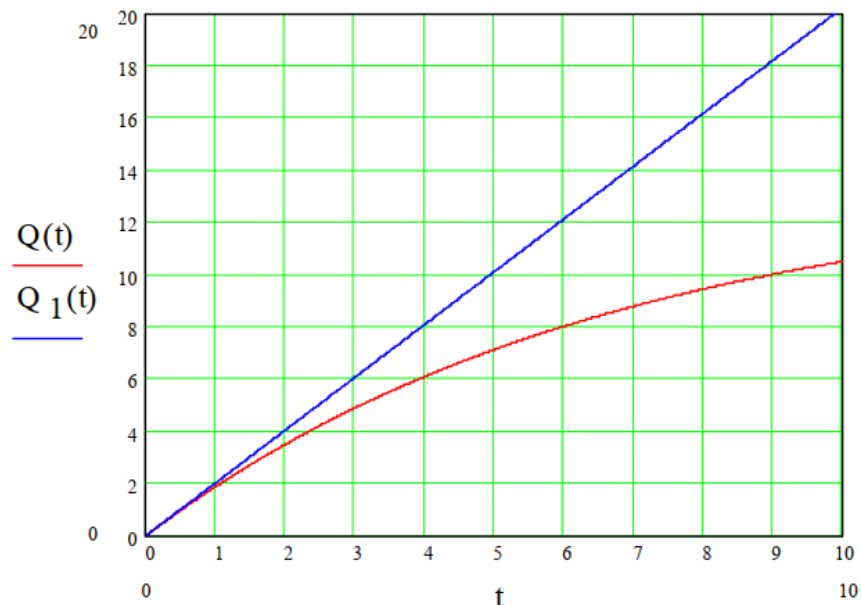


Рисунок 2.6 – Графічний опис процесу заряджання акумулятора від джерела постійного струму та від сонячної панелі

Для більш детального аналізу необхідною умовою є також визначення особливостей залежності струмів заряджання акумулятора від величини часового проміжку. Так на графіку рисунку 2.7 наведено основні залежності струмів при заряджанні акумулятора.

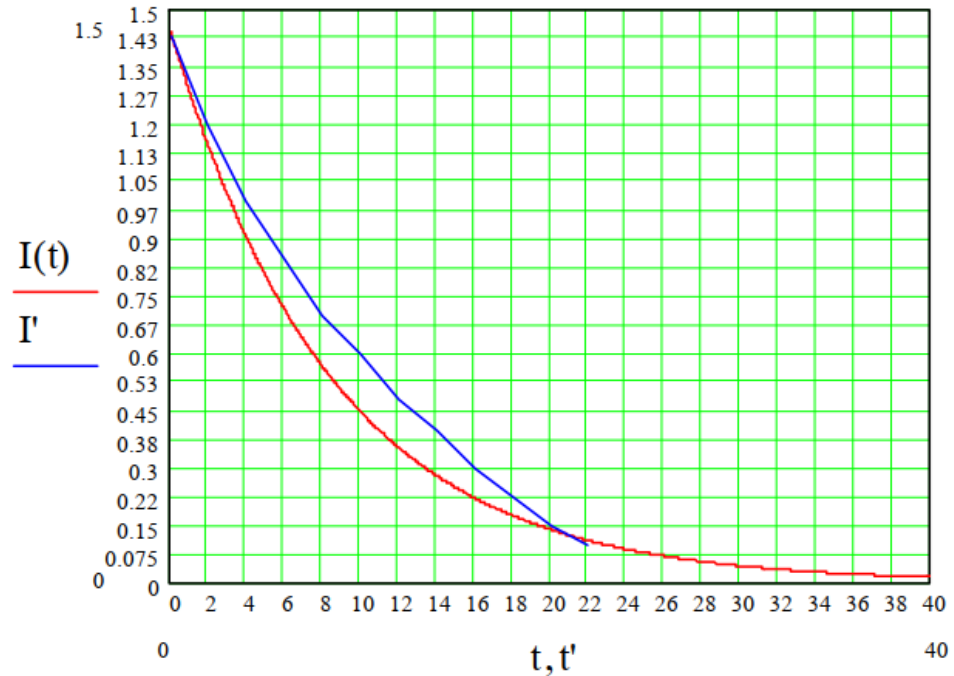


Рисунок 2.7 – Графік, що описує залежність струмів при заряджанні акумулятора залежно від часу

Тут розглянуто дві криві червона крива є теоретичною кривою, а відповідно синя крива є експериментальна. Необхідно зауважити, що в результаті порівняння двох кривих значень струмів спостерігається певне заниження значення струмів. При такому пониженні можна також додатково спостерігати і зниження ємності акумулятора. А отже в результаті такого порівняння можна сказати, що маємо певне значення похибки між двома величинами, хоча вона і не значана, а знаходиться в допустимих межах.

### Висновок до розділу

Виходячи з наведеної математичної виникає можливість проведення аналізу особливостей заряджання акумуляторів. При цьому даний процес описаний з точки зору використання для заряджання акумуляторів постійний струм від сонячної панелі. Слід зазначити, що отримані криві відрізняються

одна від одної на незначну похибку, а отже можуть бути враховані при описі процесу заряджання акумулятора. Також необхідно зазначити, що при заряджанні акумулятора від сталого постійного джерела енергії процес проходить прямолінійно, а при заряджанні від сонячних панелей спостерігається певний спад, а отже може виникати певного роду недозаряджання системи.

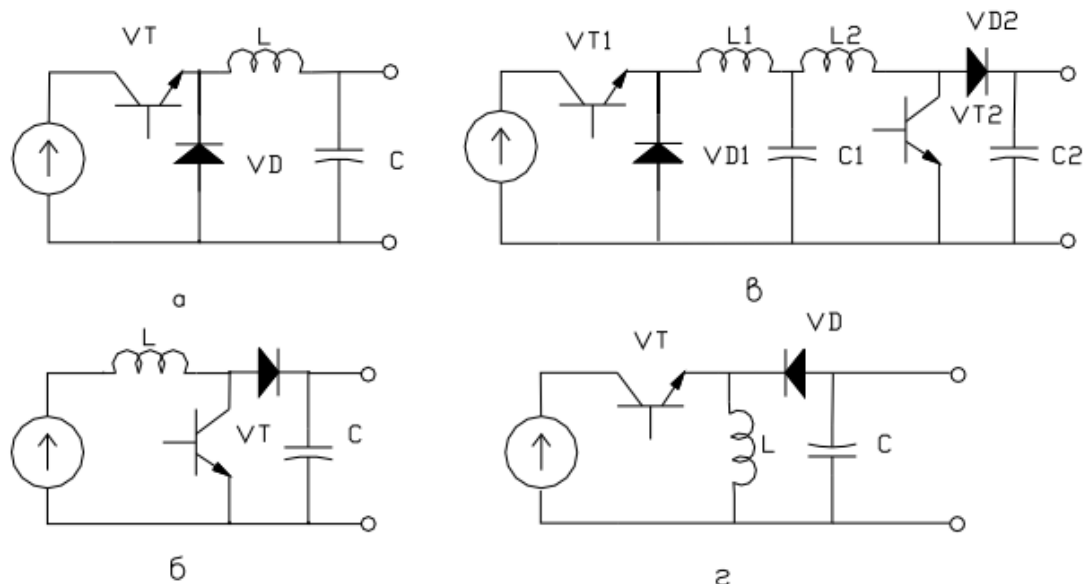
### 3 РЕЗУЛЬТАТИ ПРОВЕДЕНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

#### 3.1 Аналіз основних способів підтримки роботи сонячної панелі в режимі максимальної подачі

Як зазначалось вище, для стимулювання максимальної віддачі електричної енергії від фотоперетворювача сонячної панелі необхідною умовою є використання в колі сонячна панель – акумулятор додаткових пристроїв. При цьому необхідною умовою є використання електрохімічного типу акумуляторів, оскільки вони є найбільш ефективними.

Основними вимогами, що пред'являють до подібних пристроїв є мінімальна втрати потужності виробленої електроенергії та співпадіння всіх необхідних точок врахування потужності. Фактично подібні пристрої є перетворювачами постійного струму в змінний.

Для загального випадку можна використовувати пристрої, схеми яких наведені на рисунку 3.1. Дані пристрої здійснюють перетворення величини напруги.



а – першого роду; б – другого роду; в – каскадне з'єднання перетворювачів першого та другого роду; г – перетворювач постійної напруги третього роду (полярно-реверсуючий перетворювач)

Рисунок 3.1 – Схеми пристроїв перетворення напруги

Вищенаведені перетворювачі можуть виконувати операції, як пониження так і підвищення рівня напруги в загальній системі при перетворенні постійного струму в змінний. Кожна з даних схем виконує фактично певні свої функції, а також додатково можливо виконати їх каскадне з'єднання, що в результаті дасть можливість отримати пристрій з функціями двох. Необхідно також враховувати, що дане перетворення постійного струму в змінний має певні нехарактерні залежності адже дані пристрої не в змозі забезпечити дотримання синусоїдальності струму.

### 3.2 Результати процесу заряджання акумулятора при зміні параметрів сонячної панелі

Додатково нами було проведено дослідження особливостей заряду акумуляторних батарей з використанням пристрою заряджання від сонячної електростанції. При цьому проводилось заряджання кислотного акумулятора за умов сталої освітленості сонячної панелі та змінної освітленості. При чому зміна освітленості проводилась фактично кожні 5 секунд.

Основні результати проведення двох досліджень наведено в таблицях 3.1 та 3.2.

Таблиця 3.1 – Результати заряджання акумулятора за умови сталою значення освітленості

Відстань між ТМП та початковою напругою акумулятора, В $U_m - U_a$	Надана ємність, А год		Частка від номінальної ємності $Q_n$ , %	Час заряду $T_1$ , год		Прискорення заряду, $(T_1 - T)/T_1$ , %
	Без додаткових пристроїв	З додатковими пристроями		Без додаткових пристроїв	З додатковими пристроями	
0	17	20	85	-	-	-
-2	10	20	50	-	-	-
2,5	20	20	100	5,2	5	3
4	20	20	100	5,2	2,8	46
5	20	20	100	5,3	2	63

Таблиця 3.2 – Результати заряджання акумулятора за умови змінної освітленості

Відстань між ТМП та початковою напругою акумулятора, В $U_m - U_a$	Надана ємність, А год		Частка від номінальної ємності $Q_n$ , %	Час заряду $T_1$ , год		Прискорення заряду, $(T_1 - T)/T_1$ , %
	Без додаткових пристроїв	З додатковими пристроями		Без додаткових пристроїв	З додатковими пристроями	
0	17	20	85	-	-	-
-2	10	20	50	-	-	-
2,5	20	20	100	7	5,4	22
4	20	20	100	7	3,2	54
5	20	20	100	7	2,4	66

В результаті отриманих даних бачимо, що використання пристроїв, що підтримують постійний рівень потужності сонячної панелі в колі сонячна панель – акумулятор є доволі виправданим та перспективним. Використання даних приладів значно зменшує час заряджання акумулятора, з величиною прискорення заряджання з 22 до 66 % при змінній освітленості, що характеризує фактично реальні умови роботи.

При цьому за умови сталої освітленості протягом всього періоду заряджання дозволяє отримати прискорення заряду від 3 до 63 %, що вказує на ефективність застосування даних пристроїв.

### Висновки до розділу

В результаті проведених досліджень необхідно зазначити, що для ефективної роботи системи сонячна панель – акумулятор необхідно використовувати як пристрої для забезпечення контролю заряду так і пристрої для забезпечення стимулювання максимальної потужності для фотоелементів. Необхідно також зазначити, що тривалість заряджання акумуляторів без використання додаткових пристроїв в реальних умовах використання сонячних панелей має значну тривалість, що фактично становить близько 7

годин. Виходячи з такої проблеми зарядити в повній мірі ефективно акумулятор не вийде в зимовий час. При цьому необхідно враховувати також і ефективність роботи всіх пристроїв системи, адже можуть виникати втрати в пристроях та зменшувати реальне значення напруги.

Вирішенням даного питання може стати використання різноманітних комбінованих систем на базі встроелектроустановок та сонячних панелей. При цьому додатково необхідно встановлювати системи захисту для генераторів вітряків, щоб не виникало значних перепадів напруги в системі.

## 4 ОХОРОНА ПРАЦІ

Впродовж останнього десятиліття використання альтернативних джерел енергії для задоволення господарських потреб стало поширеним в багатьох країнах світу. Варто відзначити, що на сьогоднішній день в Україні немає спеціального законодавства щодо використання систем альтернативної енергетики. Більш того, виробники новітніх екопристроїв самі дали відповідь на поставлене запитання – свої вироби вони пропонують прирівнювати до звичайних побутових електроприладів, що автоматично відкидає необхідність отримання будь-яких дозволів.

Відповідно до статті 11 Закону України «Про альтернативні джерела енергії» експлуатація альтернативних джерел енергії на об'єктах альтернативної енергетики провадиться за умов:

1. Безпечного проведення робіт, здійснення державного нагляду за режимами споживання енергії.
2. Енергетичної безпеки, що гарантує технічне та економічне задоволення періодичних, поточних і перспективних потреб споживачів енергії.
3. Виконання технологічних вимог щодо виробництва, акумулювання, передачі, постачання та споживання енергії.
4. Додержання єдиних державних норм, правил і стандартів усіма суб'єктами відносин.
5. Додержання правил експлуатації об'єктів альтернативної енергетики, що регламентуються нормативно-правовими актами, обов'язковими для виконання всіма суб'єктами підприємницької діяльності.

Відповідно до статті 12 Закону України «Про альтернативні джерела енергії» протиаварійний захист та забезпечення екологічної безпеки при використанні альтернативних джерел енергії здійснюються шляхом:

1. Запобігання аварійним ситуаціям і ліквідації їх наслідків на об'єктах альтернативної енергетики за рахунок додержання вимог та правил, встановлених відповідно до державних стандартів.

2. Створення умов для розвитку, підвищення технічного рівня, безпечної експлуатації та охорони об'єктів альтернативної енергетики згідно із законодавством.

3. Підтримки необхідного балансу потужності та якості енергії, виробленої з альтернативних джерел, для забезпечення надійного і безаварійного функціонування з об'єднаною енергетичною системою України.

4. Здійснення нагляду за впровадженням нових систем протиаварійної автоматики та захисту об'єктів альтернативної енергетики, а також засобів зв'язку і диспетчерського (оперативно-технологічного) управління з енергетичними мережами України.

5. Здійснення нагляду за експлуатацією систем протиаварійної автоматики та захисту об'єктів альтернативної енергетики від несанкціонованого втручання.

Державний нагляд у сфері альтернативних джерел енергії здійснює спеціально уповноважений центральний орган виконавчої влади у відповідній сфері та інші органи у порядку, встановленому Кабінетом Міністрів України.

Оскільки працездатність системи безумовно залежить від ступеня зарядженості свинцевокислотних батарей, необхідно ознайомитись з «Інструкцією з охорони праці при експлуатації стаціонарних свинцево - кислотних акумуляторних батарей».

Так як до системи з сонячних батарей входять електроприлади (інвертор, контролер), то слід дотримуватись системи засобів і заходів безпечної експлуатації електроустановок. Ізоляція струмовідних частин забезпечується шляхом покриття їх шаром діелектрика для захисту людини від випадкового доторкання до частин електроустановок, через які проходить струм.

Електрозахисними засобами називаються вироби, що переносяться та перевозяться і слугують для захисту людей, які працюють з електроустановками, від ураження електричним струмом, від дії електричної дуги та електромагнітного поля.

Розрізняють основні й додаткові ізолювальні електрозахисні засоби. До основних належать такі електрозахисні засоби, ізоляція яких протягом тривалого часу витримує робочу напругу електроустановки до 1000 В – діелектричні рукавички, ізолювальні штанги, інструменти з ізолюваними ручками, електровимірювальні кліщі, ізолювальні кліщі, покажчики напруги; а при роботі в електроустановках напругою понад 1000 В – ізолювальні штанги, струмовимірювальні та ізолювальні кліщі, покажчики напруги для фазування.

Додаткові ізолювальні захисні засоби мають недостатні ізолювальні властивості, тому призначені лише для підсилення захисної дії основних засобів, разом з якими вони і застосовуються. До них належать: при роботах в електроустановках з напругою до 1000 В – діелектричні калоші, килимки, ізолювальні підставки.

Огороджувальні електрозахисні засоби (щити, ширми, екрани, плакати електробезпеки) призначені для захисту працівників, котрі проводять роботи в електроустановках, від випадкового доторкання чи наближення на небезпечну відстань до струмовідних частин, що знаходяться під напругою.

Отже, за правила охорони праці при використанні сонячних батарей можемо використати такі нормативно-правові документи: Закон України «Про використання альтернативних джерел енергії», «Інструкція з охорони праці при експлуатації стаціонарних свинцево - кислотних акумуляторних батарей» та основи охорони праці при експлуатації електроустановок.

### **Висновок до розділу**

Незважаючи на те, що альтернативні джерела енергії – досить новий напрямок в енергетиці, в нашій державі активно розвиваються та впроваджуються норми та правила користування та обслуговування даних приладів. Вони допомагають безпечно та правильно виконувати технічний огляд та обслуговування подібних приладів, знижуючи ризики травматизму та нещасних випадків.

## 5 ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ

Вартість сонячної станції та ВЕУ складається з вартості застосованого обладнання (ФЕМ, вітрогенератори, інвертори і т.п.), вартості додаткового обладнання (кабельна продукція, кріплення, щогли вітрогенератора і т. п.) та вартості робіт по установці (будівельно монтажні роботи, електромонтажні роботи), а так же вартості на проектну роботу.

Вартість основного устаткування сонячної установки, ВЕУ представлена в таблиці 4.1

Таблиця 4.1 – Вартість основного вибраного обладнання

Обладнання	Кількість, шт	Ціна за одиницю, грн	Загальна вартість, грн
Сонячна станція			
Фотоелектричний модуль Taifu SOLAR PS170W1	78	4917	383526
АКБ MicroArt 2-960	144	6217	895248
Сонячний контролер ЕКО ЕНЕРГІЯ МРРТ ПРО 100А 200В	1	10900	10900
Інвертор GROWATT 17000TL3 S	1	48255	48255
Разом			1337929
Вітрова станція			
Вітрогенератор Winder W3	1	31116	31116
Щогла для вітрогенератора	1	9550	9550
МРРТ контролер: Green Chip WS700	1	4480	4480
Разом			45146
Всього			1383075

Як видно з розрахунків, загальна вартість встановлення комбінованої системи сонячної та вітрової електростанцій становить 1383075 гривень, що є досить значна сума для рядового українця.

Якщо використовувати лише сонячну станцію для потреб господарства, то існують деякі проблеми, а саме: взимку, через використання електроопалення приміщень з'являється нестача електроенергії, а влітку – її надлишок, через велику кількість сонячного випромінювання. Доречно буде взимку купувати нестачу електроенергії у держави, а влітку – продавати її надлишки по так званому «зеленому» тарифу.

Вартість однієї виробленої кіловат-години електричної енергії по зеленому тарифу становить:

- Для сонячних електростанцій – 4,7878 грн/кВт год;
- Для вітрогенераторів – 3,0756 грн/кВт год.

За використання обладнання спеціального виробництва передбачені надбавки до тарифу, завдяки яким, вартість сонячної енергії збільшується на відповідний відсоток:

- Якщо використовується понад 30% обладнання українського виробництва – 5% надбавки до вартості;
- Якщо використовується понад 50% обладнання українського виробництва – 10% надбавки до вартості.

Дані тарифи діють лише на ті установки, потужність яких не перевищує 30 кВт.

З кожним роком все більше і більше бажаючих приєднатися до програми зеленого тарифу, тому ціноутворення має тенденцію знижувати ціну за 1 кВт год електроенергії вироблену альтернативними джерелами.

### **Висновок до розділу**

Результатом дослідження в даному розділі є те, що вартість установки та виробництва електроенергії за допомогою альтернативних джерел є досить затратно. Але, не зважаючи на це – використання даних установок є одним із шляхів до енергонезалежності та дозволяє не погано заробляти, продаючи надлишки електроенергії державі. Тобто, через деякий час дана система окупить себе та буде приносити прибуток та суттєво знизить показники в платіжках за електроенергію, особливо в зимовий період, коли активно застосовується електричне опалення житлових приміщень.

## ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ

Відновлювальна енергетика є доволі гарною перспективою на сьогодні. В результаті обстрілів пошкоджена велика кількість об'єктів традиційної енергетики, а отже використання розосереджених джерел ВДЕ дозволяє забезпечити роботу різноманітних об'єктів. При цьому все ж необхідною умовою є врахування особливостей генерації енергії ними та брати до уваги особливості акумуляторів. На сьогодні є доволі велика кількість акумуляторних батарей, що дозволяють працювати ВДЕ доволі продуктивно. При цьому є певного роду забезпечення акумуляторами в різних цінових та якісних показниках.

Виходячи з наведеної математичної виникає можливість проведення аналізу особливостей заряджання акумуляторів. При цьому даний процес описаний з точки зору використання для заряджання акумуляторів постійний струм від сонячної панелі. Слід зазначити, що отримані криві відрізняються одна від одної на незначну похибку, а отже можуть бути враховані при описі процесу заряджання акумулятора. Також необхідно зазначити, що при заряджанні акумулятора від сталого постійного джерела енергії процес проходить прямолінійно, а при заряджанні від сонячних панелей спостерігається певний спад, а отже може виникати певного роду недозаряджання системи.

В результаті проведених досліджень необхідно зазначити, що для ефективної роботи системи сонячна панель – акумулятор необхідно використовувати як пристрої для забезпечення контролю заряду так і пристрої для забезпечення стимулювання максимальної потужності для фотоелементів. Необхідно також зазначити, що тривалість заряджання акумуляторів без використання додаткових пристроїв в реальних умовах використання сонячних панелей має значну тривалість, що фактично становить близько 7 годин. Виходячи з такої проблеми зарядити в повній мірі ефективно акумулятор не вийде в зимовий час. При цьому необхідно враховувати також

і ефективність роботи всіх пристроїв системи, адже можуть виникати втрати в пристроях та зменшувати реальне значення напруги.

Вирішенням даного питання може стати використання різноманітних комбінованих систем на базі втродлектроустановок та сонячних панелей. При цьому додатково необхідно встановлювати системи захисту для генераторів вітряків, щоб не виникало значних перепадів напруги в системі.

Незважаючи на те, що альтернативні джерела енергії – досить новий напрямок в енергетиці, в нашій державі активно розвиваються та впроваджуються норми та правила користування та обслуговування даних приладів. Вони допомагають безпечно та правильно виконувати технічний огляд та обслуговування подібних приладів, знижуючи ризики травматизму та нещасних випадків.

Результатом дослідження в даному розділі є те, що вартість установки та виробництва електроенергії за допомогою альтернативних джерел є досить затратно. Але, не зважаючи на це – використання даних установок є одним із шляхів до енергонезалежності та дозволяє не погано заробляти, продаючи надлишки електроенергії державі. Тобто, через деякий час дана система окупить себе та буде приносити прибуток та суттєво знизить показники в платіжках за електроенергію, особливо в зимовий період, коли активно застосовується електричне опалення житлових приміщень.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Дерев'янюк Д.Г. Оцінювання ефективності регулювання енергетичних процесів в локальних електротехнічних системах з джерелами розосередженої генерації: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.09.03. Київ, 2016. 22с.
2. Кузнєцов М.П., Мельник О.А. Оптимальна побудова електроенергетичного комплексу на основі відновлюваних джерел енергії. Збірник «Праці Інституту електродинаміки НАН України». 2018. вип. 51. С. 28–32.
3. Кузнєцов М.П., Лисенко О.В., Мельник О.А. Задачі оптимізації комбінованих енергосистем за економічними критеріями. Відновлювана енергетика. Київ, 2019. № 4. С. 6–14.
4. Розвиток відновлюваних джерел енергії в Україні. Звіт по проєкту «Секретаріат та експертний хаб з енергоефективності» (Програма розвитку ООН в Україні). 2017.
5. Атлас енергетичного потенціалу відновлюваних джерел енергії України. Київ: Вікторія, 2012. 60 с.
6. Державне агентство з енергоефективності та енергозбереження України. URL: <https://sae.gov.ua/uk/content/elektronni-consultatsii>. (дата звернення: 21.01.2022).
7. Кузнєцов М.П. Особливості короткотермінового прогнозування потужності ВЕС. Відновлювана енергетика та енергоефективність у XXI столітті: матеріали XVIII Міжнар. наук.-практ. конф., м. Київ, 27-29 вересня 2017р. Київ, 2017. С. 497–500.
8. Величко С.А. Енергетика навколишнього середовища України (з електронними картами): навч.-метод. посіб. Харків, Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна, 2003. 52с.
9. Черненко П.О., Мартинюк О.В., Мірошник В.О. Багатофакторне моделювання та аналіз електричного навантаження енергосистеми за даними довготривалої передісторії. Технічна електродинаміка. 2018. № 1. С. 87–93.

10. Кузнєцов М.П. Побудова математичної моделі режиму споживання електроенергії. Відрновлювана енергетика. Київ, 2017. № 4. С. 33-42.
11. Черненко П. О., Мартинюк О. В., Мірошник В. О. Моделювання та короткострокове прогнозування технологічної складової електричного навантаження обласної енергосистеми. Технічна електродинаміка. 2016. № 4. С. 68–70.
12. Кармазін О.О. Балансова надійність електроенергетичних систем в умовах зростання частки відрновлюваної енергетики: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.14.08. Київ, 2019. 20 с.
13. Кузнєцов М.П. Можливості короткотермінового прогнозування швидкості вітру на українських ВЕС. Відрновлювана енергетика. Київ, 2010. № 4. С. 40–47.
14. Кузнєцов М.М. Моделювання спільної роботи вітрової та сонячної електростанцій. Відрновлювана енергетика. Київ, 2016. № 1. С. 12–16.
15. Кузнєцов М.П., Лисенко О.В. Оцінка градієнтів генеруючої потужності вітроенергетичних установок. Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету. Мелітополь: ТДАТУ, 2017.
16. Кузнєцов М.П. Деякі особливості автономної роботи вітрової та сонячної електростанцій. Відрновлювана енергетика. Київ, 2016. № 2. С. 15–21.
17. Кузнєцов М.П. Моделювання балансу потужностей в комбінованій енергосистемі з відрновлюваною генерацією. Відрновлювана енергетика. Київ, 2021. № 2. С. 6–18.
18. Кузнєцов М.П. Застосування нормального розподілу до опису швидкості вітру. Відрновлювана енергетика. Київ, 2013. № 2. С. 53–58.
19. Обмеження потужності відрновлюваних джерел енергії за умовами приєднання до електричної мережі. / Павловський В.В. та ін. Праці ІЕД НАНУ. 2016. Вип.43. С. 18–23.
20. СОУ-Н МЕВ 40.1.00100227-68:2012 Стійкість енергосистеми. Керівні вказівки. НТЦЕ НЕК Укренерго. [Чинний від 21.10.2012]. 36 с.

21. Кузнєцов М.П., Лисенко О.В., Мельник О.А. До оптимального комбінування вітрових та сонячних електростанцій. Відновлювана енергетика. Київ, 2019. №1. С. 10–19.
22. Кузнєцов М.П., Лисенко О.В. Оцінка балансу потужності комбінованих енергосистем. Відновлювана енергетика. Київ, 2018. № 4. С. 6–14.
23. Кузнєцов М.П., Мельник О.А., Смертюк В.М. Вплив параметрів системи акумуляування електроенергії на балансування комбінованої енергосистеми. Відновлювана енергетика. Київ, 2021. № 1. С. 6–17. DOI: [https://doi.org/10.36296/1819-8058.2021.1\(64\).6-17](https://doi.org/10.36296/1819-8058.2021.1(64).6-17).
24. Кузнєцов М.П., Мельник О.А., Смертюк В.М. Моделювання процесу акумуляування електроенергії в комбінованій енергосистемі. Відновлювана енергетика. Київ, 2020. № 4. С. 22–30. DOI: [https://doi.org/10.36296/1819-8058.2020.4\(63\).22-30](https://doi.org/10.36296/1819-8058.2020.4(63).22-30).
25. Кузнєцов М.П., Лисенко О.В., Мельник О.А. Оптимальне регулювання локальної енергосистеми з відновлюваними джерелами енергії. Вісник Національного технічного університету «ХПІ». 2021. № 1(2). С. 52–61. DOI: <https://doi.org/10.20998/2224-0349.2021.01.08>.
26. Лежнюк П.Д. Відновлювані джерела енергії в розподільних електричних мережах: монографія. / П.Д. Лежнюк, О.А. Ковальчук, О.В. Нікіторович, В.В. Кулик. Вінниця: ВНТУ, 2014. 204 с.
27. Лежнюк П.Д., Комар В.О., Собчук Д.С. Оцінювання впливу джерел відновлюваної енергії на забезпечення балансової надійності в електричній мережі. Вісник Вінницького політехнічного інституту. 2013. № 6. С. 45–47.