

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 та оптимізація процесів
розподілу електричної енергії в системах з локальними
джерелами генерування та акумулювання»

Виконав

(підпис)

Жогло В.В.
(прізвище, ініціали)

Група

ЗЕТЕ 2301М

(Науковий) керівник:

(підпис)

Лобода В.Б.
(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

Жогло Валерія Валеріївна

(прізвище, ім'я та по батькові)

1. Тема роботи: Дослідження та оптимізація процесів розподілу електричної енергії в системах з локальними джерелами генерування та акумулювання

керівник роботи: Лобода Валерій Борисович, к.ф.-м.н, професор
(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 «18» 03 2025 р.

3. Вихідні дані до роботи показники роботи розосереджених джерел енергії, нормативні документи для проведення досліджень, стандарти,

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

1 Визначення стану енергетики України з визначенням перспектив для розвитку.

2 Аналіз компонентів комбінованих систем електропостачання.

3 Дослідження процесів оптимізації розподілу електричної енергії в локальних системах.

4 Охорона праці.

5 Економічне обґрунтування.

Висновки та пропозиції.

Список використаної літератури.

Додатки

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 13.09.2024 р.	
2	Складання плану роботи	до 04.10.2024 р.	
3	Написання вступу	до 11.10.2024 р.	
4	Підготовка розділу «Розділ 1. Визначення стану енергетики України з визначенням перспектив для розвитку»	до 18.10.2024 р.	
5	Підготовка розділу «Розділ 2. Аналіз компонентів комбінованих систем електропостачання»	до 01.11.2024 р.	
6	Підготовка розділу «Розділ 3. Дослідження процесів оптимізації розподілу електричної енергії в локальних системах»	до 29.11.2024 р.	
7	Підготовка розділу «Розділ 4. Охорона праці»	до 10.01.2025 р.	
8	Підготовка розділу «Розділ 5. Економічне обґрунтування»	до 28.02.2025 р.	
9	Написання висновків та пропозицій	до 07.03.2025 р.	
10	Подання роботи на перевірку унікальності до експертної ради факультету	до 10.03.2025 р.	
11	Подання роботи на рецензування	до 14.03.2025 р.	
12	Подання до попереднього захисту	до 19.03.2025 р.	

Здобувач вищої освіти

_____ (підпис) **(Жогло В.В.)**
(прізвище, ініціали)

**(Науковий) керівник
дипломної роботи**

_____ (підпис) **(Лобода В.В.)**
(прізвище, ініціали)

АНОТАЦІЯ

Жогло В. В. Дослідження та оптимізація процесів розподілу електричної енергії в системах з локальними джерелами генерування та акумулювання. Суми: СНАУ, 2025 р.

Кваліфікаційна робота зі спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка», освітньо-професійної програми «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка».

В роботі проведено аналіз основних джерел генерування електричної енергії. Описані принципи роботи традиційних джерел енергії з визначенням їх переваг та недоліків. Визначено принципи роботи відновлювальних джерел енергії з визначенням особливостей їх роботи в електричних мережах. Проведено порівняльний аналіз особливостей їх використання, а також виконано аналіз основних схем їх роботи.

Проведений аналіз різноманітних джерел енергії дають можливість зрозуміти та спрогнозувати певні особливості реалізації електропостачання різних підприємств та регіонів. Потрібно зазначити, що основну проблему в роботі електричної системи вносять різноманітні відновлювальні джерела енергії, що не мають постійного виробітку електричної енергії протягом доби чи певного часу. При використанні відновлювальної енергетики потрібною умовою є значне підвищення контролю за всіма параметрами роботи системи. Традиційні джерела енергії мають порівняно менший параметр керування, а отже вони все ж таки повинні займати основне місце. Відновлювальні джерела енергії все ж можна використовувати в якості підтримки енергетичної системи.

Проведено аналіз особливостей роботи електричних акумуляторних батарей, що працюють з різними типами джерел генерації електричної енергії. Визначено особливості їх роботи з визначенням термінів їх експлуатації та можливостями продовження їх роботи. Виконано аналіз допоміжного обладнання для забезпечення ефективної роботи акумуляторних батарей, відновлювальних джерел енергії та інших елементів електричної мережі.

Аналіз джерел генерування електричної енергії дозволяє виокремити найбільш ефективні серед них з врахуванням заданих цільових функцій та відповідних обмежень. В результаті отримано підтвердження ефективності використання сонячних електростанцій в якості відновлювальних джерел енергії на території України. З наведеними обмеженнями також залишається найбільш ефективним та економічним використання електричної мережі. При цьому спостерігається повна відмова від використання дизельних генераторів фактично через екологічність.

Описано вплив відновлювальних джерел енергії на розподільчі електричні мережі та наведено можливості їх узгодження з виробітком електричної енергії від традиційних джерел енергії.

Проведено аналіз гібридної системи для забезпечення живлення споживача з вибором найбільш ефективних варіантів.

Виконано аналіз охорони праці та проведено економічне обґрунтування запропонованих рішень. Наведено висновки по роботі та пропозиції.

Ключові слова: генератор, дизельний генератор, сонячна електростанція, вітрогенератор, гібридна система, електрична мережа, розосередженні джерела.

SUMMARY

Zhoglo V. V. Research and optimization of electrical energy distribution processes in systems with local sources of generation and accumulation. Sumy: SNAU, 2025

Qualification work in specialty 141 «Electrical power engineering, electrical engineering and electromechanics», educational and professional program «Electrical power engineering, electrical engineering and electromechanics».

The paper analyzes the main sources of electrical energy generation. The principles of operation of traditional energy sources are described with the definition of their advantages and disadvantages. The principles of operation of renewable energy sources are determined with the definition of the features of their operation in electrical networks. A comparative analysis of the features of their use is carried out, and the analysis of the main schemes of their operation is also performed.

The analysis of various energy sources makes it possible to understand and predict certain features of the implementation of electricity supply to various enterprises and regions. It should be noted that the main problem in the operation of the electrical system is introduced by various renewable energy sources that do not have a constant production of electrical energy during the day or a certain time. When using renewable energy, a necessary condition is a significant increase in control over all parameters of the system's operation. Traditional energy sources have a relatively smaller control parameter, and therefore they should still occupy the main place. Renewable energy sources can still be used as support for the energy system.

An analysis of the features of the operation of electric storage batteries operating with different types of sources of electrical energy generation has been carried out. The features of their operation have been determined with the determination of their operating terms and the possibilities of continuing their operation. An analysis of auxiliary equipment has been carried out to ensure the effective operation of storage batteries, renewable energy sources and other elements of the electrical network.

Analysis of sources of electric energy generation allows to identify the most effective among them taking into account the given target functions and the corresponding restrictions. As a result, confirmation of the effectiveness of using solar power plants as renewable energy sources in the territory of Ukraine was obtained. With the above restrictions, the most effective and economical use of the electric network also remains. At the same time, there is a complete rejection of the use of diesel generators, in fact due to environmental friendliness.

The impact of renewable energy sources on distribution electric networks is described and the possibilities of their coordination with the generation of electric energy from traditional energy sources are given.

An analysis of a hybrid system for providing power to the consumer with the selection of the most effective options is carried out.

An analysis of labor protection is carried out and an economic justification of the proposed solutions is carried out. Conclusions on the work and proposals are given.

Keywords: generator, diesel generator, solar power plant, wind generator, hybrid system, electric network, source dispersion.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
1 ВИЗНАЧЕННЯ СТАНУ ЕНЕРГЕТИКИ УКРАЇНИ З ВИЗНАЧЕННЯМ ПЕРСПЕКТИВ ДЛЯ РОЗВИТКУ.....	10
1.1 Аналіз устаткування та обладнання традиційної енергетики.....	10
1.2 Аналіз напрямів економії паливно-енергетичних ресурсів України з описом відновлювальних джерел енергії.....	16
1.3 Джерела локального генерування електроенергії в системах централізованого та розподіленого її споживання.....	26
Висновки до розділу.....	28
2 АНАЛІЗ КОМПОНЕНТІВ КОМБІНОВАНИХ СИСТЕМ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ.....	30
2.1 Загальний опис комбінованих систем електропостачання.....	30
2.2 Особливості акумулювання електричної енергії.....	32
2.3 Особливості роботи контролера.....	34
2.4 Особливості застосування інверторів в гібридних системах.....	35
Висновки до розділу.....	38
3 ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ ОПТИМІЗАЦІЇ РОЗПОДІЛУ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ В ЛОКАЛЬНИХ СИСТЕМАХ.....	39
3.1 Визначення основних моделей проведення аналізу.....	39
3.2 Дослідження запропонованої гібридної системи.....	44
Висновок до розділу.....	47
4 ОХОРОНА ПРАЦІ.....	48
Висновки до розділу.....	50
5 ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ.....	51
Висновки до розділу.....	53
ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ.....	54
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	56
ДОДАТОК А.....	59

ВСТУП

Актуальність теми. Виробництво електричної енергії традиційними джерелами енергії є економічно вигідним та сталим в умовах споживання. Розвиток відновлювальної енергетики, а також військові дії з постійними обстрілами енергетики призводять до порушення встановленої стабільності системи електропостачання.

Виходячи з цього виникають споживачі, підприємства та навіть населені пункти в яких є проблемним забезпечення сталої електричної енергії. Виходячи з цього виникає необхідність використання певного роду розосереджених джерел енергії, що можуть бути відновлювальними чи традиційними. Подібний відхід від централізованої системи електропостачання призводить до проблем в погодженні роботи всіх джерел енергії. Процес погодження різних видів джерел генерації електричної енергії призводить до виникнення необхідності використання акумулювання електричної енергії.

Результатом такого широкого вибору елементів електропостачання виникає проблема в їх виборі та узгодженні. При цьому необхідно враховувати ефективність використання тих чи інших джерел генерації, таких як кількість сонячної радіації, вітру чи навіть палива. Виходячи з такої широкої проблематики запропонована тема є доволі актуальною для розгляду та потребує проведення досліджень через появу низки нових факторів впливу на неї.

Мета та задачі дослідження. Дослідження особливостей роботи відновлювальних та традиційних джерел генерації електричної енергії в розподільчих мережах.

Для проведення дослідження нами пропонується вирішити наступні задачі:

1. Аналіз особливостей обладнання та роботи різних джерел генерування електричної енергії.

2. Визначення особливостей обладнання та роботи допоміжного обладнання гібридної системи живлення споживачів.
3. Опис особливостей акумулювання електричної енергії та необхідність їх використання в гібридних системах живлення споживачів.
4. Визначення основних напрямків розвитку гібридних систем з обґрунтуванням кращих варіантів живлення.
5. Економічне обґрунтування обраної гібридної системи живлення споживача

Об'єктом дослідження в роботі є забезпечення живлення споживача від різних джерел генерування електричної енергії.

Предметом дослідження в роботі є використання відновлювальних та традиційних джерел енергії в локальних мережах живлення споживачів.

Методи дослідження. Основними методами, що використовувались при виконанні магістерської роботи є аналітичні, графічні та математичні.

Практичне значення отриманих результатів полягає в визначенні особливостей узгодження різних систем генерування електричної енергії з визначенням найбільш ефективних в живленні споживачів на території України.

1 ВИЗНАЧЕННЯ СТАНУ ЕНЕРГЕТИКИ УКРАЇНИ З ВИЗНАЧЕННЯМ ПЕРСПЕКТИВ ДЛЯ РОЗВИТКУ

В умовах сьогодення та військового стану необхідно зазначити, що все більше і більше виникає необхідність пошуку альтернативи традиційним джерелам енергії. Традиційні джерела енергії фактично налаштовані на номінальне значення виробітку електричної енергії, що дозволяє забезпечувати працездатність електричної системи в години піку та в інші години доби. При цьому дані системи з традиційними джерелами енергії є повністю збалансованими. Відновлювальна енергетика має певні обмеження по виробітку електричної енергії. Так наприклад виробіток електричної енергії від сонячних електростанцій має певний пік, що відбувається приблизно в південь, а вночі виробіток електричної енергії повністю відсутній. Подібну проблему спостерігаємо і в інших видів альтернативної енергетики.

Виходячи з цього проблемним залишається питання узгодження виробітку електричної енергії традиційними джерелами та джерелами відновлювальної енергетики. Але дана проблема постає більш гостро через значні обстріли енергетики, що руйнує більшість об'єктів традиційної генерації.

1.1 Аналіз устаткування та обладнання традиційної енергетики

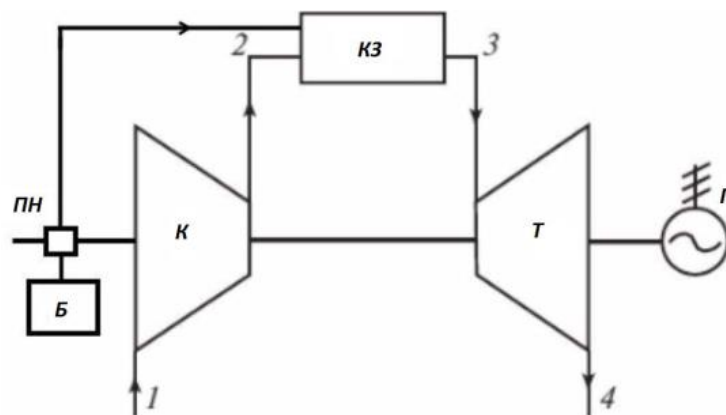
Однією з традиційних установок традиційної енергетики є так звана газотурбінна установка. Необхідно зазначити що дана установка є певного роду універсальною, адже поєднує в собі генератор, турбіну, редуктор та систему керування. При цьому необхідно зазначити, що дані установки не є простими. Для своєї роботи вони використовують велику кількість додаткового обладнання. До даних пристроїв відносяться компресори, теплообмінники та різного роду пристрої запуску.

Газотурбінними установками є фактично двигуни внутрішнього згорання, що працюють на різноманітних видах палива. При цьому дані установки мають безліч переваг, до яких відносяться:

- достатня економічність;
- доступна вартість з високою швидкістю окупності з незначним терміном виготовлення обладнання;
- доволі високий показник ККД.

Перевагами є доволі великий перелік інших показників, при цьому ефективність використання даних установок жодним чином не погіршується. Необхідно зазначити, що дані установки знайшли себе в різних сферах застосування, окрім енергетики. Це такі сфери як: авіація, електростанції; та мікро турбіни для виконання різного роду завдань.

Загальну принципову схему будови газотурбінної установки наведено на рисунку 1.1.



Т – турбіна; К – компресор; КЗ – камера згорання; Б – бак; ПН – паливний насос; Г – генератор; 1 – подача повітря; 2 – стиснуте повітря; 3 – гази після камери згорання; 4 – відпрацьовані димові гази.

Рисунок 1.1 – Схематичне зображення принципу дії газотурбінної установки

Газотурбінна установка конструктивно є доволі простою. На одному валу знаходяться компресор та турбіна даної установки. Також від даного валу виконано привід паливного насосу та відповідно споживача зображеного в вигляді генераторної установки.

Принцип роботи даної установки наступний. Компресор всмоктує повітря з навколишнього середовища до камери згорання. При цьому компресор попередньо стискає повітря до певного значення за параметром

тиску. В цей час до камери згорання паливний насос подає також певну кількість палива в розрахунку до газоповітряної суміші.

При змішуванні стисненого повітря з паливом виникає загорання палива. Необхідно зазначити, що даний процес відбувається завжди при сталому тиску повітряно-паливної суміші.

Після камери згорання продукти згорання направляються на лопаті турбіни, яка вже приводить в дію генераторну установку, що виробляє електроенергію для потреб споживачів електричної мережі. При цьому за рахунок значної швидкості та розширення газів приводиться в дію компресорна установка також.

Необхідно зазначити, що основним недоліком є те, що потужність на привід компресора може перевищувати більше ніж в 2 рази потужність передану для приводу турбіни. Вирішення даного питання неможливо, а отже це є значним недоліком даного типу установок.

Іншим типом установок, що також є традиційним джерелом енергії є парогазова установка. Дана установка складається з двох установок, що представлені паросиловою та газотурбінною установкою.

Відмінністю даної установки є те, що в газотурбінній установці для приводу турбіни використовується продукти згорання, що утворилися в ній в результаті згорання палива. Необхідно зазначити, доволі великі зміни в конструкції, а отже доцільно навести загальну схему парогазової установки (рис. 1.2).

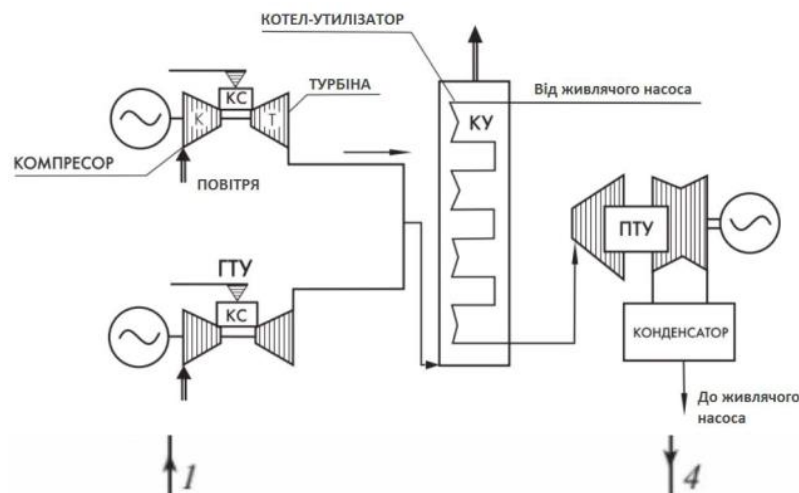


Рисунок 1.2 – Особливості принципової схеми парогазової установки

В даній установці також турбіна, що виробляє електричну енергію знаходиться на одному і тому ж валу. Віддаючи свою енергію турбіні, димові гази мають доволі високу температуру, що становить приблизно 500°C. Далі гарячі димові гази надходять до паросилової установки. Дана установка розміщується в котлі-утилізаторі, де вода під дією температури перетворюється в пар. Отриманий пар передається в парову турбіну та приводить її в рух. При цьому на валу парової турбіни також розміщується генераторна установка. В результаті отримуємо доволі великий к.к.д. даного пристрою при отриманні електричної енергії.

Необхідно зазначити, що в результаті відпрацьована пара подається на конденсатор, де перетворюється знову на воду та відправляється до насоса живлення даної установки. Тобто фактично весь цикл роботи даної установки є зацикленним.

Іншими, менш потужними та менш ефективними порівняно з попередніми є різноманітні дизельні електростанції. при цьому вартість електричної енергії отриманої від них є доволі дорогавартісною. Дизельні електростанції можуть бути переносними, стаціонарними з одним або декількома генераторами в складі. При від генераторів виконано від дизельного двигуна. Зазвичай все обладнання дизельного генератора сховано в одному корпусі. При цьому в будову входять акумулятор, бак з паливом, двигун, що працює на дизельному паливі, блок керування, генераторна установка та інші елементи контролю. Загальна будова міні дизельного генератора наведена на рисунку 1.3.



Рисунок 1.3 – Загальна будова дизельного генератора

Даний генератор відноситься до генераторів малої потужності, а отже придатний для забезпечення невеликих господарств чи малопотужних поспоживанню підприємств. Зазначимо, що генератори великих потужностей фактично мають подібну компоновку, з іншими розмірами та потужностями.

Основним принципом роботи є перетворення енергії згорання палива в механічну енергію в дизельному двигуні. Далі крутний момент передається з колінчастого валу дизельного двигуна на вал генератора змінного струму. Генератор перетворює механічну енергію обертання на електричну енергію. Необхідно зазначити, що в залежності від будови генератора та системи його керування вони бувають двофазними, трифазними чи комбінованими. При цьому в комбінованих є можливість зміни з двофазного на трифазний але з втратою потужності генерування.

В дизельних генераторних установках є певний перелік переваг, що описуються високим ККД, компактними розмірами та швидким будівництвом з підключенням.

При цьому кількість недоліків є значно більший порівняно з перевагами. До основних недоліків відносять високу експлуатаційну вартість, низьку надійність роботи, обмеження в роботі по часу, високий рівень шуму та атмосферного забруднення.

В своїй більшості вищенаведені традиційні джерела електроенергії працюють відповідно до наведених схем. Але основною особливістю їх роботи є забезпечення основного навантаження електричної мережі України.

Так номінальне значення навантаження електричної мережі України забезпечується атомними електростанціями. особливістю їх є фактично стабільний виробіток електричної енергії протягом доби з можливістю плавного регулювання зміни потужності. При цьому добові піки в навантаженні компенсуються різноманітного роду тепловими електростанціями. А отже їх наявність дозволяє забезпечити компенсацію коливань потужності протягом доби з попереднім узгодженням необхідності в додатковому навантаженні для певного конкретного підприємства на лінії.

Виходячи з цього класична система електрозабезпечення є доволі збалансованою по параметрам та їх зміни в добовому часовому проміжку.

Враховуючи всі пошкодження традиційної енергетичної системи України в результаті військової дії виникає її значне розбалансування. Додатково до величини розбалансування енергетичної системи України вносять різноманітні джерела відновлювальної енергетики. При цьому в залежності від типу джерела відновлювальної енергії виникає розбалансування в певний час доби. Так для сонячних електростанцій є пік о півдні, а вночі є повна відсутність виробітку електричної енергії.

Кожен пік по виробітку електричної енергії необхідно компенсувати по показникам споживання. Необхідно зауважити, що пік споживання електричної енергії в Україні спостерігаються з 7 години ранку до 10 години та з 18 години вечора до 22 години. При цьому о 12 годині дня (при максимальному виробітку електричної енергії від сонячних електростанцій) більшість підприємств України переходять на обідню перерву, а отже споживають значно меншу кількість електричної енергії. Виріток електричної енергії від сонячних електростанцій не забезпечує ефективного її використання в виробничих процесах. А отже пік в південь від сонячних електростанцій є фактично не ефективним. Даний надлишок електричної енергії можна використовувати для ефективного заряджання акумуляторних батарей, що дозволять компенсувати пікові навантаження виробітку та споживання електричної енергії. А отже виникають певні питання акумулювання електричної енергії в електричних мережах України для проведення компенсаційних заходів.

Необхідно зазначити, що в довоєнний період проводився розгляд питань з екологічного впливу різних джерел енергії на навколишнє середовище. При цьому вважалось, що відновлювальна енергетика є найбільш ефективною в плані екології. необхідно зазначити, що сьогодні сонячними панелями «засаджуються» найбільш родючі площі, а отже отримуємо вирубки лісів, посадок та інших джерел виробітку кисню та переробки вуглекислого газу.

1.2 Аналіз напрямів економії паливно-енергетичних ресурсів України з описом відновлювальних джерел енергії

Основними напрямками економії та підтримки енергетичного сектору України та економії паливно-енергетичних ресурсів є застосування відновлювальних джерел енергії для забезпечення нормативних показників роботи енергетичної мережі.

Відбудова традиційних джерел енергії та втрата доступу до певних паливно-енергетичних ресурсів має значний вплив зменшує виробіток електричної енергії від даних джерел енергії. Виходячи з цього їх відбудова потребує тривалих термінів та значних коштів.

Альтернативою в компенсації нестачі електричної енергії є побудова різноманітних джерел виробітку електричної енергії від альтернативних видів. До таких джерел відноситься вітроенергетика, сонячна енергетика, біоенергетика та енергія різноманітних водних ресурсів. Проведемо коротенький аналіз кожного з джерел енергії відновлювальної енергетики, що є найбільш популярними в Україні.

Найбільш популярним видом відновлювальної енергетики в Україні є сонячна енергетика. Виробіток електричної енергії напряму залежить від кількості сонячної радіації в різних регіонах та територіях. Для початку аналізу необхідною умовою є проведення аналізу кількості сонячної радіації на території України (рис. 1.4).

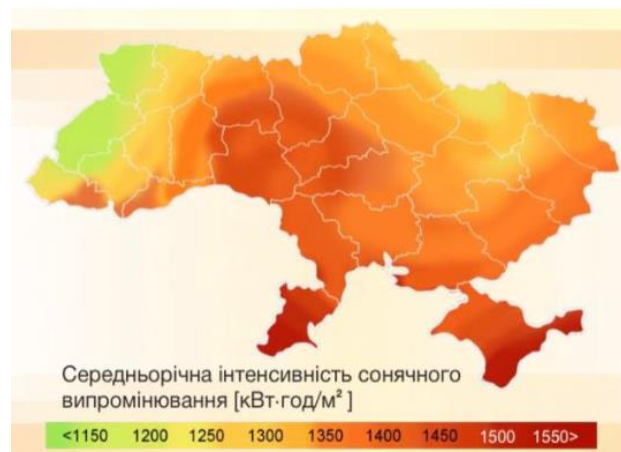


Рисунок 1.4 – Графік сумарної кількості сонячної радіації за рік

Аналізуючи графік (рис. 1.4) сумарної кількості сонячної радіації за рік можна зробити висновок, що фактично майже вся Україна забезпечена достатньою кількістю сонячної радіації для виробництва електричної енергії від сонячних електростанцій. Але необхідно зауважити, що є певна частина з низькою середньорічною інтенсивністю сонячної радіації. Хоча це фактично західні території України та невелика частина Сумської та Харківської області.

Найбільша кількість сонячної радіації є на територіях південних областей України. Але необхідно розподілити сонячну енергетику на два типи: фотоелектричну та термодинамічну.

Термодинамічна відноситься до енергії для отримання тепла в різному її вигляду. Так в основному застосовується сонячна енергія для проведення обігріву води різного призначення. Необхідно зазначити, що є певні періоди, коли фактично є низька ефективність використання їх. в основному це періоди зимових місяців.

Слід зазначити, що теплову енергію можливо перетворити на електричну енергію. При цьому перетворення виконується в різного роду енергетичних установках. Для більш детального розуміння, яким чином влаштована система отримання теплової енергії від сонця наведено на рисунку 1.5. Також наведено основні елементи обладнання для отримання теплової енергії від сонця.

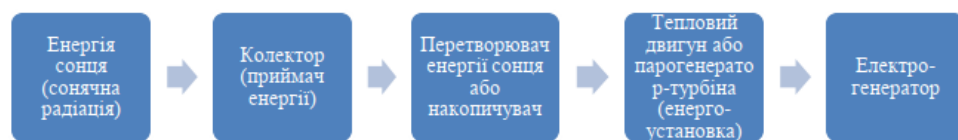


Рисунок 1.5 – Загальна схема отримання теплової енергії від сонячної радіації

Виходячи з рисунку 1.5 бачимо, що енергія сонця потрапляє на колектор де сонячна радіація перетворюється та накопичується. Далі Теплова енергія передається на енергетичну установку та далі виконує обертання валу електрогенератора. В результаті можна отримати також електричну енергію. При цьому робота даних установок частково описана вище при роботі різних

парогенераторів. Але необхідно зазначити, що дані установки не знайшли широкого застосування в Україні, адже цей процес потребує доволі складного обладнання та ефективність в зимові періоди є нелегким та має низький ККД.

Більш ефективним є використання сонячних колекторів для підігріву води з подальшим її використанням в приватних цілях чи при використанні її в різноманітних процесах на підприємстві.

При порівнянні двох варіантів отримання теплової енергії від сонячної радіації можна сказати, що основним елементом в даній системі є геліоколектор. Геліоколектор працює наступним чином, він отримує сонячну радіацію та перетворює її в теплову проводячи нагрів рідини в ньому. Для розгляду загальної будови колектора наведемо його на рисунку 1.6.

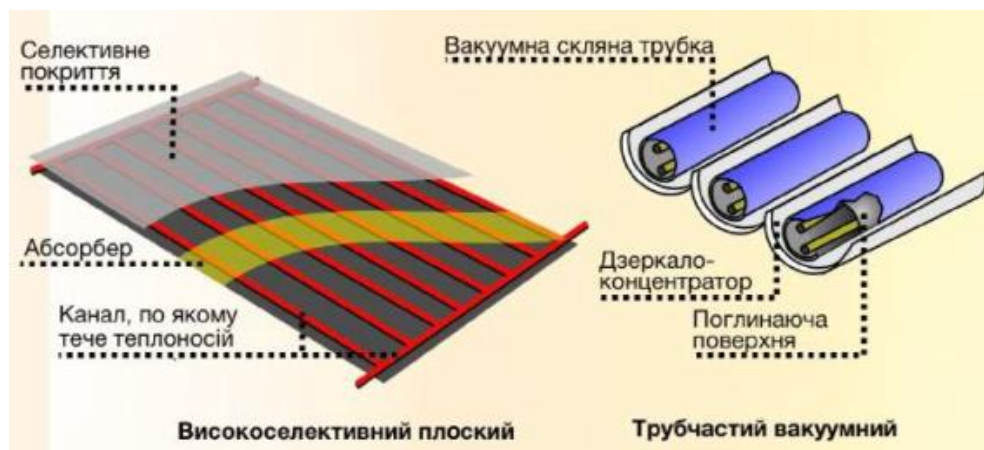


Рисунок 1.6 – Загальний вигляд та особливості будови геліоколектора

На рисунку 1.6 наведено два види геліоколекторів, що використовуються для підігріву води. Необхідно зазначити, що в трубках колектора прокачується рідинний теплоносій, який нагрівається та передає тепло в теплообміннику воді. Іноді використовується в якості рідинного теплоносія одразу вода. При цьому вона прокачується по трубках колектора з подальшою подачею її до використання в різних технологічних процесах.

Необхідно зазначити, що данні геліоколектори характеризуються доволі високим значенням ККД, який фактично коливається в межах від 65% до 80%, що є доволі гарним показником при використанні. Необхідно зазначити, що мінімальне значення ККД отримуємо в зимові місяці.

Але в двох схемах отримання теплової енергії від геліоколекторів в промислових масштабах є певна різниця. Переробка отриманої теплової енергії в електричну є невигідною, адже потрібно перегрівати воду до отримання пари. При цьому використання просто гарячої води є найбільш ефективним та вигідним з точки зору ефективності ККД.

Виходячи з цього розглянемо варіанти використання колекторів для отримання теплої води по місяцях для центральної частини України. Графік виробництва теплової енергії двома типами колекторів по місяцях наведено на рисунку 1.7.

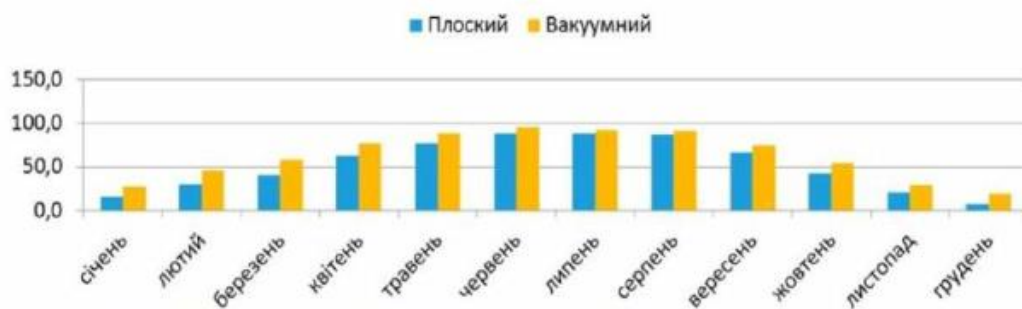
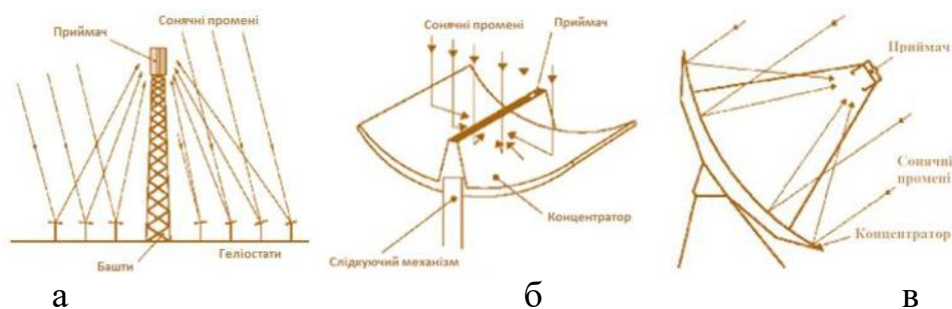


Рисунок 1.7 – Графік отримання теплової енергії геліоколекторами по місяцях року для центральної частини України, кВ·год

Отже, як видно з графіка (рис. 1.7) отримаємо характеристику ефективності використання геліоколекторів. При цьому найбільшу ефективність вони показують в літні місяці року, а найменшу в зимові.

Теплові сонячні електростанції поділяють на три типи. Всі вони ґрунтуються на концентрації променів сонця в певних конкретних точках для випаровування води і подальшою передачею її на переробку до парогенераторів. Загальні схеми даних установок наведено на рисунку 1.8.



а – баштові; б – параболічні; в – тарілкові.

Рисунок 1.8 – Основні типи теплових сонячних електростанцій

Всі наведені на рисунку 1.8 сонячні електростанції працюють за однаковим принципом, що описаний вище. Необхідно зазначити, що дані сонячні електростанції є малопоширеними на території України та фактично не використовуються.

Отримання електричної енергії на пряму є більш вигідним з точки зору використання сонячної радіації. Для забезпечення даного процесу необхідною умовою є використання фотоелектричних установок. Дані фотоелектричні установки використовуються в вигляді сонячних панелей. Для проведення подальшого аналізу пропонується розглянути подібну до попередньої схему виробництва електричної енергії (рис. 1.9).

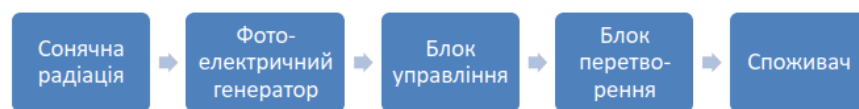


Рисунок 1.9 – Загальна схема роботи фотоелектричних станцій

Основним принципом дії даного перетворювача ґрунтується на процесі виникнення заряду електричної енергії в фотоелементах панелей. В якості фотоелементів зазвичай використовують кремній з різними домішками. При цьому більшість сонячних панелей мають порівняно низький ККД, з геліоколекторами. ККД сонячних панелей знаходиться в межах від 12% до 15%. При цьому для роботи сонячних електростанцій необхідно використання додаткового обладнання, що значно здорожчує загальну вартість сонячної електростанції. Необхідно зазначити, що робота сонячних електростанцій з прямою передачею електричної енергії в мережу є малоефективною, а отже потребує певного акумулювання. При цьому кількість акумуляторних батарей також потребує регуляції та контролю відповідним обладнанням.

Для подальшого аналізу наведемо загальну будову сонячної панелі, що використовується в сонячних електростанціях (рис. 1.10).

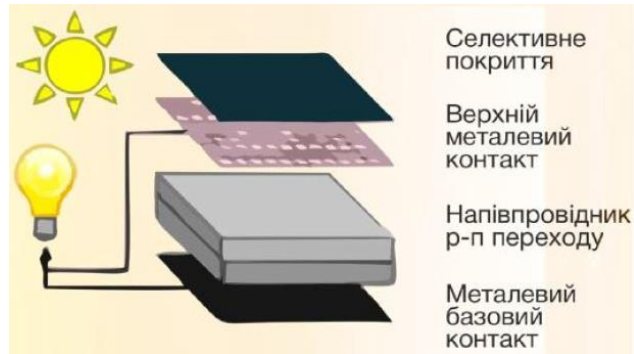


Рисунок 1.10 – Загальний принцип влаштування панелей з фотоелементами

В результаті роботи сонячних електростанцій на фотоелементах, виробляється певна кількість електричної енергії, що подається на інвертор, який виконує функцію контролю та керування роботою електростанції. При цьому електрична енергія направляється або до споживача одразу або до акумуляторних батарей з подальшим акумулюванням до моменту її використання.

Не останню роль в використанні альтернативних джерел енергії відіграє вітроенергетика. Перетворення енергії вітру виконують за умови використання спеціальних вітроустановок, що здійснюють перетворення енергії вітру в механічну енергію з подальшим її перетворення в електричну. Головним елементом установки є вітроколесо, яке перетворює кінетичну енергію в механічну енергію. В залежності від конструктивних особливостей вітроколеса подальша передача механічної енергії може здійснюватися одразу на електрогенератор або через систему редукторів на електрогенератор.

Для більш детального аналізу наведемо загальний принцип будови вітрогенератора (рис. 1.11).

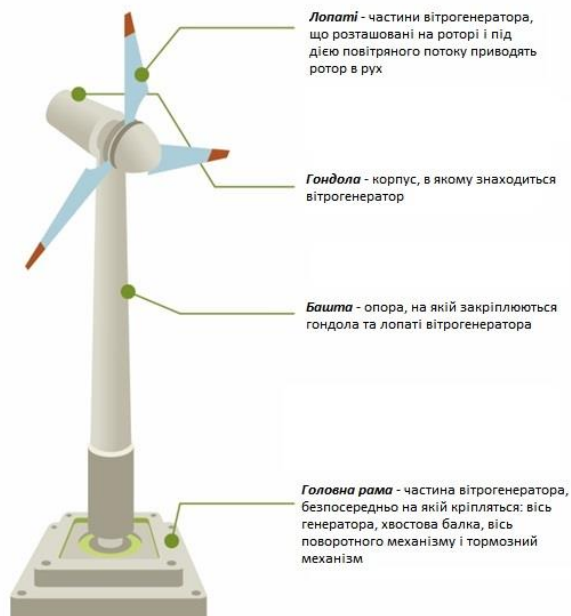


Рисунок 1.11 – Загальна будова вітрогенераторної установки

Необхідно зазначити, що вітроустановки поділяються на два основні типи: вітроустановки з горизонтальною віссю обертання; вітроустановки з вертикальною віссю обертання. Необхідно зазначити, що існує додатковий поділ за типами лопастей, конструкцією башти та іншими елементами вітроустановки.

Для розуміння ефективності використання вітроустановок необхідною умовою є аналіз потенціалу енергії вітру на території України (рис. 1.12).

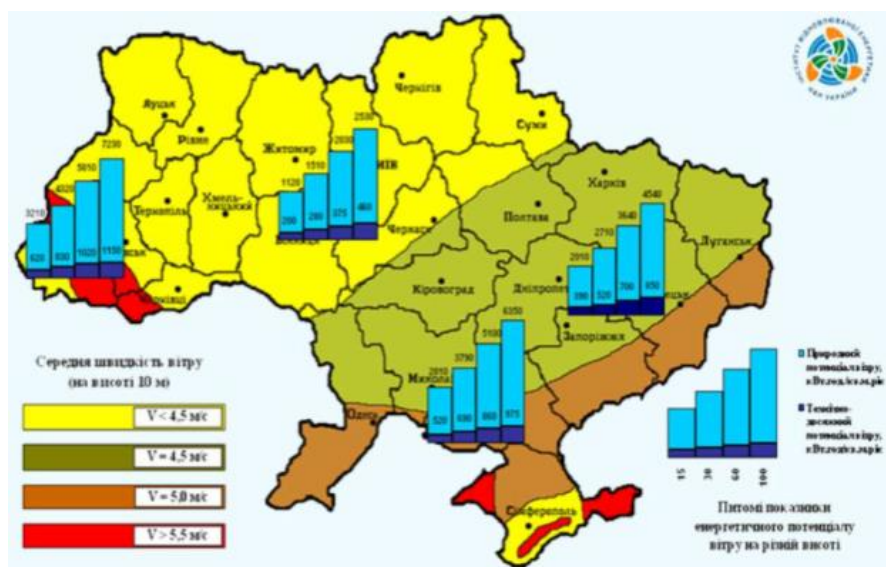


Рисунок 1.12 – Потенціал енергії вітру території України

Необхідно зазначити, що в більшості літературних джерел використовується цифра 1170 МВт в якості встановленої потужності для даного типу установок в умовах України.

З рисунку 1.12 можна зробити висновок, що порівняно з сонячною енергією, енергія вітру не має такого потенціалу. Основними зонами з кращими вітрами є південь України та фактично Закарпаття, а отже використання вітряків в даних місцях є найбільш ефективним. Необхідно зазначити, що спостерігається певний ріст потужностей виробітку електричної енергії від вітроустановок і станом на сьогодні даний показник більше 651 ГВт електричної енергії.

Іншим видом відновлювальних джерел енергії, що також є актуальним для умов України це енергія біомаси. Біомаса це різноманітні речовини що мають органічне походження. До біомаси відносять різноманітні відходи сільськогосподарських культур, деревообробної промисловості та інше.

В Україні частка електричної енергії, що виробляється з енергії біомаси станом на 2022 рік складала приблизно 2,2 %. Необхідно зазначити, що на сьогодні є можливість використання 23 млн. тон різного роду біомаси. Основну частину даного обсягу складають різноманітні продукти рослинництва, що мають побічний характер та різноманітні енергетичні культури, що вирощуються цілеспрямовано для використання їх для переробки.

До побічних продуктів від рослинництва відносять соломку різних культур, стебла кукурудзи та соняшнику та інше. До енергетичних культур відносяться різноманітні типи енергетичної тополі та верби, міскантус та інші культури.

В Україні є прогнозування до 2050 року, де сказано, що частка вирощування енергетичних культур залишиться без зміни. Зросте частка використання в енергетиці відходів продукції рослинництва, а саме соломи та стебел рослин, а також різного роду лушпиння насіння. При цьому прогнозується ріст близько 25 %.

Основними причинами для розвитку біоенергетики в Україні є здобуття певної енергетичної незалежності, розвиток місцевих економік та отримання додаткового доходу для фермерів за умови продажу біомаси в енергетику.

Необхідно зазначити, що в даному випадку також є і певні бар'єри в його розвитку. До подібних бар'єрів можна віднести нерозвиненість даного ринку паливних ресурсів, монополія ринку теплопостачання та низька інвестиційна активність даного напрямку.

В Україні станом на сьогодні діє фактично два механізми зі стимулювання. До них відносяться так званий зелений тариф та різноманітна розвинена система аукціонів. Зелений тариф встановлено для отримання електричної енергії від відновлювальних джерел енергії але з обмеженням до 2030 року. При цьому система аукціонів дозволяє отримувати ціну на електричну енергію тривалістю до 20 років. Тарифи на системі аукціонів регламентуються Законами України, а отже підтримуються на рівні держави.

Ще одним з альтернативних джерел енергії є енергія водних ресурсів України. До них відноситься енергія річок та енергія морів. Енергія річок в основному представлена гідроелектростанціями різної потужності та розмірів. ГЕС перетворюють механічну енергію руху води на електричну енергію. Більш детально розглянемо особливості будови гідроелектростанцій, що розміщуються на річках (рис. 1.13).

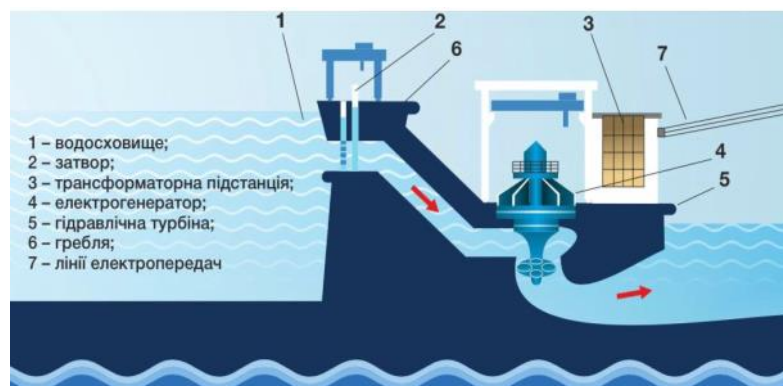


Рисунок 1.13 – Загальна будова гідроелектростанцій річок

Як видно з рисунку 1.13, роботу гідроелектростанції забезпечує турбіна з електрогенератором. Швидкість руху води забезпечується перепадом висоти

греблі, що також забезпечує певний запас води. Вода рухаючись зверху до низу приводить в дію турбіну з генератором, що виробляє електричну енергію при цьому собівартість її є дуже низькою в порівнянні з електричною енергією отриманою від інших відновлювальних джерел енергії.

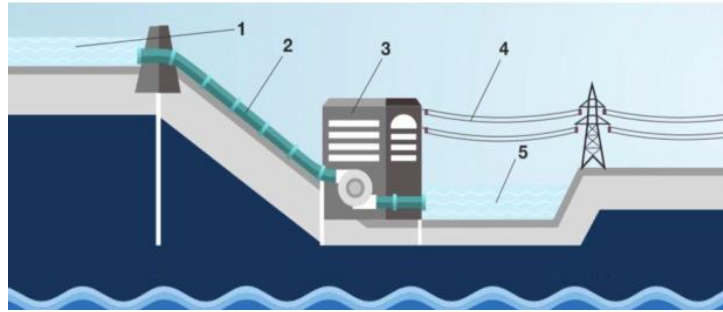
Виходячи з цього використання ГЕС має свої певні переваги та недоліки. До переваг відносяться мала собівартість електричної енергії та можливість електрифікації навіть віддалених районів. Іншою перевагою є також можливість регулювання паводків на річках.

До недоліків відносяться негативний вплив на екологічну складову річки та прилеглих до ГЕС територій з їх можливим затопленням. Також в результаті побудови гребель виникають певні процеси в осушенні річок за ними до моменту набору води в водосховищі.

Меншої шкоди екосистемам задає мала гідроенергетика, що розташовується на невеликих річках з незначним підняттям рівня води. Виходячи з цього виникає можливість проведення певної децентралізації енергетичної системи з прив'язкою до річкових систем.

Для розуміння особливостей виробітку електричної від ГЕС необхідно зауважити, що спостерігається певного роду її нерівномірність. Дана нерівномірність пов'язана з зменшенням рівня води особливо в літні місяці року.

Ще одним варіантом отримання енергії від водних ресурсів є використання гідроакumuлюючих електростанцій. Даний тип електростанцій не виробляють самостійно електричну енергію, а є певного роду акумулятором збереження енергії виробленої від інших джерел електричної енергії. Для розуміння особливостей використання та роботи даних електростанцій розглянемо загальну будову (рис. 1.14).



1 – водойма верхня; 2 – система труб; 3 – агрегатне приміщення електростанції; 4 – лінії електропередачі; 5 – водойма нижня.

Рисунок 1.14 – Схема організації гідроакumuлюючої електростанції

Даний тип електростанцій працює в двох режимах. першим режим це насосний, а другий – турбінний або генераторний. Виходячи з цього можна описати роботу даної електростанції. В нічний час вона споживає електричну енергію перекачуючи воду з нижньої водойми в верхню насосами електростанції. В денний час або за необхідності отримання додаткової електричної енергії вода скидається на турбінні агрегати електростанції по принципу ГЕС з виробітком електричної енергії та передачею її до електричної мережі.

В країні діє певна енергетична стратегія пов'язана з розподілом виробництва електричної енергії та прогнозом до 2030 року. Так виробництво електричної енергії від гідроелектростанцій планується збільшити до 14 000 МВт. Хоча в результаті російської агресії спостерігається певні руйнування на різноманітних гідроелектростанціях. Виробництво електричної енергії від гідроакumuлюючих електростанцій фактично залишається сталим, а отже будівництво нових чи модернізація застарілих електростанцій не планується до 2030 року.

1.3 Джерела локального генерування електроенергії в системах централізованого та розподіленого її споживання

Локальними джерелами для отримання електричної енергії є фактично саме відновлювальні джерела енергії та ті джерела енергії, що знаходяться

безпосередньо поруч з споживачем. Доцільно зауважити, що навіть традиційні джерела енергії можуть бути також використані в якості локальних джерел енергії.

Локальні системи мають ряд переваг пов'язаних з їх роботою. Оскільки вони знаходяться в безпосередній близькості зі споживачем то в них фактично відсутні втрати електричної енергії на транспортування а отже і зменшення її вартості. При цьому всі дані системи мають доволі високу надійність.

Іншим варіантом є розосереджені варіанти генерації електричної енергії. При цьому використовуються невеликі установки генерування електричної енергії, що можуть підключатись до загальної електричної мережі чи можуть працювати автономно. До джерел розосередженої генерації відносять теплоелектроцентралі, що працюють на підприємствах чи на територіях з низькою населеністю. Також до них можуть відноситись різноманітні блок-станції, що також знаходяться в використанні підприємств та є їх власністю.

Розосереджені джерела генерації об'єднуються в системи розосередженого генерування. При цьому в неї об'єднуються всі джерела розосередженого генерування, електричні мережі та кінцеві споживачі.

Основним фактором впливу розосереджених джерел генерації є їх вплив на електричні мережі різного роду неконтрольованих факторів, що впливають з навколишнього середовища. Їх поділяють на три групи. До першої групи відносяться відновлювальні джерела енергії зі малим рівнем керування генерування електричної енергії, що пов'язане з перепадами генерування протягом доби чи зміною погодних умов.

До другої групи відносять відновлювальні джерела енергії, що пов'язані з керованим в дотатній мірі генеруванням. При цьому вони мають стабільне генерування електричної енергії протягом певного часового проміжку.

До третьої групи відносяться фактично джерела енергії, що є традиційними та мають кероване генерування. Відмінністю з попередніми групами є абсолютна керованість генерацією.

Зазначимо, що певне розосередження джерел генерації здатне призвести до певного економічного розвитку регіону. Окрім економічного розвитку виникає можливість збільшення соціального та технологічного розвитку.

Хоча подібне розосередження має і перелік недоліків, що пов'язані зі складним прогнозуванням виробітку кількості електричної енергії від відновлювальних джерел енергії. Також паралельна робота значного числа подібних джерел потребує досліджень та збільшення практичного досвіду.

Пропонується також розглянути розподіл потужностей від різних джерел енергії, що діють на території України (рис. 1.15).



Рисунок 1.15 – Потужності різних джерел енергії України

На рисунку 1.15 розглянуто послідовність з вказанням кількості електричної енергії виробляються тими чи іншими джерелами. При цьому основну частину генерації електричної енергії забезпечується атомними електростанціями і відповідно найменше отримуємо від енергії біопалива.

Переваги та основні недоліки по всім джерелам генерування наведено в таблиці А1 додатку.

Висновки до розділу

Проведений аналіз різноманітних джерел енергії дають можливість зрозуміти та спрогнозувати певні особливості реалізації електропостачання різних підприємств та регіонів. Потрібно зазначити, що основну проблему в

роботі електричної системи вносять різноманітні відновлювальні джерела енергії, що не мають постійного виробітку електричної енергії протягом доби чи певного часу. При використанні відновлювальної енергетики потрібною умовою є значне підвищення контролю за всіма параметрами роботи системи. Традиційні джерела енергії мають порівняно менший параметр керування, а отже вони все ж таки повинні займати основне місце. Відновлювальні джерела енергії все ж можна використовувати в якості підтримки енергетичної системи.

2 АНАЛІЗ КОМПОНЕНТІВ КОМБІНОВАНИХ СИСТЕМ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

2.1 Загальний опис комбінованих систем електропостачання

Основною проблемою сучасного енергопостачання є децентралізація окремих її ділянок зі зменшенням витрат на пов'язаних з забезпеченням паливом даних електростанцій. Як було описано в попередніх розділах основним недоліком є нерівномірність виробітку електричної енергії в певних часових проміжках. Дана проблема викликає потребу в комбінуванні традиційних джерел енергії з відновлювальними джерелами енергії. При цьому не є виключення використання різноманітних типів джерел енергії з можливістю комбінування навіть дизельгенераторів.

Основною метою комбінування полягає в максимальному використанню джерел енергії на альтернативних джерелах та акумуляторних елементів. Весь цей ряд пропозицій проводиться фактично для забезпечення економії палива традиційних джерел енергії.

Найбільш часто на сьогодні використовуються комбіновані системи на основі вітрогенератора та сонячної електростанції. При цьому необхідно зазначити, що підвищення надійності даної системи можна забезпечити з використанням дизельних генераторів. В якості елемента для підвищення надійності може виступати також електрична мережа, від якої здійснюється заряджання акумуляторних батарей альтернативних джерел енергії. Дане регулювання можна виконати з використанням пристроїв типу АВР, що дозволить забезпечити вчасне перемикання між сонячною електростанцією та дизельгенератором або електричною мережею.

Для подальшого аналізу пропонується розглянути таку гібридну систему, що включатиме всі наведені елементи такі, як вітрогенератор, дизельгенератор, сонячна електростанція та електрична мережа. Загальна схема подібної мережі наведена на рисунку 2.1.

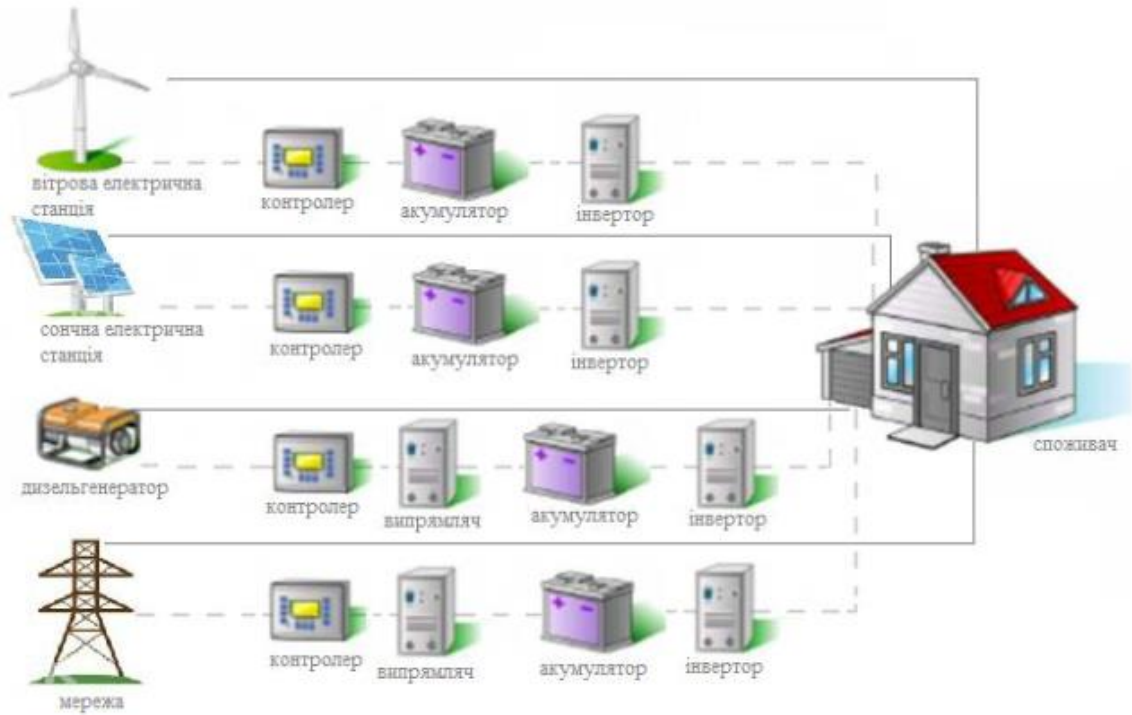


Рисунок 2.1 – Загальний вигляд запропонованої гібридної системи для аналізу

Опишемо наведену систему та особливості її роботи. Вітроустановка та сонячна електростанція виробляють постійний струм, що використовується для заряджання акумуляторних батарей. У випадку перевитрати електроенергії споживачем, а також за умови великого розряду акумулятора та неможливістю заряджання його від сонячних панелей та вітроустановки виконується автоматичне вмикання дизельного генератора. Дизельгенератор в даному випадку фактично перекриває недостачу виробітку електричної енергії та забезпечує безперебійність системи електропостачання. Додатково необхідно забезпечити можливість безперебійної роботи і від електричної мережі.

Заряджання акумуляторів від сонячної електростанції та вітроелектроустановки виконуються через контролер. А для дизельного генератора та від мережі окрім контролера необхідною умовою є використання випрямляча. Споживання електричної енергії від акумуляторних батерей виконується за рахунок інвертора.

Виходячи з вищенаведеного основною задачею впровадження даної системи є ефективно акумулювання електричної енергії батареями, а також вибір необхідної їх кількості для забезпечення тривалості споживання електричної енергії.

2.2 Особливості акумулювання електричної енергії

Особливості акумулювання сьогодні характеризуються різноманітним принципом роботи та фізикою природи. На сьогодні використовують наступні типи накопичення енергії від сонячної електростанції чи вітрогенераторної установки: акумуляторні батареї, що використовують електрохімічні процеси; застосування стисненого повітря; супермаховик; гідравлічна енергія.

Для проведення подальшого аналізу пропонується виконати додатково більш детальний аналіз всіх способів.

Акумуляторні батареї зберігають електричну енергію в вигляді різноманітних електрохімічних реакцій. Акумуляторна батарея складається з електроліту та 2-х електродів. Один електрод є негативним а другий позитивним. В результаті взаємодії всіх компонентів акумулятора утворюється різниця потенціалів. Необхідно зауважити, що об'єм електричної енергії який може зберігати акумуляторна батарея залежить від кількості активних іонів в електроліті батареї. При цьому потужність акумулятора характеризується площею поверхні для кожного з електродів, це пояснюється вступанням в хімічну реакції більшої кількості матеріалів.

Акумуляторні батареї можна збирати в системи акумуляторів, що складаються з декількох елементів. Особливістю з'єднання акумуляторів є паралельне або послідовне з'єднання. Загальна схема та принцип роботи акумуляторів наведено на рисунку 2.2.

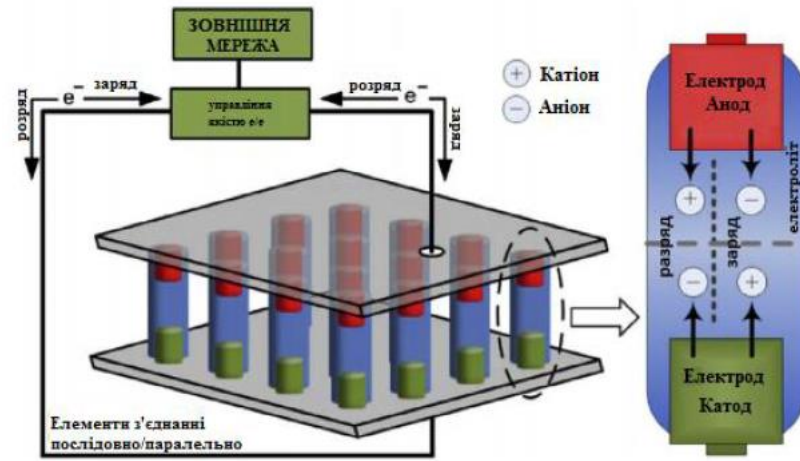


Рисунок 2.2 – Особливості принципу роботи акумуляторних батарей

Основним недоліком акумуляторних батарей є обмеження в циклах заряджання та розряджання. Іншою проблемою є утилізація батарей адже в їх складі містяться різноманітні хімічні речовини.

Сьогодні доволі широко використовують проточні акумулятори, що виконують накопичення енергії в електролітах, що є рідкими. Функціонування даної системи виконується за рахунок окисно-відновлювальних реакціях електролітів.

Найбільш розповсюдженими типами акумуляторних батарей, що застосовуються сьогодні відносяться описані в таблиці 2.1 типи.

Таблиця 2.1 – Типи акумуляторних батарей, що використовують для роботи з відновлювальними джерелами енергії

Тип акумулятора	Стан засвоєння	Значення вихідної потужності, МВт	Час реакції	Ефективність, %	Термін служби	
					рік	цикл
Літій-іонний	введені в дію	0,001...5	секунда	80...90	10...15	5000-10000
Натрієво-сірчаний	введені в дію	1...200	секунда	75...85	10...15	2000-5000
Свинцево-кислотний	введені в дію	0,001...200	секунда	65...85	5...15	2500-10000
Водневий	проводиться тестування	100...500	хвилина	менше 40	10...30	данні відсутні

Виходячи з даних таблиці 2.1 певні особливості використання різновидів акумуляторних батарей. На сьогодні на наш погляд найбільш кращими є літій-іонний тип акумулятора, що має доволі гарні характеристики.

Інші види акумуляювання енергії є менш розповсюдженими, тож розгляд їх не проводити не будемо. Необхідною умовою аналізу схеми забезпечення електричною енергією від гібридної системи є розуміння призначення контролера та інвертора, а отже доцільно провести опис саме їх.

2.3 Особливості роботи контролера

Контролер в основному використовується для здійснення керування зарядом та розрядом акумуляторів. Подібний контроль виконується в основному для забезпечення тривалості експлуатації акумуляторної батареї.

У випадку постійного перезаряду веде до закипання електроліту, а значний розряд акумуляторів призводить до сульфатації пластин з завершенням експлуатації батареї. Найбільш вразливі до перезаряду (перерозряду) свинцево-кислотний тип акумуляторів.

Всі операції по підключенні чи відключенні джерел генерації виконується в автоматичному режимі. Також контролер виконує підключення навантаження за умови достатнього заряду акумуляторної батареї. В сонячних електростанціях використовують в основному контролери наступних типів:

- що використовує широтно-імпульсний тип модуляції;
- що використовує алгоритм пошуку точки з максимальним значенням потужності.

Перший тип контролерів є послідовним, який здійснює відключення заряду акумулятора за умови повного її заряджання. При цьому даний тип контролерів дозволяє забезпечити 100% заряджання акумуляторів. Подібні контролери використовують в сонячних електростанціях потужністю 0,1...2кВт. Необхідно зазначити, що відключення струму заряду даним контролером виконується поступово, що дозволяє уникнути перегрівання батареї.

Даний контролер забезпечує як тепловий так і електронний захист, що дозволяє забезпечити захисти від коротких замикань, високих значень напруги та інших проблемних моментів.

Другий тип контролерів з алгоритмом пошуку точки з максимальним значенням потужності дає можливість заряду акумуляторів з використанням низьких значень номінальної напруги, що є нижчим від значення для сонячних електростанцій. Даний тип контролера фактично виконує всі вищеописані функції але з забезпеченням неможливості розряду батареї через роботу сонячних панелей в темну пору доби.

Всі акумулятори характеризуються певного роду кривими заряду (розряду), а отже контролери повинні забезпечувати ефективно їх використання (рис. 2.3).

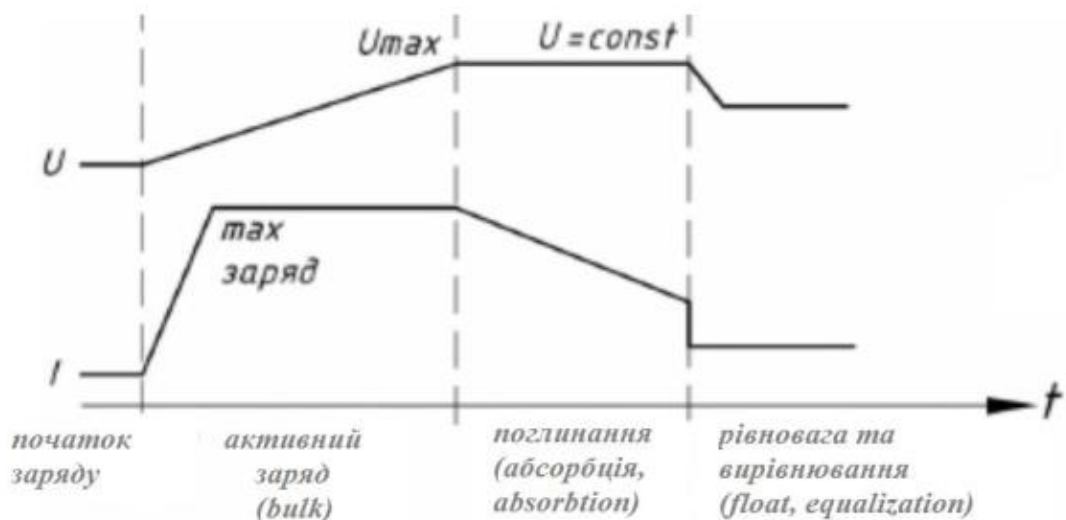


Рисунок 2.3 – Особливості заряду та розряду акумуляторних батарей з використанням контролерів

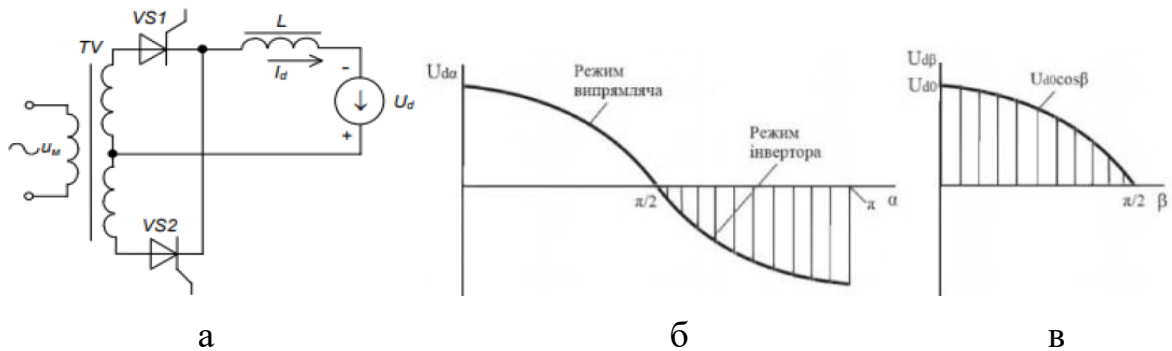
Криві графіка (рис. 2.3) описують особливості зміни параметрів контролю за величиною напруги та струму починаючи від початку заряджання і закінчуючи повним зарядом батареї.

2.4 Особливості застосування інверторів в гібридних системах

Інвертори в гібридних системах використовуються для здійснення перетворення постійного струму в змінний від акумуляторних батарей. На

сьогодні існує поділ інверторів на дві групи: автономні та мережеві. Додатково їх поділяють на дві групи за параметром перетворення: за параметром струму та за параметром напруги.

Для подальшого аналізу проведемо аналіз даних типів інверторів. Мережевим є інвертор, що у якого частота переключень визначається частотою, що характеризує мережу змінного струму. Схема мережевого інвертора наведена на рисунку 2.4.



а – принципова схема інвертора; б – робота в режимі випрямляча; в – робота в режимі інвертора

Рисунок 2.4 – Схема мережевого однофазного інвертора та його характеристики регулювання

Даний інвертор (рис. 2.4, а) фактично працює в двох режимах: $\alpha > 90^\circ$ - робота в режимі випрямляча; $\alpha < 90^\circ$ - робота в режимі інвертора. Подібну роботу можна зобразити графічно (рис. 2.4б, в).

При підключенні даного типу інверторів основними вимогами є синхронізація його з електричною мережею та повна відповідність параметрів його роботи мережі. Обов'язковою вимогою є необхідність негайного відключення за умови збою роботи мережі змінного струму.

Даний тип інверторів застосовують для забезпечення плавності регулювання обертів електродвигуна та для регулювання процесами їх гальмування.

Іншим типом інверторів є автономні інвертори. Даний тип інверторів працюють на забезпечення автономності навантаження. При цьому всі інші параметри обираються з необхідних умов роботи обладнання. Даний тип

інверторів здатен перетворювати постійний струм на змінний з різними частотами. Схема автономного інвертора найбільш простішого вигляду та діаграми його характеристик наведено на рисунку 2.5.

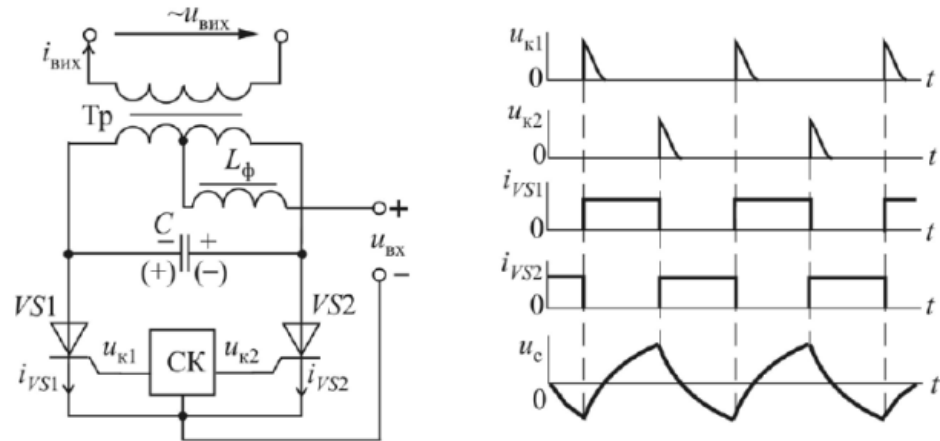
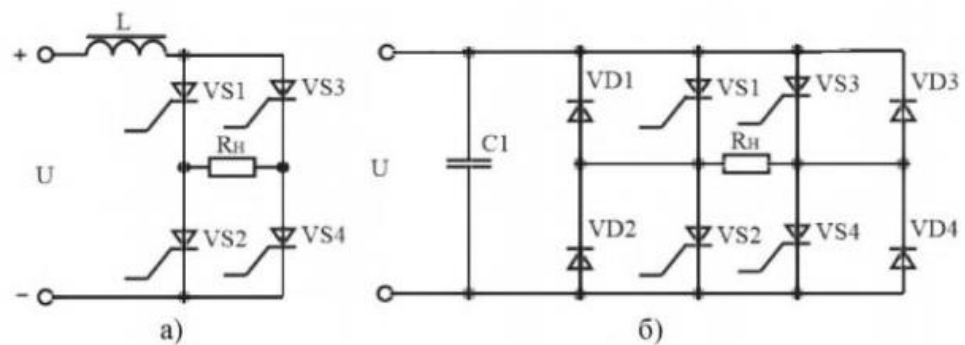


Рисунок 2.5 – Принципова схема автономного інвертора та його діаграми струмів та напруг

Автономні інвертори в основному використовують у випадках коли джерелом живлення є джерело з постійним струмом; у системах де 100% споживання напруги. Дуже великого розповсюдження дані інвертори набули у випадках коли необхідно виконувати живлення обладнання, з частотою відмінною від значення промислової та для виконання частотного регулювання електричних двигунів.

Як зазначалось вище, в залежності від електромагнітних процесів, що проходять в інверторах їх поділяють на інвертори струму та напруги. Загальні схеми даних типів інверторів наведено на рисунку 2.6.



а – інвертор струму; б – інвертор напруги.

Рисунок 2.6 – Принципові схеми інверторів

У інверторі струму (рис 2.6, а) комутація тиристорів виникає при сталій величині струму. А в інверторах напруги (рис. 2.6, б) комутація тиристорів відповідно проходить при сталій величині напруги.

Висновки до розділу

Для аналізу наведено гібридну систему живлення, що є найбільш складною в виконанні процесів збалансування та генерації електричної енергії для забезпечення безперебійної роботи споживачі. Аналіз обладнання дає можливість провести вибір необхідних його типів з вказанням особливостей регулювання та синхронізації з електричною мережею. Розуміючи перелік обладнання, що використовується та його основні принципи роботи можна виконати аналіз оптимізації основних процесів їх роботи.

3 ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ ОПТИМІЗАЦІЇ РОЗПОДІЛУ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ В ЛОКАЛЬНИХ СИСТЕМАХ

3.1 Визначення основних моделей проведення аналізу

Розвиток розподільчих мереж полягає в використанні джерел генерування та акумулювання електричної енергії в них. При цьому основною вимогою є підбір найбільш оптимальних параметрів під даний тип мережі. При цьому необхідною умовою протікання всіх процесів генерування, акумулювання та споживання є певний часовий проміжок.

Пошук оптимальних функцій зводиться до визначення екстремумів з найбільшими та найменшими значеннями. Пояснення до вибору значень екстремумів наведено на рисунку 3.1.

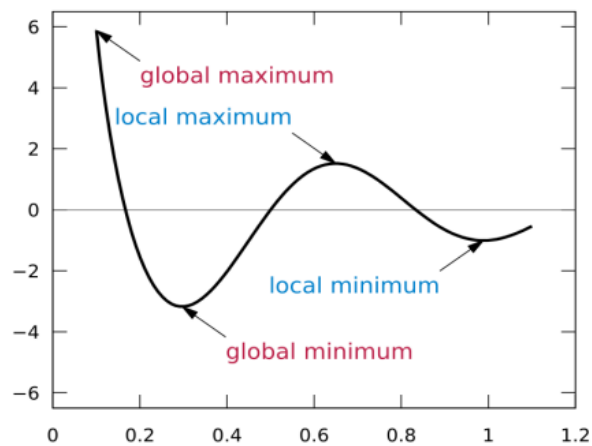


Рисунок 3.1 – Особливості вибору екстремумів

Запропонований метод реалізується в наступному порядку, описаної нижче. З будь якої точки A_1 здійснюється певний перелік кроків, що пов'язані з рухом до певного екстремуму, що є локальним. При виконанні пошуку застосовують певного роду одномірність чи певну багатомірність. Схема для проведення аналізу наведена на рисунку 3.2.

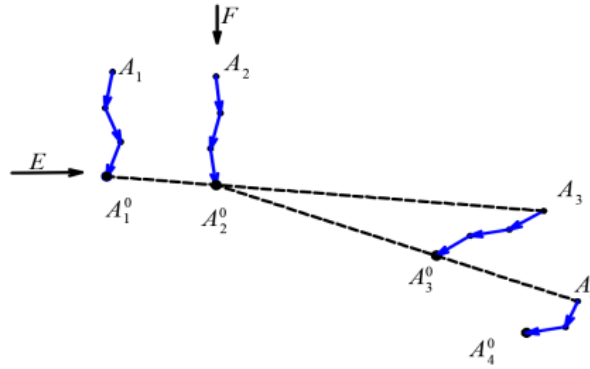


Рисунок 3.2 – Графічне зображення запропонованого методу пошуку екстремумів

При русі по нахилу до «яру» з кривизною достатньо великою, а кожний наступний крок веде до зміни загального значення для кінцевої цільової функції. Спуск по цільовій функції йде до тих пір, поки значення цільової функції не буде меншим певної величини ϵ . Виходячи з цього виникає певного роду дно «яру» з завершенням в певній точці A_1^0 . Наступним кроком є крок у зворотному напрямку від першого кроку по локальному напрямку. Основною умовою другого кроку є суттєве перевищення першого кроку локального максимуму з отриманням наступної точки A_2 .

Наступним кроком є повторення двох попередніх кроків, але вже з точки A_2 . В результаті отримуємо точку A_2^0 , яка знаходиться на дні «яру». Далі проводимо з'єднання між собою дві точки A_1^0 та A_2^0 .

Наступним кроком є продовження лінії з'єднання двох точок A_1^0 та A_2^0 в бік меншого значення. Результатом є отримання певної точки A_3 . І в подальшому дана точка обирається початком локального екстремуму та знову проводять попередні кроки локального спуску.

Проводячи таким чином визначення локальних переміщень вищеописаним методом є можливість визначити «дно яру», а також з достатньою ефективністю визначити значення для глобального екстремуму. Локальний пошук з визначенням «дна яру» можна представити в графічному вигляді (рис. 3.3), а пошук з нелокальним швидким переміщенням наведено на рисунку 3.4.

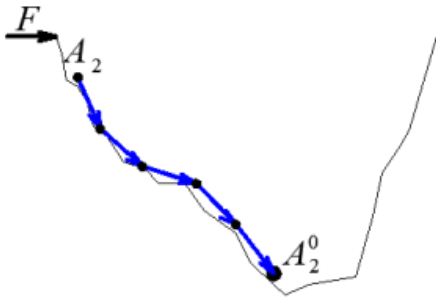


Рисунок 3.3 – Графічний вигляд пошуку глобального екстремуму

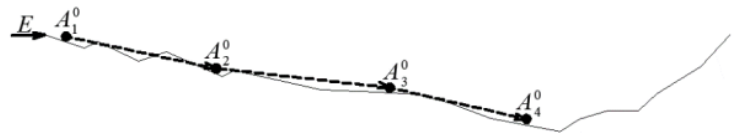


Рисунок 3.4 – Графічний вигляд нелокального швидкого пошуку

Вищенаведений алгоритм дозволяє проводити аналіз застосування різноманітного багатовимірного та одновимірного аналізу. Необхідно зазначити, що застосування даного методу потребує застосування обмежень процесу побудови локальних спусків.

При цьому дану методико можна також проводити аналіз різноманітних електричних мереж, в тому числі і розподільчих мереж. Виходячи з цього розглянемо певну ділянку такої мережі з n кількістю джерел розосередженої генерації (відновлювальних джерел енергії). При цьому дані джерела генерують певне значення потужності P_{it} . Дана потужність може бути як накопиченою так і відданою одразу в електричну мережу споживачам. При цьому потужність розглядається в певному проміжку часу t . Подібну задачу можна зобразити певного роду графічно (рис. 3.5).



Рисунок 3.5 – Графічне зображення задачі аналізу розподільчих мереж з джерелами розосередженої генерації

Першим етапом є обґрунтування необхідних цільових функцій, що впливають на прийняття рішень. Додатково необхідно передбачити, що розподіл навантаження проводиться відповідно до чинників, до яких можна віднести різноманітні економічні, екологічні чи технічні чинники. Данні чинники можна описувати різноманітними необхідними показниками проведення подальшого аналізу.

Виходячи з такого зауваження перелік цільових функцій може бути доволі широким. При цьому кожна з даних цільових функцій може бути описана рівнянням:

$$F_{jt}(P) = \sum_{i=1}^n a_{ji} P_{ji} \quad (3.1)$$

де $j = 1, \dots, m$ – кількісний показник цільових функцій;

n – кількість розосереджених джерел генерування;

t – часовий проміжок.

Зазначимо, що в результаті проведення аналізу може виникнути ситуація, що цільові функції можуть потребувати максимізації або мінімізації. В результаті цього функція матиме вигляд:

$$F_{jt}(P) \rightarrow_{P \in L}^{extr}, j = 1, \dots, m, P = \{P_1, \dots, P_i, \dots, P_n\} \quad (3.2)$$

де m – кількісний показник цільових функцій.

Необхідно зазначити, що використання даних функцій математично не можливо для вирішення практичної задачі аналізу розподільних електричних мереж з розосередженими джерелами генерування. Виходячи з цього наведемо вираз для аналізу задіяних джерел генерування, що мають мінімальне значення експлуатаційних витрат:

$$F_1(P) = a_{11}P_1 + a_{12}P_2 + \dots + a_{1i}P_i + \dots + a_{1n}P_n \rightarrow \min \quad (3.3)$$

де $a_{11}, a_{12}, \dots, a_{1i}, \dots, a_{1n}$ – значення експлуатаційних витрат в розосередженій мережі в розрахунку на 1 кВт.

Подібну функцію можна описати функцію для визначення джерела генерування з мінімальним параметром використання:

$$F_2(P) = a_{21}P_1 + a_{22}P_2 + \dots + a_{2i}P_i + \dots + a_{2n}P_n \rightarrow \min \quad (3.4)$$

де $a_{21}, a_{22}, \dots, a_{2i}, \dots, a_{2n}$ – максимальне значення годин використання джерел генерування.

Не можна відкидати і екологічність використання джерел генерування енергії. Рівняння для визначення джерел з мінімальним екологічним впливом має вигляд:

$$F_3(P) = a_{31}P_1 + a_{32}P_2 + \dots + a_{3i}P_i + \dots + a_{3n}P_n \rightarrow \min \quad (3.5)$$

де $a_{31}, a_{32}, \dots, a_{3i}, \dots, a_{3n}$ – величина шкідливих викидів чи впливу на екологічність.

В якості обмежень для аналізу електричних мереж з розосередженими джерелами енергії можна розглядати певного роду технічні параметри джерел генерування:

$$P_{it}^{\min} \leq P_{it} \leq P_{it}^{\max} \quad (3.6)$$

де P_{it} – доля навантаження на i -те джерело генерування;

$P_{it}^{\min}, P_{it}^{\max}$ – доля навантажень, що є максимальними чи мінімальними.

Іншим обмеженням може бути дотримання балансу генерування та споживання електричної енергії:

$$\sum_{i=1}^n P_{it} = A_t \quad (3.7)$$

де A_t – значення сумарного навантаження за певний період часу t .

Вищенаведені значення дають можливість проводити певне моделювання процесів генерації електричної енергії сонячних електростанцій з використанням розосереджених джерел виконання генерації.

Більш складнішими є процеси багатокритеріального аналізу. При цьому складність моделей потребує використання програмного забезпечення, при цьому кожного разу необхідно вносити в рівняння додаткові змінні, що дозволять більш якісно проводити аналіз. Необхідно зазначити, що більшість функцій для визначення параметрів забезпечуються вищенаведеними рівняннями.

3.2 Дослідження запропонованої гібридної системи

В попередніх розділах нами розглянуто гібридну систему забезпечення електричною енергією споживача з можливістю акумулювання електричної енергії. Проведемо аналіз даної системи з вищеописаним методом.

Як зазначалось, споживач живиться від чотирьох джерел енергії:

- електричної мережі;
- сонячної електростанції;
- вітроустановки;
- дизельного генератора.

Для проведення дослідження пропонується визначити, яке з даних джерел використовується в довільний момент часу для живлення споживача. За основний період доцільно прийняти час протягом 18 годин.

Пропонується окреслити цільові функції, що повинні визначати:

- задіяння для живлення споживача джерел енергії з найбільшим показником капітальних втрат;
- задіяння для живлення джерела енергії з найменшим значенням максимального часу використання;
- задіяти джерел з мінімальним впливом на екологічну складову;
- використовувати джерела енергії без системи накопичення електричної енергії (зменшення числа зарядів / розрядів акумуляторів);

В якості обмежень обрано наступні:

$$\sum_{i=1}^n P_{it} = A_i = 500 \text{кВт};$$

$$0 \leq P_{EM} \leq 450 \text{кВт};$$

$$0 \leq P_{СЕС} \leq 250 \text{кВт};$$

$$0 \leq P_{ВЕС} \leq 70 \text{кВт};$$

$$0 \leq P_{ДГ} \leq 50 \text{кВт};$$

З даних обмежень видно, розподіл особливостей забезпечення живлення споживача.

При проведенні розрахунків застосовувались однопараметричні рівняння аналізу цільових функцій, що описані рівняннями 3.3-3.5. Розрахунки проводились в програмі Excel. В таблиці 3.1 наведено основні параметри проведення розрахунку та характеристика кожного з видів джерел живлення.

Таблиця 3.1 – Параметри запропонованих до аналізу джерел живлення споживача

Тип джерела живлення	Величина питомих капіталовитрат, грн/кВт	Максимальна кількість годин використання, год	Значення емісії, м ³ /хв	Акумуляування електричної енергії, шт
Електрична мережа	5	24	5	1
Сонячна електростанція	8	3	0	2
Вітрогенератор	6	5	0	0
Дизельний генератор	2	10	4	4

В результаті проведення розрахунків та аналізу отримуємо доволі цікаві данні. Результати розрахунків проведених досліджень для ділянки електричної мережі з розосередженими джерелами генерування для запропонованої гібридної системи зведено в таблицю 3.2.

Таблиця 3.2 – Результати проведеного визначення оптимального розподілу величини навантаження гібридної системи

Тип джерела живлення	Граничні параметри для аналізу за часовий проміжок t , кВт	Значення навантаження джерела енергії, кВт	Відсоток завантаження джерела живлення від встановленої потужності, %
Електрична мережа	$0 \leq P_{EM} \leq 450$	305,3	67,8
Сонячна електростанція	$0 \leq P_{СЕС} \leq 250$	177,5	71,0
Вітрогенератор	$0 \leq P_{ВЕС} \leq 70$	17,2	24,6
Дизельний генератор	$0 \leq P_{ДГ} \leq 50$	0	0

Виходячи з закладених параметрів для аналізу, обмежень та отриманих даних можна зазначити, що в своїй більшості перевага віддаватиметься першочергово отриманню електричної енергії від сонячних електростанцій. При цьому додатково в модель розрахунку закладались кількісні параметри можливої сонячної радіації. Наступним джерелом живлення є електрична мережа. Враховуючи невелику кількість вітру на території України ефективність вітрогенераторів в розосереджених електричних мережах є невеликою.

Необхідно зазначити, що доволі цікава ситуація виникає з дизельним генератором. За умови $0 \leq P_{ДГ} \leq 50$ та того, що він виділяє в навколишнє середовище велику кількість вихлопних газів виникла ситуація з повною відмовою від даного джерела генерування в заданих умовах.

Для більшої наглядності розподілу даних джерел генерування пропонується розглянути діаграму навантаження складових електричної мережі (рис. 3.6).

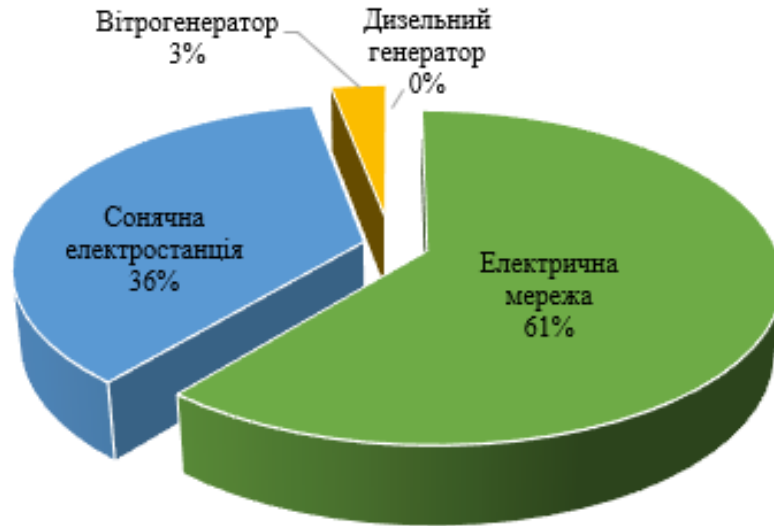


Рисунок 3.6 – Діаграма навантаження складових електричної мережі

Виходячи з діаграми та вищенаведеної таблиці, можна зробити висновок, що для нашої зони та для обраного типу джерел генерування електричної енергії в електричній мережі доцільно використовувати фактично два види: сонячні електростанції в якості відновлювальних джерел енергії та електричної мережі, по якій подається електрична енергія від традиційних джерел енергії.

Висновок до розділу

Проведений аналіз джерел генерування електричної енергії дозволяє виокремити найбільш ефективні серед них з врахуванням заданих цільових функцій та відповідних обмежень. В результаті отримано підтвердження ефективності використання сонячних електростанцій в якості відновлювальних джерел енергії на території України. З наведеними обмеженнями також залишається найбільш ефективним та економічним використання електричної мережі. При цьому спостерігається повна відмова від використання дизельних генераторів фактично через екологічність.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ

В магістерській роботі основна увага приділена різним джерелам генерування електричної енергії в електричних мережах, що в свою чергу є розосередженими. Розглядається фактично чотири варіанти надання живлення споживачу:

- сонячні електростанції;
- вітрогенератор;
- дизельний генератор;
- електрична мережа.

Для аналізу особливостей організації заходів з охорони праці необхідною умовою є визначення міри відповідальності та кінцевої належності кожного джерела енергії.

Електрична мережа поставляє електричну енергію до споживача, а отже є певна межа розподілу відповідальності між постачальником та споживачем. Фактично до електричного лічильника відповідальність покладена на постачальника електричної енергії, а за лічильником відповідальність покладена на споживача.

Всі інші джерела генерування електричної енергії в повній мірі можуть належати споживачеві з повною відповідальністю за них.

Виходячи з цього забезпечення виконання заходів з охорони праці за частину електричної мережі покладено на постачальника, а отже він займається виконанням всіх робіт та дотриманням всіх вимог. Зазначимо що в Україні підтримання належного та якісного забезпечення електричною енергією покладено на облэнерго. В галузі енергетики дотримання всіх вимог по робіт з електричним струмом суворо перевіряється та забезпечується. Виконується підбір відповідних кваліфікованих працівників з подальшим забезпеченням їх засобами індивідуального захисту, робочим одягом, інструментами та обладнанням.

Більша проблема полягає з іншими вищеперерахованими джерелами генерування електричної енергії. У випадку, якщо в ролі споживача виступає

певний побутовий споживач, то забезпечення всіх вимог охорони праці та безпечної експлуатації електроустаткування повинно забезпечуватись саме ним. При цьому операції з монтажу, налагоджування та проведення технічного обслуговування чи ремонту повинні виконуватись фахівцями. Дані фахівці повинні бути висококваліфікованими, мати відповідну освіту та дозволи до проведення подібних робіт.

Роботи по монтажу сонячних панелей чи вітрогенератора можуть виконуватись з використанням підйомного обладнання чи кранів з подальшим монтажем на висоті. А отже виникає необхідність забезпечення даних робіт засобами захисту та страхувальним обладнанням відповідно до умов роботи.

Електричні підключення забороняється виконувати самостійно з виконанням підключення до електричної мережі, а отже першочерговим виникає необхідність узгодження та отримання проектної документації для виконання даних робіт. Наступним проблемним моментом є необхідність виконання робіт відповідно до проекту висококваліфікованими працівниками, що в основному узгоджуються з обленерго.

Необхідно звернути увагу також на вітрогенератори та дизельгенератори. В результаті роботи даних установок виникають певні вібрації, шум, а також шкідливі димові гази від згорання дизельного палива.

Враховуючи подібні особливості їх роботи виникає необхідність розміщення їх на певних відстанях, що дозволить зменшити даний вплив на працівників чи жителів будинків.

Дизельні генератори не рекомендується використовувати в закритих приміщеннях з вихлопом в приміщення та поганою його вентиляцією. Для роботи дизельного генератора необхідною умовою є використання певного об'єму палива та мастила. При цьому заправка та заміна мастила відповідно до регламенту та витрати палива виконується доволі часто, що призводить до необхідності контакту людини зі шкідливим (отруйними) речовинами. При цьому більшість речовин, що використовуються для забезпечення роботи дизельного генератора фактично є горючими або підтримують горіння.

Використання дизельних генераторів потребує забезпечення відповідними засобами пожежогасіння. При цьому чим більш потужніший генератор та запас палива виставляються більші вимоги для забезпечення пожежної безпеки.

У випадку використання великої кількості палива та мастил необхідною умовою є дотримання правил їх зберігання.

Висновки до розділу

Використання гібридних систем ускладнює загалу мережу живлення споживача, що призводить до виникнення значної кількості небезпечних факторів впливу на людину. Дані фактори негативного впливу потрібно враховувати при забезпеченні об'єкта живлення. Виконання заходів охорони праці та електробезпеки дозволяє знизити шкідливість та негативний вплив на людину та навколишнє середовище.

5 ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ

Основною особливістю роботи різного роду систем живлення споживачів має доволі значний вплив на економічні показники. Визначення ефективності використання різноманітних відновлювальних джерел енергії та традиційних джерел потребує певного економічного обґрунтування.

В роботі було розглянуто чотири варіанти живлення споживача, що пов'язані з використанням традиційних методів та відновлювальних джерел енергії.

Результатом розрахунків та вибору за вищенаведеними критеріями найбільш ефективними для живлення споживача на території України є сонячні електростанції в комбінації з живленням від електричної мережі.

Необхідно зазначити, що на сьогодні детально прораховані терміни окупності сонячних електростанцій, що становлять більше 5 років. При цьому для деяких регіонів України термін окупності може становити більше 7 років, що в ситуації війни може бути неприпустимим.

Для розрахунку ефективності використання сонячної електростанції пропонується розглянути місячні показник за рік роботи даного джерела енергії. При цьому в розрахунках враховувалось те, що власник сонячної електростанції користується так званим «зеленим тарифом» та не витрачає кошти на оплату електричної енергії з мережі електропостачання.

Окупність джерел відновлювальної енергетики, в тому числі і сонячної електростанції залежить від великої кількості факторів. Всі ці фактори мають значний вплив на особливості конструкцій та організацію загальної їх роботи.

Іншим значним фактором є те, що особливості використання «зеленого тарифу» напряду підв'язується з споживанням електричної енергії. Виходячи з цього необхідною умовою збільшення ефективності використання «зеленого тарифу» є зменшення споживання електричної енергії з мережі. В результаті цього необхідно використовувати комплексні заходи по енергозбереженню у споживача.

Виходячи з таких факторів пропонується провести аналіз ефективності використання сонячних електростанцій з використанням програми прогнозування та цілей сталої політики до 2030 року.

Основними параметрами, що необхідно закласти в дану програму є виробіток електричної енергії від відновлювального джерела, кількість спожитої електричної енергії, вартість закупівлі електричної енергії з мережі, кількість людей, що користуються електричною енергією та інші показники.

Розрахунки проведемо для приватного будинку з обраними видами живлення від електричної мережі та сонячної електростанції з акумулюванням електричної енергії. Кількість людей, що проживають в будинку беремо – 3 чоловіки. В розрахунки було закладено вартість електричної енергії для побутових споживачів – 4,64 грн за 1 кВт. Необхідно врахувати також зменшення «зеленого тарифу» на сьогодні.

Вихідні данні заносимо до програми і в результаті отримуємо данні використання системи живлення по місяцях року для приватного будинку. Отримані данні зводимо до таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – Данні визначення економії коштів від запропонованої гібридної системи генерації для живлення приватного будинку

Місяць року	Кількість енергії виробленої СЕС, кВт/м ²	Кількість електричної енергії витраченої з мережі, кВт·год	Кількість зекономлених коштів, грн
Січень	40,41	209,59	67,88
Лютий	87,29	162,71	146,64
Березень	162,91	87,09	273,69
Квітень	274,07	0	420
Травень	310,07	0	420
Червень	526,62	0	420
Липень	461,95	0	420
Серпень	416,82	0	420
Вересень	269,053	0	420
Жовтень	153,84	96,16	258,46
Листопад	59,90	190,10	100,63
Грудень	40,18	209,82	67,49
Сума	2803,12	955,47	3434,81

Необхідно зазначити, що приватний будинок споживає фактично від 250 до 500 кВт·год електричної енергії в залежності від площі та електричного обладнання, що використовується в ньому. В розрахунках було обрано мінімальний показник споживання електричної енергії в 250 кВт·год кожного місяця.

В результаті розрахунків, спостерігаємо ситуацію, коли в літні місяці виникає певний надлишок електричної енергії для продажу. Але в цілому отримуємо фактичну кількість зекономлених коштів за рік в обсязі 3434 грн. Відсутність «зеленого тарифу» може призвести до зменшення кількості електричної енергії, що споживається приватним будинком. А отже ефективність використання сонячної електростанції також підтверджується.

Висновок до розділу

Отримані економічні показники наводять значення, що дають можливість розуміння економії коштів в результаті використання гібридної системи. Необхідно зазначити, що окрім коштів є певна енергонезалежність та підтримання роботи електричної мережі будинку в періоди блекаутів та перебоїв з електропостачанням.

ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ

1. Проведений аналіз різноманітних джерел енергії дають можливість зрозуміти та спрогнозувати певні особливості реалізації електропостачання різних підприємств та регіонів. Потрібно зазначити, що основну проблему в роботі електричної системи вносять різноманітні відновлювальні джерела енергії, що не мають постійного виробітку електричної енергії протягом доби чи певного часу. При використанні відновлювальної енергетики потрібною умовою є значне підвищення контролю за всіма параметрами роботи системи. Традиційні джерела енергії мають порівняно менший параметр керування, а отже вони все ж таки повинні займати основне місце. Відновлювальні джерела енергії все ж можна використовувати в якості підтримки енергетичної системи.

2. Для аналізу наведено гібридну систему живлення, що є найбільш складною в виконанні процесів збалансування та генерації електричної енергії для забезпечення безперебійної роботи споживачі. Аналіз обладнання дає можливість провести вибір необхідних його типів з вказанням особливостей регулювання та синхронізації з електричною мережею. Розуміючи перелік обладнання, що використовується та його основні принципи роботи можна виконати аналіз оптимізації основних процесів їх роботи.

3. Проведений аналіз джерел генерування електричної енергії дозволяє виокремити найбільш ефективні серед них з врахуванням заданих цільових функцій та відповідних обмежень. В результаті отримано підтвердження ефективності використання сонячних електростанцій в якості відновлювальних джерел енергії на території України. З наведеними обмеженнями також залишається найбільш ефективним та економічним використання електричної мережі. При цьому спостерігається повна відмова від використання дизельних генераторів фактично через екологічність.

4. Використання гібридних систем ускладнює загалу мережу живлення споживача, що призводить до виникнення значної кількості небезпечних факторів впливу на людину. Дані фактори негативного впливу потрібно

враховувати при забезпеченні об'єкта живлення. Виконання заходів охорони праці та електробезпеки дозволяє знизити шкідливість та негативний вплив на людину та навколишнє середовище.

5. Отримані економічні показники наводять значення, що дають можливість розуміння економії коштів в результаті використання гібридної системи. Необхідно зазначити, що окрім коштів є певна енергонезалежність та підтримання роботи електричної мережі будинку в періоди блекаутів та перебоїв з електропостачанням.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. N. Shakhovska, M. Medykovskyu, R. Melnyk та N. Kryvinska, «Optimization of the Active Composition of the Wind Farm Using Genetic Algorithms,» Tech Science Press (TSP), т. 69, № 3, pp. 3065-3078, 2021.
2. M. Medykovskyu та R. Melnyk, «Modeling of the energy-dynamic modes of the wind farm with the battery energy storage system (BESS),» Journal of Computational Problems of Electrical Engineering, т. 11, № 1, 2021.
3. М. Медиковський, Р. Мельник та М. Дубчак, «Нейромережевий метод визначення активного складу вітрової електричної станції,» Вісник Національного університету «Львівська політехніка» «Інформаційні системи та мережі», т. 8, р. 55 – 64, 2020.
4. M. Medykovskyu та R. Melnyk, «Processing of data on the intensity of solar radiation for solar power plant management systems,» Econtechmod. An international quarterly journal, т. 7, № 3, pp. 33 - 38, 2019.
5. T. Marsudi, A. Suryanto, and I. Darti, “Global stability and optimal control of an hiv/aids epidemic model with behavioral change and treatment,” Engineering Letters 29, 575–591 (2021). [Google Scholar](#)
6. О. Кармазін, Балансова надійність електроенергетичних систем в умовах зростання частки відновлюваної енергетики. Автореферат, Київ: Національної академії наук України, 2019.
7. М. Стаднік, Д. Проценко та С. Бабій, «Гібридне електропостачання з 161 використанням відновлюваних джерел енергії,» Вісник Вінницького політехнічного інституту, № 4, pp. 32-41, 2020.
8. О. Болдирєв, А. Квицинський, М. Редін, М. Клопот та М. Головатюк, «Вимоги до вітрових та сонячних електростанцій при їх роботі паралельно з об'єднаною енергетичною системою України,» 2019. [Онлайновий]. Available: https://ua.energy/wp-content/uploads/2019/06/SOU-NEK-341.001_2019.pdf. [Дата звернення: 06.06.2021].
9. А. Барило, М. Бенменні, В. Будько, М. Будько та П. Васько, Вілновлювальні джерела енергії. Монографія, Київ, 2020.

10. В. Кравчишин, Інтелектуалізація управління комплексною системою генерації електричної енергії, Львів: Національний університет «Львівська політехніка», 2019.
11. Статистичний звіт (IRENA) за 2021 р. [Statistical report (IRENA) for 2021]. Посилання: <https://avenston.com/articles/renewable-capacity-2021>.
12. Кармазін О.О. Вимоги до гнучкості Об'єднаної енергосистеми України в залежності від частки відновлюваних джерел енергії в електроенергетичному балансі / О.О. Кармазін // Відновлювана енергетика та енергоефективність у XXI столітті. Матеріали XX міжнародної науково-практичної конференції, 15 – 16 травня 2019 р.: тези доповідей. – м. Київ, 2019. – С. 107-112.
13. Лежнюк П. Д. Комар В. О., Кравчук С. В. Фотоелектричні станції як елемент енергоефективного електропостачання. Матеріали Міжнародної науковопрактичної конференції «Цілі сталого розвитку третього тисячоліття: виклики для університетів наук про життя». (Київ, 23-25 травня 2018). Київ. 2018. С. 17 – 19.
14. Шчур, І., Галайко, Т., Дзьоба, Т. Економічна ефективність соціальної електростанції в індивідуальному домогосподарстві за різних сценаріїв динаміки «зеленого» тарифу. SEPES. 2021, 3(2), 87 – 102. <https://doi.org/10.23939/sepes2021.01.087>
15. Hamed Haggi James M. Fenton. Techno-Economic Assessment of Net-Zero Energy Buildings: Financial Projections and Incentives for Achieving Energy Decarbonization Goals. December 2024. DOI:10.48550/arXiv.2412.00874.
16. Xue Wang, Xiaolei Zhang, Jianqi Song (2023). The analysis of solar energy investment, digital economy, and carbon emissions in China Sec. Solar Energy, 11. Available at: <https://doi.org/10.3389/fenrg.2023.1183857>
17. Chen, X., Song, C., Wang, T. (2022). Analysis of energy losses and energy consumption law in low-voltage zones. Journal of Physics: Conference Series, 1(012016). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2022/1/012016>
18. Carr, D., & Thomson, M. (2022). Non-technical energy losses. Energies, 15(6), 2218. <https://doi.org/10.3390/en15062218>

19. Lom, M., & Pribyl, O. (2021). Smart city model based on systems theory. *International Journal of Information Management*, 56, 102092.
20. Humayun, M., Alsaqer, M. S., & Jhanjhi, N. (2022). Energy optimization for smart cities using iot. *Applied Artificial Intelligence*, 36(1), 2037255.
21. Ullah, Z., Naeem, M., Coronato, A., Ribino, P., & De Pietro, G. (2023). Blockchain applications in sustainable smart cities. *Sustainable Cities and Society*, 97, 104697.
22. Васи́лець С., Васи́лець К., Ільчук В. Оцінювання точності вузла обліку електроенергії при зниженому струмі навантаження. *Modeling, Control and Information Technologies* 2024-12-07. Journal article DOI: [10.31713/MCIT.2024.020](https://doi.org/10.31713/MCIT.2024.020)
23. Vasylets, S., & Vasylets, K. (2019). Refinement of the mathematical model of frequency converter cable branch with a singlephase short circuit. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4(9 (100), 27–35. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.176571>
24. К. С. Васи́лець, «ОЦІНЮВАННЯ ТОЧНОСТІ ВИМІРЮВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ ВУЗЛОМ КОМЕРЦІЙНОГО ОБЛІКУ», Вісник ВПІ, вип. 5, с. 79–84, Жовт. 2021.
25. R. Melnyk, «Modeling of the energy-dynamic modes of the wind farm with the battery energy storage system (BESS),» *Journal of Computational Problems of Electrical Engineering*, т. 11, № 1, 2021.

ДОДАТОК А

Таблиця А1 – Переваги та недоліки використання енергетичних установок з використанням альтернативних та традиційних джерел енергії

Вид енергії	Переваги	Недоліки
Енергія сонця (СЕС)	<ul style="list-style-type: none"> - загальнодоступне та невичерпне джерело енергії; - екологічно безпечна; - автономність системи; - простота в обслуговуванні; - можливість колективного підключення; - безшумність в роботі; - можливість акумулювати енергію; - середній термін служби обладнання 30-50 років. 	<ul style="list-style-type: none"> - залежність від погоди та часу доби; - високі капіталовкладення; - низьке значення ККД; - потреба у великій площі для розміщення обладнання
Енергія вітру (ВЕС)	<ul style="list-style-type: none"> - загальнодоступне та невичерпне джерело енергії; - екологічно безпечна; - автономність; - ергономіка. 	<ul style="list-style-type: none"> - шум; - висока вартість; - великий термін окупності; - нестабільність вітрового потоку; - небезпека для птахів, кажанів та інших тварин.
Біомаса та біоенергетичні установки	<ul style="list-style-type: none"> - відносно дешеве джерело енергії; - не має географічних обмежень; - не потребує значних інвестицій. 	<ul style="list-style-type: none"> - розосередженість запасів; - зберігання протягом тривалого часу до переробки.
Енергія води (ГЕС)	<ul style="list-style-type: none"> - невичерпність ресурсів; - швидкість запуску станції; - запобігання паводкам. 	<ul style="list-style-type: none"> - затоплення орних земель; - негативний вплив на екосистему річок; - осушення річок.
Газотурбінні установки	<ul style="list-style-type: none"> - установка потребує мінімальних витрат води; - швидкий ввід турбогенератора в роботу. 	<ul style="list-style-type: none"> - великі розміри котла (в замкнутому циклі); - фактична потужність може бути меншою за власну; - шумове забруднення.
Парогазові установки	<ul style="list-style-type: none"> - високе значення ККД; - низька вартість одиниці встановленої потужності; - компактні розміри. 	<ul style="list-style-type: none"> - необхідність у фільтрації повітря, яке використовується для згоряння палива; - сезонні обмеження по потужності; - зазвичай працюють лише з використанням природного газу.
Дизельні електростанції (ДЕС)	<ul style="list-style-type: none"> - високе значення ККД; - швидкість будівництва; - компактність; - великий термін експлуатації. 	<ul style="list-style-type: none"> - висока вартість експлуатації; - не надійна робота при низьких температурах; - час роботи обмежений запасом палива; - завдає шкоду екології за рахунок спалювання палива; - шумове забруднення.