

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ В. Н. КАРАЗІНА**

Навчально-науковий інститут Українська інженерно-педагогічна академія
Кафедра електротехніки та електроенергетики
Спеціальність 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
Освітньо-професійна програма Електричні станції, мережі та системи

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

(підпис)

к.т.н., доцент Артем ЧЕРНЮК

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

«___» _____ 2025 р.

ЗАВДАННЯ

**на кваліфікаційну роботу дипломну роботу
другого (магістерського) рівня вищої освіти**

здобувачу вищої освіти Дмитро ХАРЧЕНКО

1. Тема «Підвищення якості та енергоефективності елементів вітряних, сонячних та приливних електростанцій»

затверджена наказом по академії № 4801-5/3665 від «06» жовтня 2025 р.

2. Термін здачі закінченої роботи «15» грудня 2025 р.

3. Вихідні дані до роботи/проєкту: Теоретичні та практичні розробки вітчизняних та зарубіжних авторів за темою роботи, періодичні видання

4. Зміст роботи/проєкту (перелік питань, які належить розробити):

ВСТУП; РОЗДІЛ 1 ОСОБЛИВОСТІ КОНСТРУКЦІЇ ВІТРОВИХ, СОНЯЧНИХ І ПРИЛИВНИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ; РОЗДІЛ 2. ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ТА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ЕЛЕМЕНТІВ ВІТРОВИХ, СОНЯЧНИХ І ПРИЛИВНИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ; РОЗДІЛ 3. ПИТАННЯ ОПТИМІЗАЦІЇ ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК СИСТЕМ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ; ВИСНОВКИ; ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

5. Перелік графічного матеріалу (презентаційний матеріал):

Слайди презентації

6. Консультант:

Розділ	Консультант	Підпис, дата		Оцінка (бали)
		Завдання видав	Завдання прийняв	

7. Дата видачі завдання «12» жовтня 2025р.

Керівник

(підпис)

Костянтин БРОВКО

(ім'я, прізвище)

Завдання прийняв до виконання _____ Дмитро ХАРЧЕНКО

(підпис)

(ім'я, прізвище)

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН-ГРАФІК виконання кваліфікаційної дипломної роботи

№ з/п	Назва етапів роботи та питань, які мають бути розроблені відповідно до завдання	Термін виконання	Позначки керівника про виконання завдань
1	Визначення актуальності теми дослідження Проведення аналізу наукової літератури	02.10.25 — 05.10.25	
2	Виконання першого розділу дипломної роботи	06.10.25 — 15.10.25	
3	Виконання другого розділу дипломної роботи	16.10.25 — 29.10.25	
4	Виконання третього розділу дипломної роботи	30.10.25 — 26.11.25	
5	Оформлення пояснювальної записки	27.11.25 — 07.12.25	

Студент (ка)

(підпис)

Дмитро ХАРЧЕНКО

(ім'я, прізвище)

РЕФЕРАТ

Сторінок тексту – 77; рисунків – 33;
таблиць – 5; літературних джерел – 20.

Проблема якості електроенергії та її актуальність у нашій країні існує вже багато років. Причому її гострота зростає зі збільшенням відстані від місць генерації електроенергії.

Якість електроенергії залежить не лише від джерела, що генерує енергію, але й насамперед від системи, тобто сукупності численних електричних приладів і пристроїв, через які електрична енергія передається до місця споживання.

Таким чином, розробка пропозицій щодо підвищення енергоефективності альтернативних виробників енергії (вітрових, фотоелектричних і приливних генерувальних пристроїв), які дозволяють покращити характеристики електроенергії, є актуальним завданням.

Об'єктом дослідження є процес виробництва електричної енергії на вітрових, сонячних і приливних електростанціях.

Предметом дослідження є показники якості електричної енергії та енергоефективність функціонування вітрових, сонячних і приливних електростанцій..

Мета роботи: розробити науково обґрунтовані пропозиції щодо підвищення якості електричної енергії, вироблюваної вітровими, сонячними та приливними електростанціями.

Наукова новизна роботи полягає в розробці та впровадженні алгоритмів керування і технічних рішень, спрямованих на покращення якості електроенергії, що виробляється альтернативними джерелами, на основі аналізу сучасних технологічних досягнень у сфері відновлюваної енергетики.

Практична значущість. Запропоновані рішення спрямовані на підвищення енергоефективності та якості електроенергії, що виробляється альтернативними джерелами, що, своєю чергою, сприяє зростанню їх конкурентоспроможності та привабливості для кінцевих споживачів.

Завдання дослідження:

- провести аналіз показників якості електроенергії та чинників, що впливають на їх забезпечення;
- розробити технічні та організаційні пропозиції щодо підвищення якості електроенергії, вироблюваної альтернативними джерелами.

ABSTRACT

Pages of text – 77; pictures – 33;
tables – 5; literary sources – 20.

The problem of electricity quality and its relevance in our country has existed for many years. Moreover, its severity increases with increasing distance from the places of electricity generation.

The quality of electricity depends not only on the source that generates energy, but also, first of all, on the system, that is, the set of numerous electrical appliances and devices through which electrical energy is transmitted to the place of consumption.

Thus, the development of proposals for increasing the energy efficiency of alternative energy producers (wind, photovoltaic and tidal generating devices), which allow improving the characteristics of electricity, is an urgent task.

The object of the study is the process of generating electricity at wind, solar and tidal power plants.

The subject of the study is the indicators of the quality of electricity and the energy efficiency of the operation of wind, solar and tidal power plants.

The purpose of the work: to develop scientifically based proposals for improving the quality of electricity generated by wind, solar and tidal power plants.

The scientific novelty of the work lies in the development and implementation of control algorithms and technical solutions aimed at improving the quality of electricity generated by alternative sources, based on the analysis of modern technological achievements in the field of renewable energy.

Practical significance. The proposed solutions are aimed at increasing energy efficiency and quality of electricity generated by alternative sources, which, in turn, contributes to increasing their competitiveness and attractiveness for end consumers.

Research objectives:

- to conduct an analysis of electricity quality indicators and factors affecting their provision;
- to develop technical and organizational proposals for improving the quality of electricity generated by alternative sources.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
РОЗДІЛ 1. ОСОБЛИВОСТІ КОНСТРУКЦІЇ ВІТРОВИХ, СОНЯЧНИХ І ПРИПЛИВНИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ	10
1.1 Вітряні електростанції	10
1.2 Сонячні електростанції	13
1.3 Основні принципи побудови гібридних систем електропостачання	17
1.4 Припливні електростанції.....	20
1.5 Можливі проблеми з якістю електроенергії.....	25
ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 1.....	28
РОЗДІЛ 2. ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ТА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ЕЛЕМЕНТІВ ВІТРОВИХ, СОНЯЧНИХ І ПРИПЛИВНИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ	29
2.1 Способи підвищення якості електроенергії, вироблюваної вітровими та сонячними електростанціями, шляхом модернізації алгоритмів керування	29
2.2 Оптимізація режимів роботи накопичувачів електроенергії	47
2.3 Способи підвищення якості електроенергії, що виробляється вітровими та сонячними електростанціями за рахунок технічних засобів	53
2.4 Оптимізація систем електропостачання за участю вітрових та сонячних електростанцій.....	60
ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 2.....	63
РОЗДІЛ 3. ПИТАННЯ ОПТИМІЗАЦІЇ ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК СИСТЕМ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ	63

3.1 Техніко-економічні аспекти проектування гібридних електростанцій	64
3.2 Методи оптимізації систем електропостачання з участю вітрових, сонячних і припливних електростанцій	67
ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 3.....	72
ВИСНОВКИ.....	73
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ	75
ДЖЕРЕЛ.....	

ВСТУП

Якість електроенергії залежить не лише від пристрою, що генерує енергію, але й насамперед від системи, тобто сукупності численних електричних приладів і пристроїв, через які електроенергія передається від місця виробництва до місця споживання [1].

З появою та масовим впровадженням альтернативних джерел енергії (відновлюваних джерел енергії) питання отримання якісної електроенергії стали безпосередньо пов'язуватися з енергоефективністю як окремих елементів, що входять до системи електропостачання (вітрогенератор, фотоелемент, акумуляторна батарея, інвертор тощо), так і всієї системи загалом (вітро-фотоелектростанція, приливна гідроелектростанція тощо).

Вітрові, сонячні та приливні електростанції належать до так званих відновлюваних джерел енергії. На відміну від вуглеводневого палива, яке наразі є основним джерелом енергії на теплоелектростанціях, запаси відновлюваної енергії вважаються невичерпними. Це особливо важливо з огляду на те, що сьогодні в усьому світі приділяється підвищена увага екологічним проблемам.

Глобальні екологічні проблеми можна не помічати, можна ігнорувати, але від цього вони не зникають. Головною з них, на думку Організації Об'єднаних Націй (ООН), є зміна клімату. Клімат змінюється непомітно – на кілька десятих градуса за тисячоліття, але зважаючи на вік планети Земля, який становить 4,54 мільярда років, цей процес відбувається надзвичайно швидкими темпами.

За звітами ООН, на зміну клімату суттєво впливають продукти згоряння викопного палива, енергія якого перетворюється на електричну. Розв'язання цієї проблеми дозволить уповільнити або навіть зупинити процес зміни клімату, що, своєю чергою, дасть змогу спокійно та зважено підійти до іншої екологічної проблеми – викидів продуктів життєдіяльності промислових підприємств, які також завдають значної шкоди довкіллю.

Невичерпними джерелами енергії вважаються насамперед сонце і вітер, а також морські припливи, геотермальні джерела, біопаливо та деякі інші, менш ефективні джерела. На перший погляд усе здається простим: джерела енергії відомі, пристрої для перетворення альтернативної енергії на електричну розроблені й виготовлені – бери й користуйся. Але це лише на перший погляд. На перший план виходить економічна складова масового застосування альтернативних джерел енергії. Ще кілька десятиліть тому вітрогенератори, фотоелектричні елементи, гідрогенератори для альтернативної енергетики були надзвичайно дорогими й беззаперечно поступалися традиційним електростанціям у конкурентоспроможності. Однак значні зусилля науковців, виробників електротехнічного обладнання та урядів провідних країн світу дозволили зробити альтернативну енергетику більш конкурентною. Розвиток технологій Smart Grid (розумні мережі, цифрові підстанції) вирішив більшість технічних проблем, пов'язаних з інтеграцією альтернативних джерел енергії в існуючі електричні мережі.

Актуальність роботи. Проблема якості електроенергії та її актуальність у нашій країні існує вже багато років. Причому її гострота зростає зі збільшенням відстані від місць генерації електроенергії. Основними показниками якості електроенергії є:

- стале відхилення напруги;
- амплітуда зміни напруги;
- доза флікеру;
- коефіцієнт спотворення синусоїдальності кривої напруги;
- коефіцієнт n-ої гармонічної складової напруги;
- коефіцієнт несиметрії напруги за зворотною послідовністю;
- коефіцієнт несиметрії напруги за нульовою послідовністю;
- відхилення частоти;
- тривалість провалу напруги;
- імпульсна напруга;
- коефіцієнт тимчасового перенапруження [2].

Якість електроенергії залежить не лише від джерела, що генерує енергію, але й насамперед від системи, тобто сукупності численних електричних приладів і пристроїв, через які електрична енергія передається до місця споживання.

Таким чином, розробка пропозицій щодо підвищення енергоефективності альтернативних виробників енергії (вітрових, фотоелектричних і приливних генерувальних пристроїв), які дозволяють покращити характеристики електроенергії, є актуальним завданням.

Об'єктом дослідження є процес виробництва електричної енергії на вітрових, сонячних і приливних електростанціях.

Предметом дослідження є показники якості електричної енергії та енергоефективність функціонування вітрових, сонячних і приливних електростанцій..

Мета роботи: розробити науково обґрунтовані пропозиції щодо підвищення якості електричної енергії, вироблюваної вітровими, сонячними та приливними електростанціями.

Наукова новизна роботи полягає в розробці та впровадженні алгоритмів керування і технічних рішень, спрямованих на покращення якості електроенергії, що виробляється альтернативними джерелами, на основі аналізу сучасних технологічних досягнень у сфері відновлюваної енергетики.

Практична значущість. Запропоновані рішення спрямовані на підвищення енергоефективності та якості електроенергії, що виробляється альтернативними джерелами, що, своєю чергою, сприяє зростанню їх конкурентоспроможності та привабливості для кінцевих споживачів.

Завдання дослідження:

- провести аналіз показників якості електроенергії та чинників, що впливають на їх забезпечення;
- розробити технічні та організаційні пропозиції щодо підвищення якості електроенергії, вироблюваної альтернативними джерелами.

РОЗДІЛ 1. ОСОБЛИВОСТІ КОНСТРУКЦІЇ ВІТРОВИХ, СОНЯЧНИХ І ПРИЛИВНИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ

1.1 Вітряні електростанції

Останнім часом у багатьох країнах світу все більше уваги приділяється екологічним проблемам, пов'язаним із діяльністю промислових підприємств, але не лише ними. На стан довкілля впливають численні чинники – не тільки розвиток виробництва чи збільшення кількості автотранспорту, а й інші, більш об'єктивні проблеми, пов'язані з життєдіяльністю тваринного та рослинного світу на планеті. Багато негативних екологічних впливів пов'язують із так званими парниковими газами. Зменшення обсягів їхніх викидів є одним із пріоритетних напрямів екологічної політики, що підтримується багатьма країнами світу в межах програм до 2050 року. Згідно з цими програмами, передбачається триразове скорочення викидів порівняно з рівнем 2020 року. Одним із шляхів розв'язання цієї проблеми є використання альтернативних джерел енергії, зокрема тих, що дозволяють отримувати електроенергію. Насамперед ідеться про перетворювачі енергії вітру, сонця та руху водних мас в океані. Щодо розвитку виробництва електроенергії за рахунок вітру, то в планах провідних країн світу передбачено, що до 20% загального обсягу електроенергії має вироблятися саме вітровими електростанціями. У багатьох індустріально розвинених країнах світу вітрові станції вже тривалий час є джерелом електроенергії. Вітрогенератори широко представлені в таких країнах, як Нідерланди, Австралія, Сполучені Штати Америки та інших. У країнах першої двадцятки за рівнем економічного розвитку технічні бар'єри, що стримували розвиток вітроенергетики, поступово зникають: генератори стають продуктивнішими, надійнішими, з високими енергетичними характеристиками. При цьому вартість комплектуючих постійно зменшується. Очевидно, що сила вітру відрізняється залежно від країни, тому розвиток вітроенергетики є

нерівномірним – у деяких країнах він активніший, у деяких – менш інтенсивний. Перевагу мають держави з протяжною береговою лінією, адже саме на узбережжі сила вітру зазвичай більша, ніж у материковій частині. Відомо, що вартість електроенергії, отриманої з вітрогенератора, безпосередньо залежить від сили вітру: чим вона більша, тим більше електроенергії виробляється, а отже, знижується її собівартість. Проте, незважаючи на це, з економічних причин розвиток вітроенергетики відбувається відносно повільно. Саме тому важливо розглядати виробництво електроенергії з альтернативного джерела, що використовує силу вітру, також з інших точок зору – передусім політичної. Необхідно враховувати потребу в збереженні корисних копалин для майбутніх поколінь, насамперед вуглеводневих ресурсів. Це питання є досить гострою проблемою, яку слід вирішувати вже сьогодні, щоб ці ресурси залишилися в майбутньому. Та все ж, попри стримувальні економічні чинники та недостатню політичну волю керівників багатьох країн, вітроенергетика розвивається не швидко, але досить цілеспрямовано. І можна впевнено сказати, що вона посяде гідне місце серед альтернативних джерел енергії.

Розглядаючи альтернативні джерела енергії, прийнято порівнювати їх між собою та з традиційною електроенергетикою за двома основними параметрами – технічним потенціалом і практичним потенціалом. Практичний потенціал — це те, що вже реалізовано на даний момент, тобто фактична кількість електроенергії, яка виробляється відповідними типами електростанцій. Технічний потенціал – це теоретична величина, що попередньо оцінює можливості того чи іншого альтернативного джерела енергії щодо виробництва електроенергії. З огляду на новизну цього напрямку в енергетичній галузі, нині застосовується велика кількість різноманітних методик для порівняння альтернативних джерел між собою. Водночас уже існують певні середні орієнтовні показники. Наприклад, теоретична енергія вітру, тобто його технічний потенціал, оцінюється на рівні 180 ЕДж/рік (50000 ТВт·год/рік). Саме таку кількість електроенергії теоретично можна

отримати, використовуючи всю енергію вітру. Ця цифра, безумовно, дуже велика, і до неї варто ставитися з певною обережністю. Але навіть якщо зменшити технічний потенціал вітру в кілька разів, ми все одно отримаємо надзвичайно значну величину – приблизно на 90% більшу за всі світові потреби в електроенергії. Як уже зазначалося, технічний потенціал вітру на узбережжі оцінюється значно вище, ніж у материковій частині. У відсотковому співвідношенні приблизно 30% припадає на материкову частину і 70% – на узбережжя. Якщо навести конкретні цифри, то технічний потенціал прибережних електростанцій становить від 15 до 130 ЕДж/рік (4000 – 37000 ТВт·год/рік). Саме тому більшість електростанцій, збудованих на сьогодні, переважно розташовані в прибережних регіонах. Побачивши такий великий технічний потенціал, прибережні держави намагаються якнайшвидше розвивати вітроенергетику. Велика кількість електростанцій уже збудована і функціонує. Розробляється багато нових проєктів – потужніших, з покращеними показниками собівартості виробництва одного кіловата електроенергії на одиницю витрат. Усе це безпосередньо сприяє розвитку вітроенергетики, але, попри це, на сьогодні вона все ще недостатньо розвинена, а її технічний потенціал використовується вкрай обмежено.

Як і будь-який інший технічний об'єкт, вітрові електростанції пройшли свій відносно короткий шлях розвитку – від проєктів невеликих діючих макетів перших вітрових станцій до масштабних споруд, які вже важко назвати просто вітряками. Сучасна вітрогенераторна станція – це складна технічна конструкція, що включає як будівельну частину (підземну та наземну), так і безпосередньо генерувальну частину, яка складається з генератора електричної енергії та великої кількості технічних пристроїв, що забезпечують керування поворотом лопатей, зміною кута атаки вітру та іншими параметрами, які впливають на ефективність роботи вітрогенератора. Економічні закони, які свідчать про те, що при масовому виробництві собівартість продукції знижується, повною мірою стосуються і собівартості електроенергії – чим більша вітрова електростанція, тим дешевше вироблена

електроенергія. На рис. 1.1 показано, як змінювалися діаметр лопатей і висота будівельної частини вітрових станцій протягом останніх десятиліть. Наразі спроектовано та розпочато будівництво вітрових станцій заввишки 300 метрів, з діаметром лопатей турбіни 250 метрів і загальною потужністю вироблення електроенергії понад 20 МВт.

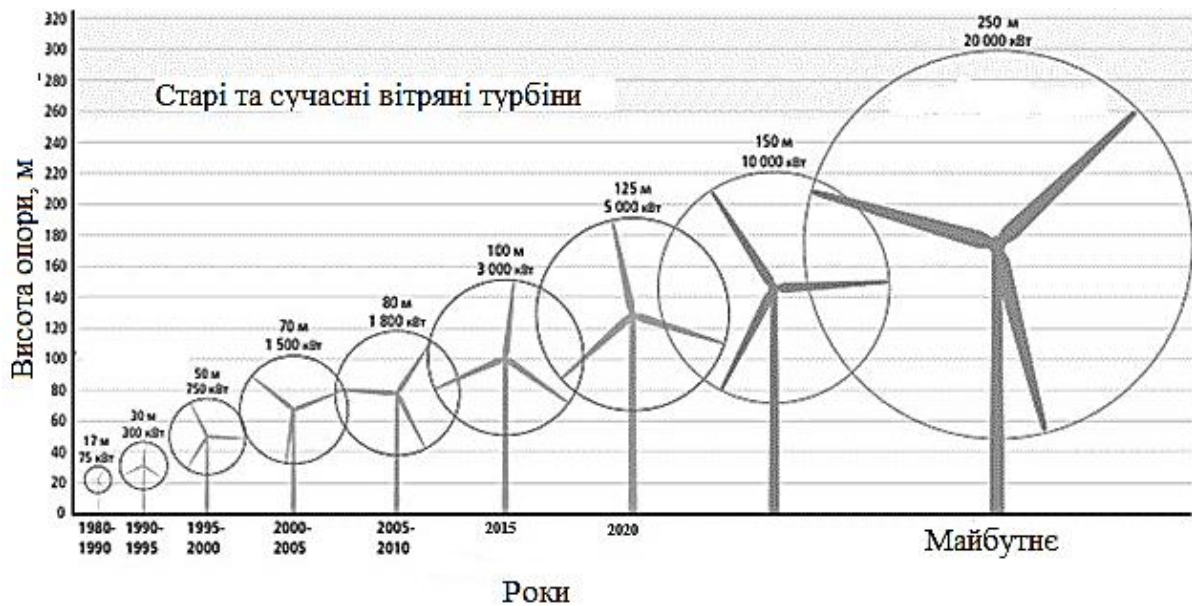


Рисунок 1.1 – Розвиток вітрових електростанцій

1.2 Сонячні електростанції

Сонце як джерело енергії цікавило людину з давніх часів. Однією з перших технологій, у яких використовувалася його енергія, було просте нагрівання води або приміщення. Ще в давнину людина намагалася посилити дію сонячної енергії, застосовуючи дзеркала та фокусуючи за їх допомогою сонячні промені в певній точці. Цей спосіб використання сонячної енергії дуже довго залишався єдиним. Лише у XX столітті, з розвитком сучасних технологій напівпровідникових матеріалів і створенням нових штучних матеріалів, з'явилися інші, більш сучасні технології використання сонячного випромінювання для виробництва електричної енергії. Залежно від способу використання, сонячні технології можна поділити на три основні групи. До

першої належить теплова сонячна енергетика, яка здатна нагрівати воду або, наприклад, підігрівати воду в басейні в країнах із м'яким кліматом. Крім того, із застосуванням сонячного колектора можна здійснювати опалення будівель. Друга група технологій – це використання сонячної енергії для виробництва або генерації електричної енергії. [3].

Перетворення одного виду енергії на інший відбувається в сонячних фотоелектричних перетворювачах. Якщо зібрати велику кількість таких фотоелементів в одному місці, ми отримуємо сонячну електростанцію. До третьої групи технологій належить комбінація першої та другої, коли за допомогою спеціальних пристроїв сонячні промені фокусуються в певній точці. Концентрація променів різко зростає, відповідно посилюється і тепловий вплив на поверхню. Це дозволяє нагрівати поверхню до дуже високих температур. Зокрема, воду можна перетворити на пару, а енергію пари – використати для виробництва електроенергії.

У випадку, коли використовується безпосередній вплив сонячних променів на пристрій, прийнято говорити про пряме сонячне випромінювання.

Саме за прямим випромінюванням оцінюється технічний потенціал фотоелементів або сонячних електростанцій. Кількість сонячної енергії, яка генерується поверхнею Сонця і досягає поверхні Землі, становить приблизно 1367 Вт на один квадратний метр земної поверхні. Це значення розраховане за умови падіння сонячних променів на поверхню Землі під кутом 90 градусів. При зміні кута падіння кількість енергії зменшується. Поверхня Землі зазнає впливу як прямого, так і розсіяного випромінювання – завдяки відбиттю сонячних променів від земних об'єктів і космічних тіл. Завдяки розсіяній радіації ми маємо можливість отримувати електроенергію з фотоперетворювачів не лише в сонячну погоду, а й у похмурі дні. Технічний потенціал сонячної енергії оцінюється приблизно в $3,9 \cdot 10^6$ ЕДж/рік [4].

Видно, що технічний потенціал сонячної електроенергії нижчий, ніж аналогічний потенціал вітрової енергії, проте ця величина все одно є

достатньою для задоволення потреб усіх жителів Землі в електроенергії. На рис. 1.2 показано практичні технології, які застосовуються на сьогодні для перетворення сонячної енергії.

Як уже було сказано, для перетворення сонячної енергії на електричну використовуються спеціальні напівпровідникові елементи, які отримали назву фотоелементи. Їхній принцип дії ґрунтується на властивостях *p-n* переходу, що полягає в тому, що електрони, які входять до складу пластин *p*-типу та *n*-типу, можуть під впливом різних видів енергії змінювати своє просторове положення в кристалічній решітці. Таким впливом можуть бути електричне поле, магнітне поле, різні види радіації та температура. У нашому випадку йдеться про дію світлової енергії (фотонів), під впливом якої частина електронів у зоні контакту шарів з різною провідністю активізується та концентрується на одній із поверхонь. У результаті відбувається розділення зарядів.

Пластина, з якої відбувся вихід електронів, стає зменшеною за кількістю електронів і набуває властивостей пластини *p*-типу. Відповідно, інша пластина набуває властивостей пластини *n*-типу. Через різницю потенціалів між пластинами виникає електрична напруга, і якщо їх з'єднати між собою через речовину, що має електричну провідність, а отже – й електричний опір, це спричинить протікання електричного струму. Таким чином, можна говорити про те, що відбулося вироблення електричної енергії. [5].

Промисловістю освоєно виробництво фотоелементів із таких матеріалів:

- мідь-індій-дисульфід / диселенід галію;
- телуриду кадмію (CdTe);
- органічного кремнію;
- арсеніду галію (GaAs).

Для концентрації сонячної енергії перелічені матеріали розміщують у точках її зосередження за допомогою різноманітних відбивних елементів (дзеркал, колекторів).

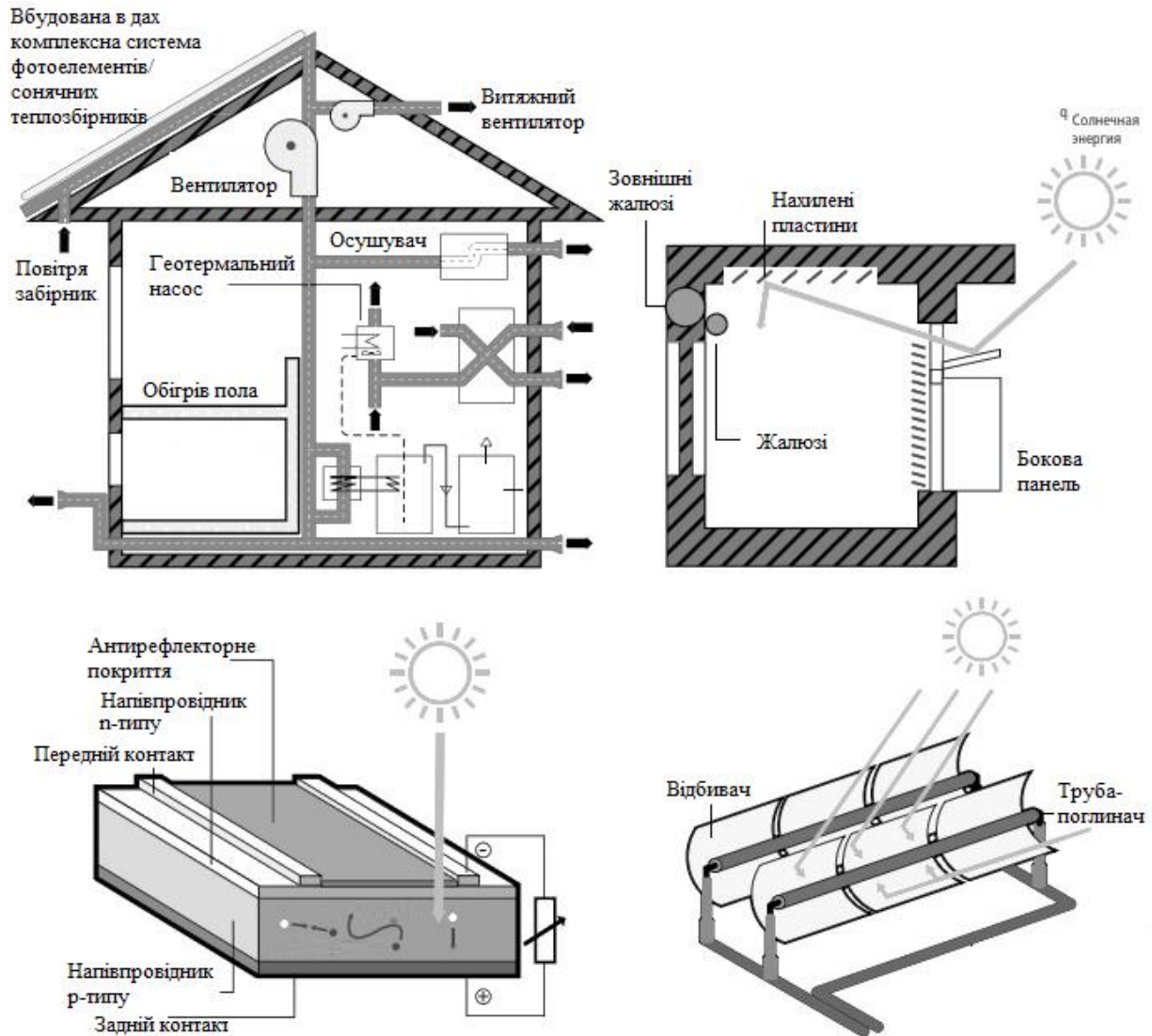


Рисунок 1.2 – Окремі приклади використання променевої теплової енергії: вгорі – інтегрована з будівлею система; внизу ліворуч – пряме перетворення; внизу праворуч – параболоциліндричний колектор.

Найбільш дешевими у виробництві виявилися фотоелементи на основі кремнію. Вони займають близько 80% ринку всіх фотоелементів, незважаючи на те, що мають найнижчий коефіцієнт корисної дії серед усіх перелічених (від 10 до 20% залежно від домішок).

Оскільки розміри одного фотоелемента є дуже незначними, то й кількість електроенергії, яку він здатен виробити, також дуже мала. Тому фотоелементи для виробництва електроенергії використовуються лише у складі модулів. У випадку застосування фотоелементів для виробництва відносно великої кількості електроенергії, їх об'єднують у фотоелектричні модулі з найпоширенішим розміром 1 м на 1,5 м. Фотоелектрична панель такого розміру здатна забезпечити електроенергією невелику кількість споживачів. Наприклад, якщо йдеться про житловий будинок, її вистачає для освітлення та живлення малопотужних приладів, таких як телевізор, холодильник або комп'ютер. Саме тому сонячні панелі не використовуються поодиночки – з них формують сонячну електростанцію (рис. 1.3). Гарантійний термін роботи фотоелементів становить від 20 до 30 років.



Рисунок 1.3 – Приклад невеликої сонячної електростанції з виробітком
3,1 кВт·год на добу

1.3 Основні принципи побудови гібридних систем електропостачання

Під час розробки комбінованих вітро-сонячних генераторів, які використовуються як у складі загальної енергетичної системи, так і як джерела автономного електропостачання, однією з основних конструктивних складностей є формування балансу між виробництвом і споживанням енергії залежно від технічних можливостей обладнання та вимог споживачів

(особливо важливо в години пікового навантаження). Частково ця проблема вирішується шляхом застосування буферного проміжного накопичення енергії в обсязі, достатньому для покриття майбутніх пікових годин навантаження відповідно до потреб споживачів. Надалі, завдяки забезпеченому балансу між виробленою, накопиченою та переданою енергією, вдається реалізувати основну функцію генерувальної системи – забезпечити стабільне постачання електроенергії споживачам. Наразі широко поширена концепція інтеграції, яка полягає у використанні в складі комбінованого вітро-сонячного агрегату багатофункціональних модулів, що реалізують поєднані функції: перетворення, накопичення та виробництва енергії (у поєднанні з активним обмеженням обсягу енергії, що передається від вітрогенератора та сонячних панелей до накопичувачів у разі значних коливань енергії вітру та сонця), а також адаптації до змін потреб у вихідній енергії залежно від навантаження в мережі споживачів [6]. Такий підхід дозволяє об'єднати в єдиному комплексі перетворення енергії альтернативних джерел різних конструкцій на електричну, її багаторівневе накопичення та перетворення на еталонну електроенергію для споживача (що суттєво підвищує ефективність використання енергії відновлюваних джерел).

Структурна схема прикладу реалізації варіанту незалежної енергосистеми з поєднаним вітро-сонячним агрегатом, що реалізує розглянуту вище тенденцію, наведена на рис. 1.4.

Система містить функціональні елементи: комплект сонячних панелей 1 з процесором 2, систему керування 3, трансформатор 4, два генераторні модулі 5 і 9, автомат заряджання 6, блок акумуляторів 7, перетворювач 8 і вітряк 10, механічно з'єднаний із генераторним блоком 9.

У розглянутій енергосистемі функцію перетворення енергії виконують генераторні блоки на основі ємнісного накопичувача енергії руху. Буферний накопичувач кінетичної енергії має конструкцію у вигляді масивного ротор-маховика круглої форми з немагнітного матеріалу, по колу якого розміщені постійні магніти. Цей маховик обертається у повітряному зазорі між двома

радіально розташованими статорами, виконаними у вигляді U-подібних магнітопроводів з обмотками у вигляді котушкових груп.

Полюсні наконечники статорів звернені до ротор-маховика і з'єднані спільним індукційним потоком із постійними магнітами, розміщеними в роторі-маховику. Під час обертання ротора в обмотках статорів виникає електрорушійна сила (ЕРС).

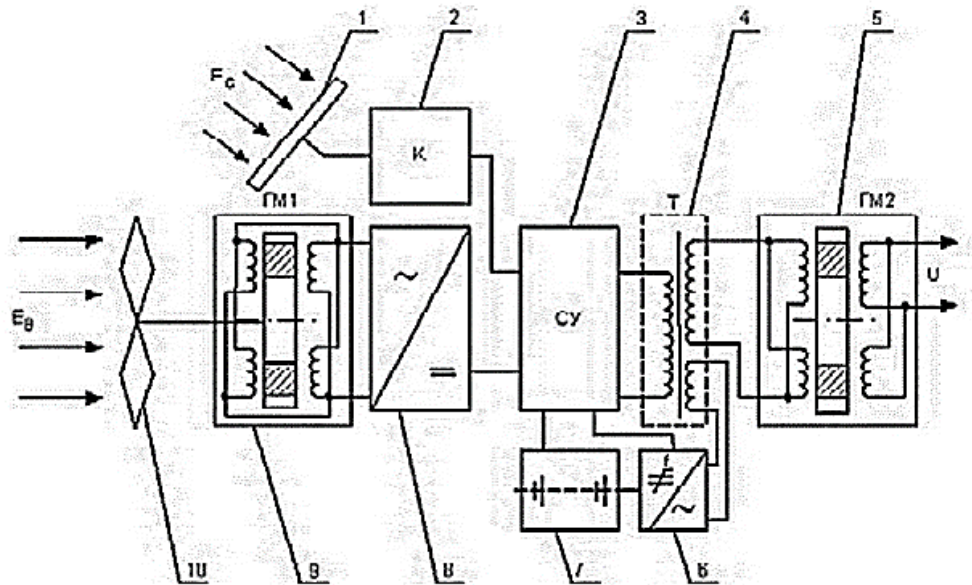


Рисунок 1.4 – Структурна схема однієї з конструкцій автономної енергосистеми з гібридною вітро-сонячною електростанцією: F_c – енергія сонячного випромінювання; E_B – енергія вітру

При цьому, залежно від способів з'єднання обмоток статорів і приводу ротора, буферний накопичувач, як показали експериментальні дослідження, може виконувати функції: електродвигуна, генератора вироблюваної енергії та узагальнені функції двигуна-маховика [7].

Причому функцію накопичувача кінетичної енергії він виконує під час обертання в будь-якому випадку. Перший генераторний блок 9 механічно з'єднаний із вітроагрегатом 10 і призначений для ефективного перетворення сили вітрового потоку в електричну енергію без вимог до її якості. Оскільки ротор генераторного блока приводиться в рух вітроагрегатом, обидві частини

модуля працюють у генераторному режимі, що підвищує ефективність генерації енергії від сили вітру.

1.4 Припливні електростанції

Як відомо, близько 70% поверхні планети займає вода. Причому вода дуже рідко перебуває у стані спокою – вона постійно переміщується під впливом різних чинників і процесів. Переміщення води проявляється у формі припливів, відпливів і хвиль. Кожне з цих явищ є джерелом енергії, яку можна отримати з океану. Насамперед технічний потенціал різних типів джерел енергії наведено в табл. 1.1.

Таблиця 1.1 – Технічний потенціал використання енергії океану для виробництва електричної енергії

Процес	Розповсюдженість	Теоретична кількість електроенергії, ЕДж/рік
Хвилі	Повсюдно, в усіх морях і океанах	116
Припливи – рівень води	У певних місцях	0,05
Припливи – течії	У певних місцях	0,12-0,17
Течії	Тільки в океанах, морські – недостатньо «сильні»	0,25
Різниця температур на поверхні та в глибині	Повсюдно ближче до екватора, в усіх морях і океанах	160
Різниця солоності води моря/океану та річок,	У гирлах лише великих річок	6

що впадають у них		
-------------------	--	--

Як видно з табл. 1.1, найбільша кількість енергії припадає на хвилі, які виникають унаслідок впливу вітру. Іншими словами, енергія вітру спочатку перетворюється на енергію хвиль, а вже потім людина перетворює енергію хвиль на електричну [8].

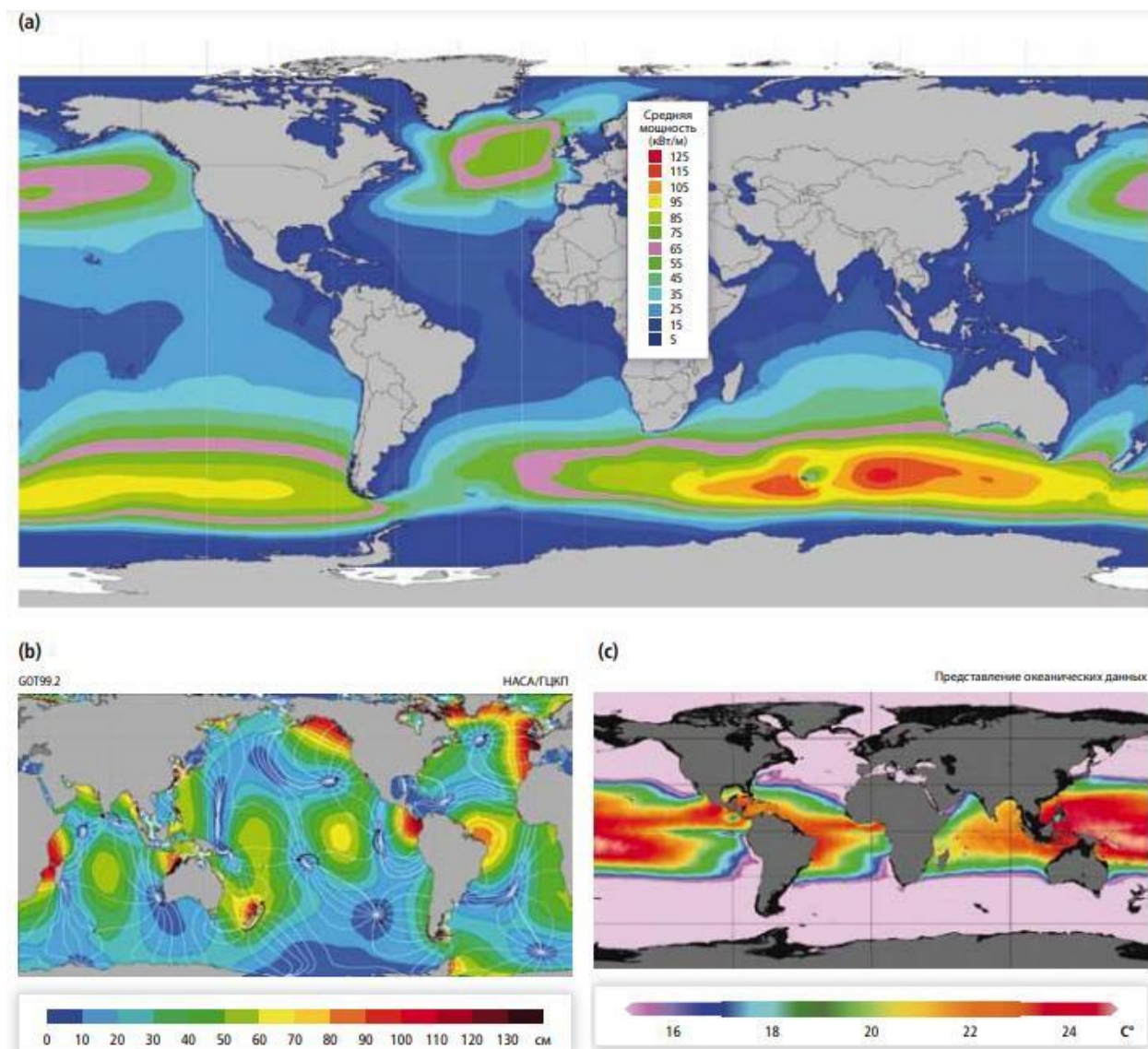


Рисунок 1.5 – Глобальний розподіл відомих енергоресурсів океану: а – енергія хвиль; б – амплітуда припливу; с – теплова енергія океану

На другому місці за запасами енергії знаходяться джерела, пов'язані зі значною різницею температур води. Відомо, що на глибині понад 1000

метрів, куди практично не проникають сонячні промені, температура води наближається до нуля. Натомість поверхня води нагрівається внаслідок поглинання сонячної радіації. Тобто ми знову спостерігаємо перетворення сонячної енергії на теплову на поверхні води, і вже людина здатна перетворити отриману різницю температур на електроенергію.

Значно нижчий потенціал мають океанічні течії та зміна рівня води під час відпливів і припливів. На перебіг цих процесів впливають гравітаційні явища на планеті, зміна фаз Місяця і Сонця – тобто ці процеси триватимуть доти, доки навколо планети існує атмосфера. На швидкість течій, окрім сили вітру, також суттєво впливає термохолінна циркуляція води [9].

Через відносну повільність переміщення водних мас існують певні практичні труднощі з отриманням користі з цих процесів. Проте, незважаючи на це, розроблено велику кількість різноманітних способів і методів, які дозволяють перетворювати ці види океанічної енергії. Лідируючими є технології, що використовують зміну амплітуди рівня води під час припливів і відпливів. Як видно з рис. 1.6 – 1.9, необов'язково безпосередньо впливати на робочий механізм генераторів, змушуючи його обертатися. Енергію води можна використовувати опосередковано. Наприклад, на рисунку 6 ротор генератора приводиться в обертання повітрям, яке витискається з підводного резервуара під час проходження гребеня хвилі та надходить у цей резервуар під час проходження нижньої частини хвилі через атмосферний повітрязабірник.

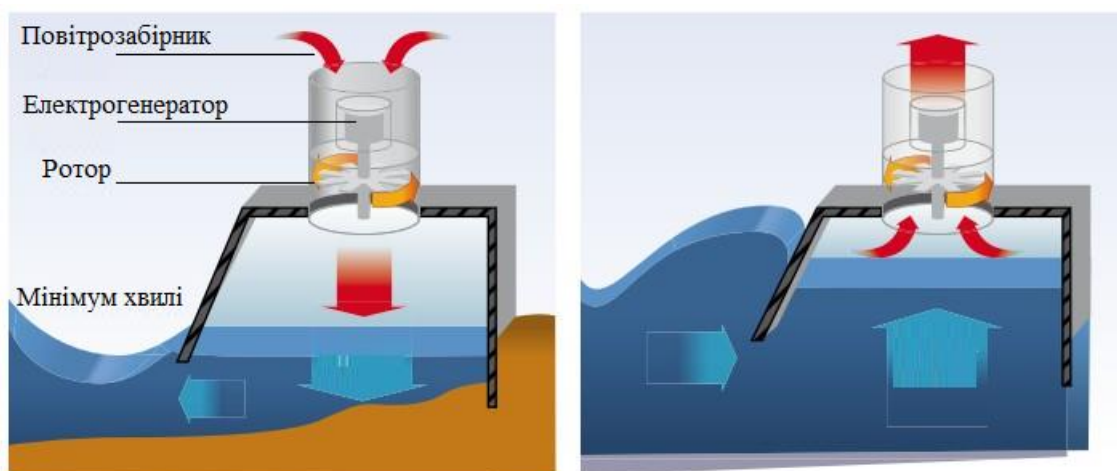


Рисунок 1.6 – Установка з осцилюючим водяним стовпом

Таким чином, ротор генератора перебуває під впливом односпрямованого потоку повітря. Іншим прикладом опосередкованого впливу води може слугувати метод, показаний на рис. 1.7.

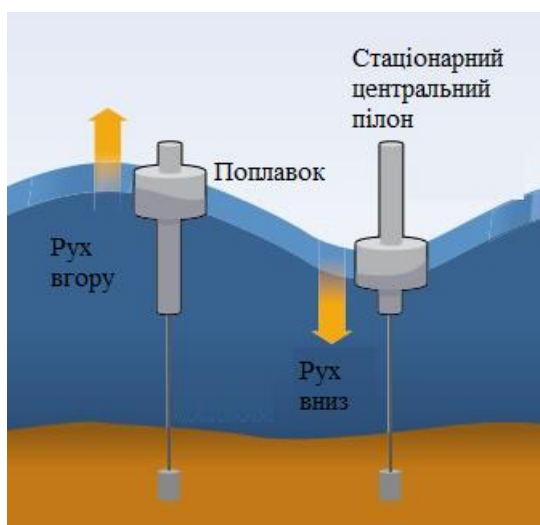


Рисунок 1.7 – Пристрій з періодичним заглибленням

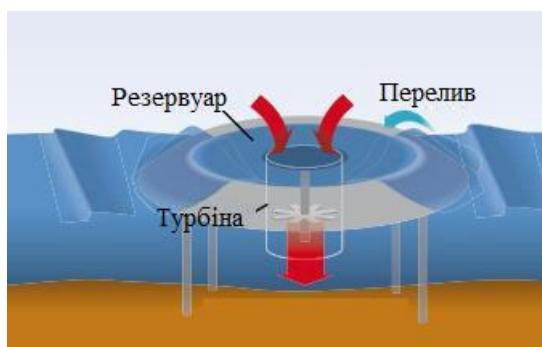


Рисунок 1.8 – Переливний пристрій

Електростанція являє собою переливний пристрій, у нижній частині якого розташовані турбіни генератора [10].

Цей тип установки зазвичай використовує гравітаційний потік води, що переливається через резервуар або канал, для обертання турбін і генерації електроенергії. Якщо потрібно, я можу допомогти з описом принципу дії або створити схематичне зображення такої установки.

Вода надходить через верхню частину під час великих хвиль або припливу. Більш простими з технічної точки зору є конструкції, що використовують течію для прямого обертання турбін (рис. 1.9).

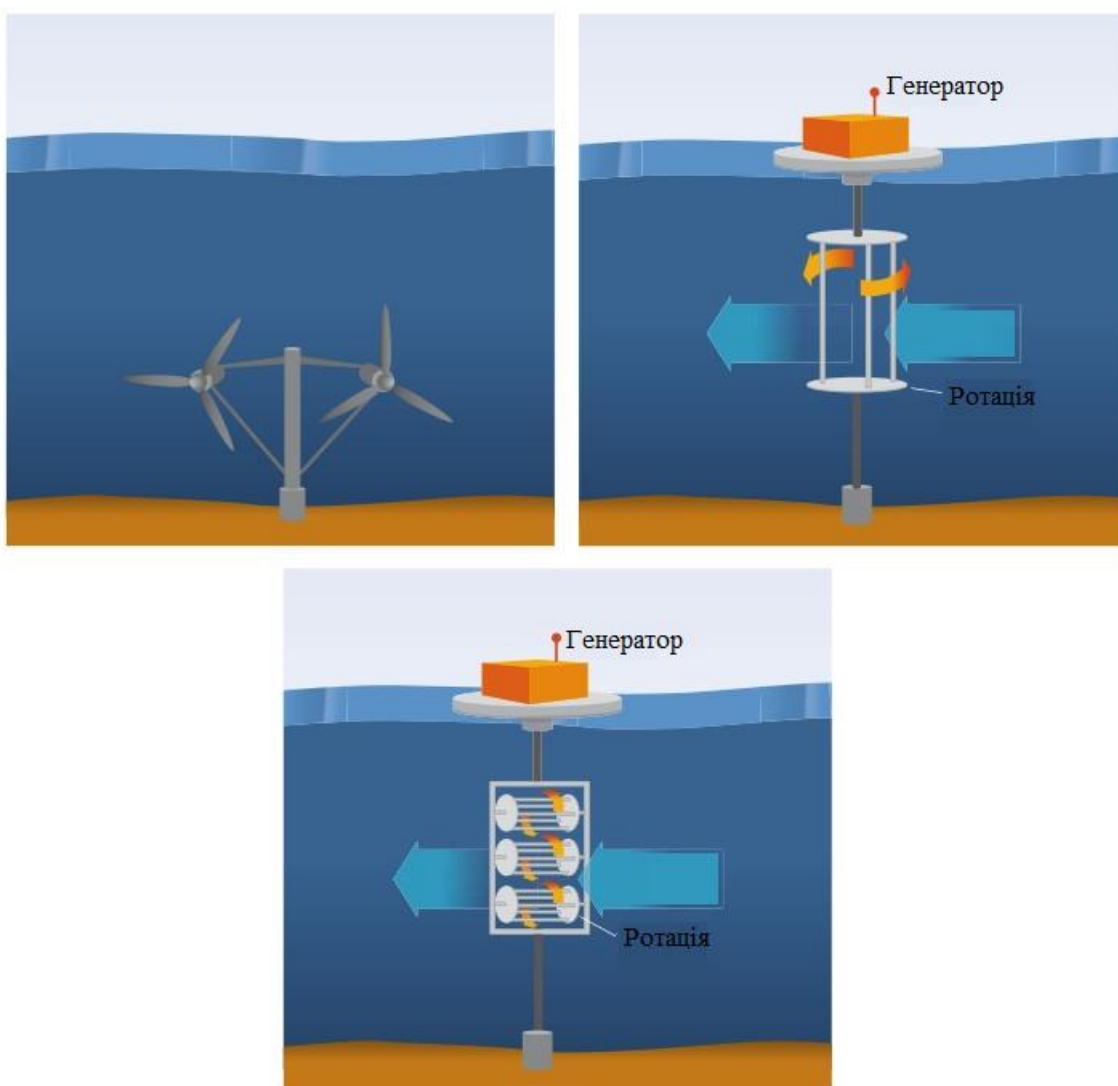


Рисунок 1.9 – Перетворювачі припливно-відпливних течій: (вгорі ліворуч) – здвоєна турбіна з горизонтальною віссю; (внизу) – пристрій з перехресним потоком; (вгорі праворуч) – пристрій з вертикальною віссю

Ці типи турбін використовуються для прямого перетворення енергії течій у механічну або електричну енергію. Якщо потрібно, я можу допомогти з коротким описом кожного типу або створити пояснювальний текст до рисунка.

1.5 Можливі проблеми з якістю електроенергії

Найчастіше споживачі електроенергії стикаються з такими видами спотворення напруги в системах електроживлення:

- імпульсні завади та високочастотний шум;
- підвищена або знижена напруга;
- відхилення частоти або гармонічні спотворення напруги;
- спотворення напруги під час перехідних процесів;
- короточасні перебої або повне зникнення електроживлення.

Ці завади спричиняються різними чинниками, зокрема аваріями, проблемами під час перемикань у кабельних мережах і розподільчих пристроях, роботою потужного промислового обладнання, екстремальними погодними умовами. Проблеми з електроживленням можуть призводити до зниження продуктивності, виходу обладнання з ладу, погіршення якості продукції, помилок в обробці даних, ризику втрати важливої інформації тощо [11].

У табл. 1.2 наведено основні види спотворень напруги, що присутні в системах електроживлення промислових і побутових електроприймачів, причини їх виникнення та засоби боротьби з ними.

Таблиця 1.2 – Види спотворення U та засоби боротьби з ними

Графічна ілюстрація	Коротка	Джерело	Спосіб
---------------------	---------	---------	--------

завади	характеристика	завади	боротьби з завадою
Імпульсні 	Імпульси напруги від 50 В до 6 кВ з коротким переднім фронтом і тривалістю від 0,5 мкс до 2 мс	Увімкнення або вимкнення потужних навантажень, спрацювання запобіжників, грозові розряди	Варисторні обмежувачі перенапруг
Радіоперешкоди 	Високочастотні електромагнітні завади від 10 кГц до 100 МГц, амплітудою від 0,1 мВ до 100 В	Вплив імпульсних джерел живлення, пристроїв регулювання частоти, наведення з ефіру	Мережеві фільтри високочастотни х завад
Провали (просадки) напруги 	Зниження напруги не більше ніж до 80% на час понад 20 мс	Підключення потужних навантажень, м'який пуск електродвигунів, короткі замикання в мережах	Стабілізатор напруги, джерело безперебійного живлення
Викиди (підвищення) напруги	Підвищення напруги до 115% і вище на	Вимкнення потужних навантажень,	Стабілізатор напруги, джерело

	час понад 20 мс	перемикання в електромережах	безперебійного живлення
Флуктуації (коливання) напруги 	Періодично повторювані зміни напруги	Пульсуюче, нестабільне навантаження	Джерело безперебійного живлення
Викиди (просічки) напруги 	Періодично повторювані викиди та провали напруги з періодом 20 мс	Комутація діодів, тиристорів, випрямлячів, перетворювачів	Фільтри вищих гармонік
Спотворення синусоїдальної форми напруги 	Наявність вищих гармонік напруги	Вплив роботи випрямлячів, фазових регуляторів, нелінійних навантажень	Компенсатори реактивної потужності та спотворень
Вариації (плавання) частоти 	Відхилення частоти від номінального значення	Низька якість автономних джерел енергії	Джерело безперебійного живлення
Переривання (відсутність) напруги 	Відсутність напруги в одній із фаз понад 20 мс	Аварії в електромережі	Джерело безперебійного живлення

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 1:

Якість електроенергії залежить не лише від джерела, що її генерує, а й передусім від системи – тобто сукупності численних електричних приладів і пристроїв, через які електрична енергія передається від місця виробництва до місця споживання.

Розробка пропозицій щодо підвищення енергоефективності альтернативних джерел енергії (вітрових, сонячних і припливних електростанцій), які дозволяють покращити якість електроенергії, є актуальним завданням.

Вивчення сучасного стану техніки й технологій у сфері виробництва, передачі та постачання електричної енергії споживачам дозволило визначити основні напрями, в яких можливе покращення роботи електричних мереж – більш стабільні характеристики якості напруги в аспектах імпульсних викидів і просідань рівня, частотних коливань, спотворення форми сигналу та проходження імпульсів.

РОЗДІЛ 2. ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ТА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ЕЛЕМЕНТІВ ВІТРОВИХ, СОНЯЧНИХ І ПРИПЛИВНИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ

2.1 Способи підвищення якості електроенергії, вироблюваної вітровими та сонячними електростанціями, шляхом модернізації алгоритмів керування

Відмінною особливістю фотоелектричних перетворювачів і вітротурбін є змінність їх режимів експлуатації залежно від енергетичного потенціалу основного енергоносія та обсягу енергії, що передається в мережу. Енергоефективність режимів роботи може суттєво відрізнятися. Для досягнення максимального режиму потужності та використання енергії первинного енергоресурсу, а також відповідної встановленої потужності енергетичного обладнання, необхідно формувати оптимальні режими експлуатації вітрових і сонячних електростанцій. Головним чинником цілеспрямованого впливу на режими експлуатації зазначених електростанцій є електричне навантаження. Показник навантаження може змінюватися за певними критеріями – як у процесі подачі енергії на акумуляторні накопичувачі електроенергії, так і під час передачі енергії до електроенергетичної мережі.

Фотоелектричні станції використовують ефект прямого перетворення сонячного випромінювання на електроенергію, відкритий у 1839 році європейським фізиком Беккерелем. Більшість перетворювачів являють собою кремнієві напівпровідникові фотодіоди.

Під час поглинання світла кристалічною структурою енергія фотонів передається електронам кристалу, що спричиняє утворення вільних носіїв заряду. Ці носії формують потенціальний градієнт у зоні *p-n* переходу, під впливом якого виникає рух електронів через електричні провідники. Типове значення різниці потенціалів – 0,5 В, насиченість фотоструму – 205 А/м² за

питомої потужності сонячного випромінювання 1 кВт/м^2 . Типові вольт-амперні характеристики фотоелектричного елемента за різних рівнів інсоляції наведені на рис. 2.1. З цих характеристик видно, що кожному рівню інсоляції відповідає поточний максимум генерованої енергії. Струм і напруга фотоелектричного модуля узгоджуються з максимумом потужності.

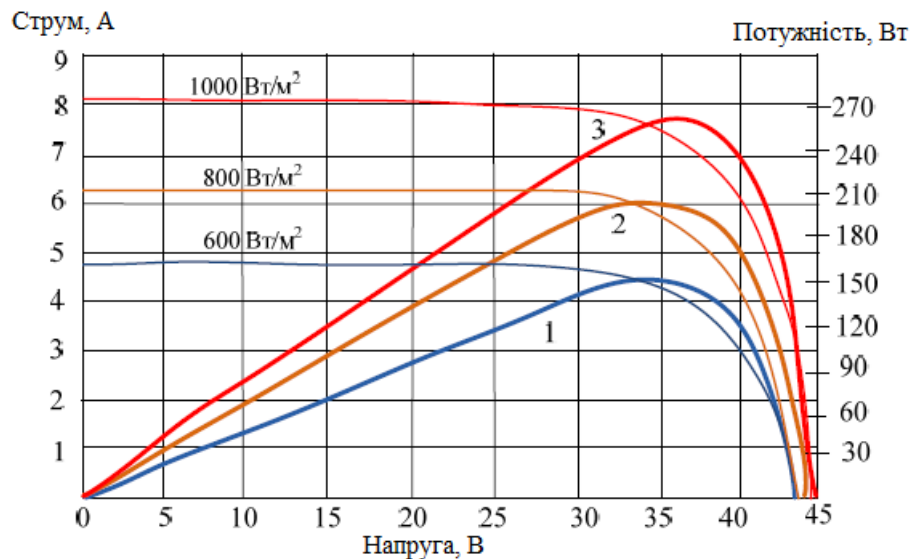


Рисунок 2.1 – Вольт-амперні характеристики фотоелектричного модуля за різної інсоляції

Отже, можливість отримання максимальної електричної потужності від фотоелектричних модулів реалізується шляхом підбору навантаження, яке відповідає поточному рівню інсоляції та забезпечує генерацію максимальної потужності. Зазвичай як безпосереднє навантаження масиву фотоелектричних модулів використовують акумуляторну батарею з власним контролером заряду або мережевий інвертор. Таким чином, ефективність використання потужності та енергії, що генерується фотоелектричними модулями, визначається властивостями контролера заряду або інвертора [12].

Відомо, що потужність вітротурбіни пропорційна кубу швидкості повітряного потоку. Проте, щоб передати максимум цієї енергії електричному навантаженню, необхідно відповідним чином визначити його

величину. Низка потужнісних характеристик, переважно поширених лопатевих вітротурбін, наведена на рис. 2.2.

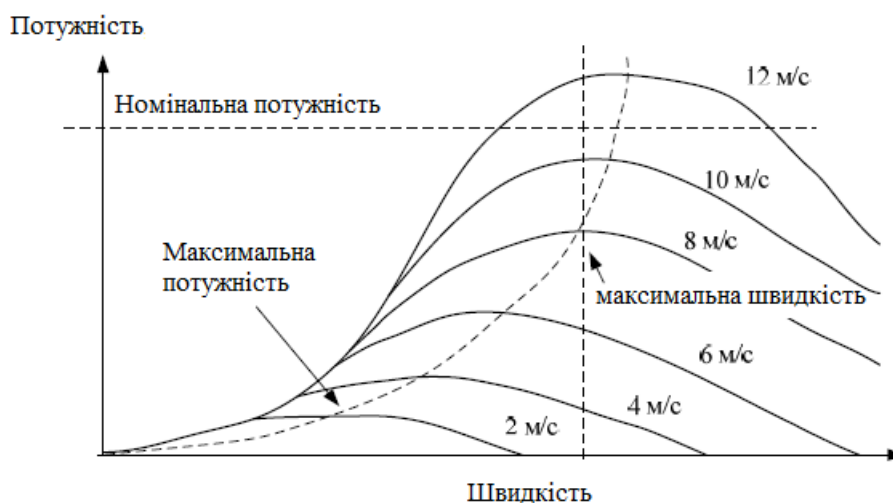


Рисунок 2.2 – Потужнісні характеристики вітротурбіни"

Отже, як і у випадку з сонячними батареями, для узгодження енергії вітрового потоку з потужністю електричної мережі необхідні відповідні пристрої заряджання акумуляторів або інвертори, що визначаються типом застосовуваного вітрового генератора.

Розглянемо схему автономної фотоелектростанції (рис. 2.3). Важливе значення для досягнення високих енергетичних характеристик мають два ключові блоки – інвертор і контролер. Їхня основна функція полягає в зміні вихідної напруги або потужності з метою отримання необхідних параметрів або максимальної вихідної енергії.

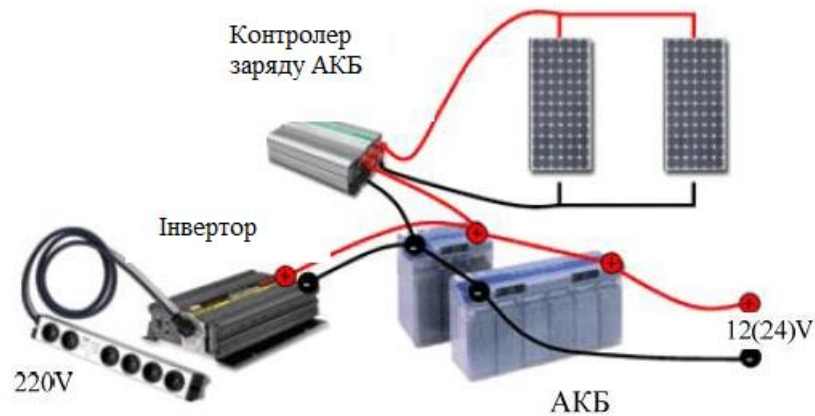


Рисунок 2.3 – Схема автономної фотоелектростанції

У своїй роботі контролер функціонує за одним із двох алгоритмів:

- алгоритм роботи на основі PWM (Pulse Width Modulation – широтно-імпульсна модуляція (ШІМ));
- алгоритм роботи на основі MPPT (Maximum Power Point Tracking – відстеження точки максимальної потужності (ВТМП)).

ШІМ – це операція отримання змінного аналогового значення за допомогою цифрових пристроїв.

Технології ШІМ використовуються для формування прямокутних імпульсів – сигналу, який постійно перемикається між максимальним та мінімальним значеннями. Цей сигнал моделює напругу між максимальним і мінімальним значенням, змінюючи при цьому тривалість часу увімкнення максимального значення відносно тривалості увімкнення мінімального (рис. 2.4).

Тривалість увімкнення максимального значення називається шириною імпульсу. Для отримання змінних аналогових величин змінюється саме ширина імпульсу. Дана технологія дозволяє забезпечувати певний рівень напруги [4].

Як правило, система Pulse Width Modulation обладнана електронним блоком із мікропроцесорним контролером.

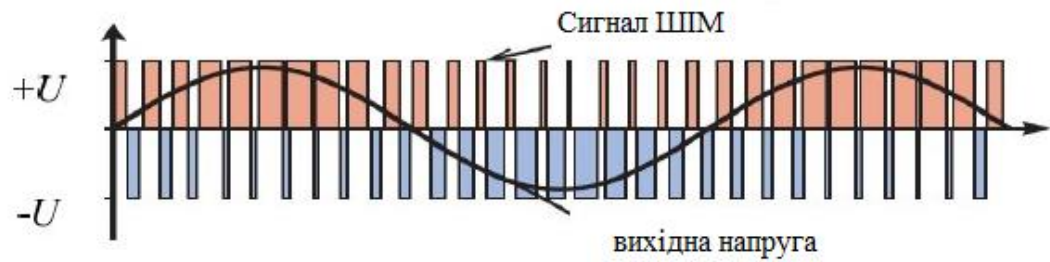


Рисунок 2.4 – Сигнал ШІМ та синусоїдальна вихідна напруга

Контролер із широтно-імпульсною модуляцією (ШІМ) забезпечує 100% рівень заряджання ємнісних накопичувачів енергії. Це відбувається у 4 стадії, кожна з яких виконується автоматично залежно від виміряного рівня заряду батареї накопичувачів енергії. Графічна схема процесів заряджання накопичувачів енергії показана на рис. 2.5.



Рисунок 2.5 – Стадії заряду акумуляторів

– Головний заряд – етап накопичення. Заряд здійснюється повним струмом сонячних модулів.

– Етап насичення або стадія абсорбції.

При досягненні акумуляторним накопичувачем певного рівня напруги блок керування починає підтримувати стабільну напругу завдяки наявності ШІМ-струму заряду. Це дозволяє уникнути перегріву та утворення газових

бульбашок в акумуляторах. Зарядний струм зменшується зі збільшенням заряду акумуляторів.

- Стадія підтримуючого заряду характерна для максимально зарядженої батареї. На цій стадії прикладені напруга та струм зменшуються, щоб уникнути нагрівання та утворення газових бульбашок у батареї, для якої підтримується стабільний рівень заряду.

- Для акумуляторів із кислотним електролітом може застосовуватися ще один етап – вирівнювання. Ця стадія передбачає повторюваний заряд до утворення газових бульбашок, що сприяє стабілізації напруги на окремих банках акумуляторних накопичувачів, очищенню пластин та перемішуванню електроліту.

З огляду на вищерозглянуте, до переваг ШІМ-контролерів слід віднести:

- уникнення нагрівання до критичної температури та закипання ємнісних накопичувачів,
- високий ККД,
- вирівнювання заряду в різних банках ємнісних накопичувачів та в різних акумуляторах.

Недоліком ШІМ-контролерів є низький діапазон зміни напруги генеруючого пристрою – фотоелектричних модулів, що призводить до розсіювання частини енергії.

Аналіз технології MPPT (Maximum Power Point Tracking – точка контролю максимальної потужності).

MPPT-методи керування не застосовуються спеціально в контролерах, проте можливе їх використання й в інверторах. Типовий MPPT-блок керування постійно відстежує струм і напругу на фотомодулях. Напруга фотоелектричних модулів, що змінюється залежно від температури та освітленості, буде максимальною, відповідною до поточного впливу сонячної енергії.

Вбудований процесор, у свою чергу, відстежує стадію накопичення енергії акумулятора (накопичення, фіксація, підтримка, вирівнювання) і на основі цієї інформації визначає величину подаваного струму. Процесор додатково виконує й інші функції: індикацію стану на табло, запис і зберігання даних тощо.

Технологія MPPT демонструє найбільш результативний спосіб реалізації контролерів, що дозволяє підвищити ККД використання сонячного випромінювання на 20–30% у порівнянні з класичними ШІМ-блоками керування.

Ілюстрація принципу роботи MPPT та ШІМ-контролерів фотоелектростанцій показана на рис. 2.6.

Для заряду 12 В акумулятора ШІМ-контролер обмежує U фотоелектричного модуля на рівні зарядного – трохи вище 12 В. На цьому рівні, відповідно до рис. 15, зарядна потужність становить 53 Вт (точка 1 на рис. 2.6).

MPPT-контролер надає можливість використовувати діапазон U фотомодулів від 12 В до допустимого за характеристикою – 17 В (точка 2 на рис. 2.6). MPPT-блок керування перетворює підвищене U у зарядний I , що забезпечує рівень зарядної потужності 75 Вт.

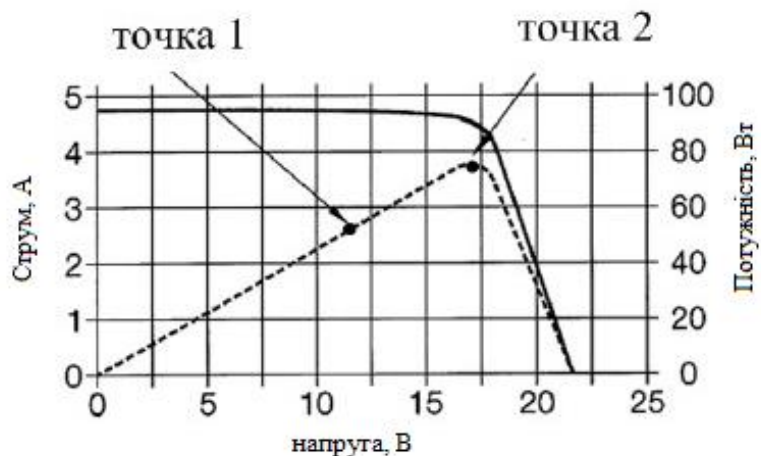


Рисунок 2.6 – Ефективність ШІМ та MPPT сонячних контролерів

Для реалізації даної технології можливе застосування кількох підходів, які можна класифікувати на прямі та непрямі.

Непрямі методи – ґрунтуються на періодичному відстеженні точки оптимальної потужності за допомогою простих вимірювань різних параметрів.

Прямі методи – методи, що включають прямі вимірювання струму, напруги або потужності й мають більш точні та швидкі результати, ніж непрямі. До найбільш відомих із них належать:

- алгоритм постійної напруги (струму) (Constant Voltage (current) method);
 - алгоритм формування напруги, що становить певну частку від напруги холостого ходу (Fractional Open Circuit Voltage);
 - алгоритм випадкових збурень (Perturb and Observe Method);
 - алгоритм додаткової провідності (Incremental Conductance Method)
- [5].

Розглянемо детальніше зазначені алгоритми.

Першим із них є алгоритм незмінної напруги (струму).

Цей метод ґрунтується на коригуванні робочої напруги (U) сонячного модуля (PV) за сезонними алгоритмами. Зазвичай підвищені напруги точки максимальної потужності (MPP) спостерігаються протягом низьких температур повітря порівняно з літнім періодом, при тому ж рівні сонячного випромінювання, завдяки температурним умовам (рис. 2.7).

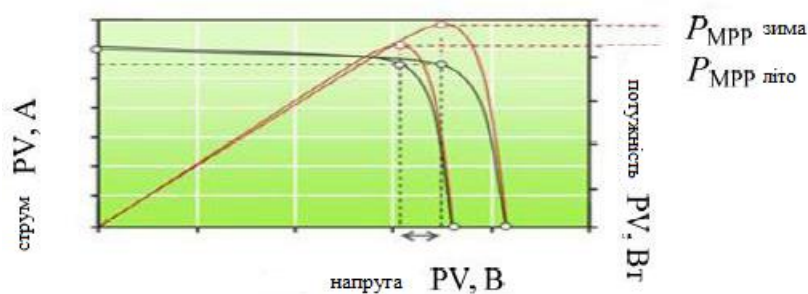


Рисунок 2.7 – Принцип алгоритму постійної напруги

Представлений метод не вирізняється високою точністю. Безпомилковість зростає, якщо реалізація методу відбувається з урахуванням мінімальних змін освітленості в конкретний день, що приводить до розробки робочого алгоритму.

Алгоритм із використанням напруги, яка становить певну частку від напруги холостого ходу. Основне припущення цього методу полягає в тому, що різниця між напругою точки найбільшої потужності U_{MPP} та напругою холостого ходу U_{xx} практично постійна.

$$U_{MPP}/U_{xx} \cong k < 1, \quad (2.1)$$

де k – коефіцієнт відповідності між напругою без навантаження та напругою максимальної потужності (рис. 2.8).

Метод реалізується проходженням таких кроків:

- фіксація напруги без навантаження масиву фотоелементів (при ізоляції від МРРТ);
- обчислення точки найбільшої потужності (ТММ) та коефіцієнта пропорційності;
- задання напруги в контролері МРРТ, що відповідає коефіцієнту пропорційності.

Даний алгоритм може повторюватися багато разів, оскільки точка ТММ залежить від погодних умов. Як правило, величина цього коефіцієнта k варіюється в діапазоні 0,73 – 0,80. Видно, що відстеження ТММ є досить складним процесом через невизначеність у виборі коефіцієнта. Будь-яке вимірювання супроводжується витоком енергії.

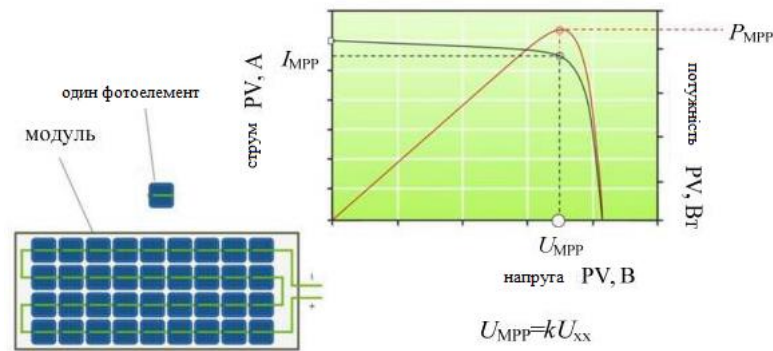


Рисунок 2.8 – Принцип алгоритмізації формування напруги, що відповідає напрузі холостого ходу фотоелемента

Невелике вдосконалення даного методу можна здійснити вимірюванням показників одного фотоелемента (pilot cell), який повністю відповідає всім іншим сонячним панелям, що входять до електростанції. Це спрощує визначення коефіцієнта пропорційності.

Наступний алгоритм – випадкові збурення.

Такий алгоритм реалізується наступним чином: «Припустимо, що робоча точка масиву сонячних батарей знаходиться в точці А, яка не відповідає точці максимальної потужності (рис. 2.9). В алгоритмі випадкових збурень робоча напруга масиву сонячних батарей збільшується на невелике значення. Потім вимірюється зміна потужності, яку відбирає перетворювач від сонячної батареї. Якщо зміна потужності є позитивною, тоді зміни напруги в тому ж напрямку будуть зміщувати робочу точку ближче до ТММ, у даному випадку до точки В (рис. 2.9). Як тільки зміна напруги призводить до зниження потужності (точка С), система починає змінювати її у протилежному напрямку. Таким чином, при досягненні точки максимальної потужності (РМРР) система приходить у стан динамічної рівноваги (співвідношення зміни потужності та напруги дорівнює нулю)» [6].

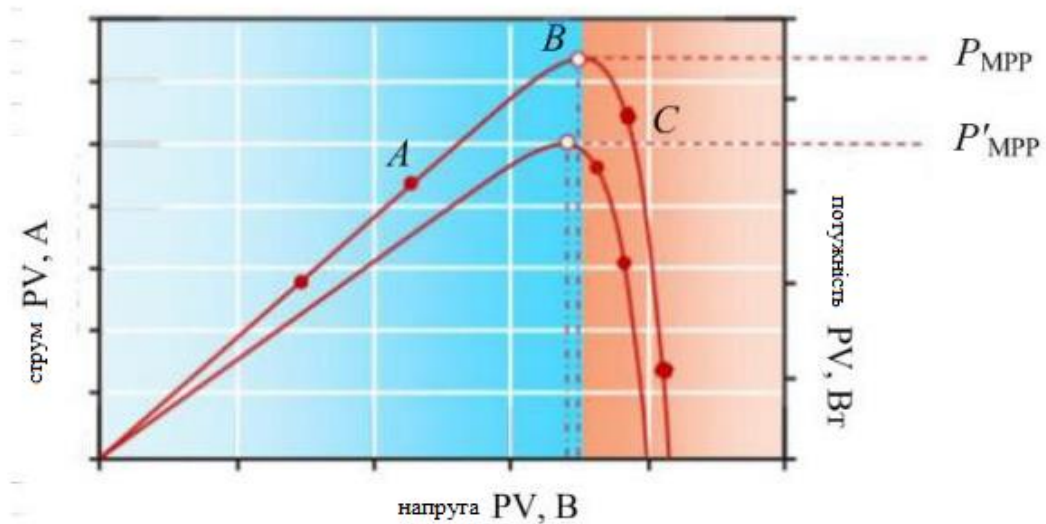


Рисунок 2.9 – Принцип алгоритму випадкових збурень

Перевага такого керування полягає в його простоті реалізації серед прямих алгоритмів. Однак алгоритм випадкових збурень має кілька недоліків, які є джерелом зниження його ефективності.

При незначних рівнях освітленості U-амперна характеристика вирівнюється, що призводить до складнощів при розрахунку точки максимальної віддаваної енергії, оскільки зміни потужності виявляються малими порівняно зі зміною U. Інший недолік способу випадкових збурень полягає в тому, що він не може однозначно визначити момент проходження регулятором ТММ. Для методу випадкових впливів характерні коливання робочої точки навколо значення максимальної потужності, що зменшує ефективність алгоритму.

Крім того, робота алгоритму під час тестування в деяких режимах може бути джерелом помилкових результатів. Таку поведінку можна спостерігати у структурі випадкових збурень при різкій зміні величини освітленості (нижня лінія на рис. 2.9). Ця помилка виникає в перехідному режимі, коли зміни вихідних даних внаслідок зміни рівня випромінювання перевищують зміни параметрів, зумовлені роботою алгоритму (ітерації пошуку ТММ).

Алгоритм випадкових впливів також може базуватися на зміні параметрів напруги на незмінні величини або на змінні.

Алгоритм додаткової провідності (Incremental Conductance Method).

«У методі додаткової провідності вимірюються поступові зміни струму та напруги масиву для прогнозування ефекту зміни напруги. Метод використовує приріст провідності dI/dV масиву фотоелементів для обчислення знака зміни потужності відносно напруги dP/dV .

Метод приросту провідності визначає точку максимальної потужності, порівнюючи приріст провідності dI/dV із провідністю масиву I/V . Точка, у якій вони рівні, і є точкою максимальної потужності. Потім ця рівновага підтримується до моменту зміни умов експлуатації (рис. 2.10, 2.20)» [7].

Висновок алгоритму ґрунтується на формулі:

$$dP/dV = d(I \cdot V)/dV \Rightarrow dP/dV = I + V \cdot d(I)/dV \quad (2.2)$$

Миттєва напруга та струм – це спостережувані параметри, при цьому напруга є ще й керованою величиною. U_{ref} – це напруга на сонячних модулях, встановлена МРРТ-пристроєм. У більшості випадків це останнє значення напруги точки пікової потужності.

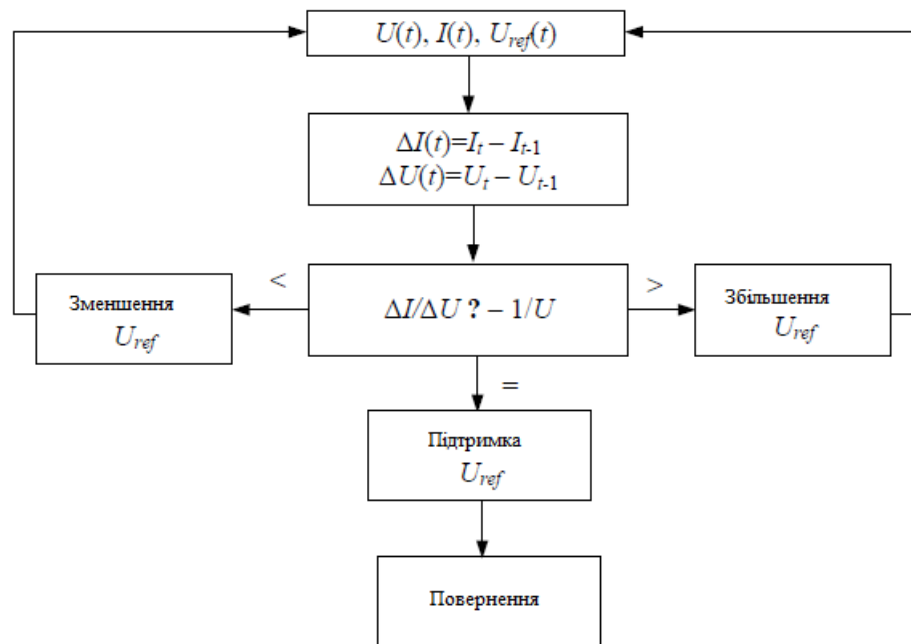


Рисунок 2.10 – Алгоритм додаткової провідності

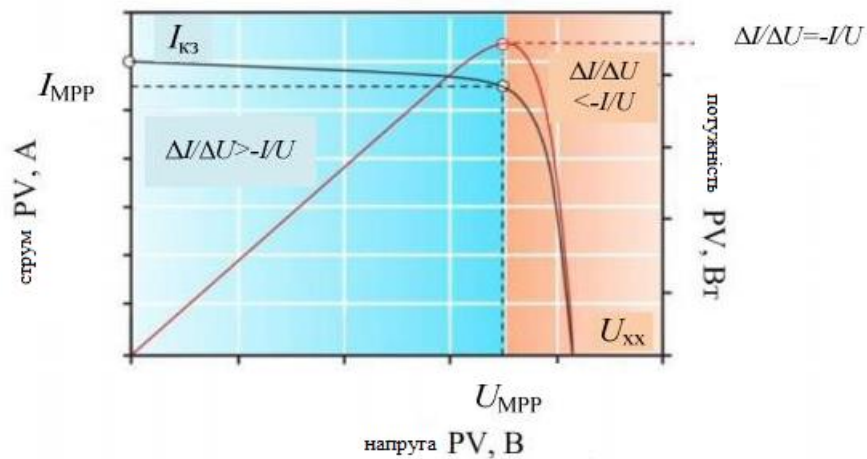


Рисунок 2.11 – Принцип роботи алгоритму додаткової провідності

Цей метод є одним із найефективніших. Під час розрахунку ТММ послідовність дій не «зависає» в межах цього відрізка при стабільному положенні, на відміну від алгоритму випадкових впливів. Крім того, мінімальні інтервали відбору параметрів роблять його майже нечутливим до змін умов освітлення.

Втім, за дуже швидких змін умов або при частковому затіненні алгоритм додаткової провідності може виявитися не надто ефективним. Основним недоліком цього способу є складність апаратної реалізації. Необхідно не лише реєструвати параметри енергетичних потоків, а й визначати їх миттєві та усереднені значення провідності.

Основні переваги сонячних контролерів типу МРРТ полягають у наступному:

- підвищується ефективність використання не лише акумуляторної батареї, а й фотоелектричних модулів завдяки можливості роботи при слабкій інсоляції;
- збільшується потужність, що знімається з фотоелектричних модулів, завдяки підвищенню їх сумарної напруги та перетворенню її в зарядний струм за допомогою DC/DC-перетворювача;
- з'являється можливість заряджання акумуляторів при низькому рівні освітленості;

– більш висока вхідна напруга контролера дозволяє зменшити переріз кабелів і збільшити відстань до фотоелектричних модулів [8].

Слід зазначити, що сучасні сонячні інвертори частково мають функції MPPT-контролерів. Наприклад, сонячний інвертор німецької компанії SMA SUNNY ISLAND, автономний інвертор SUNNY BOY тощо.

Структурна схема трифазного мережевого перетворювача з алгоритмами MPPT показана на рис. 2.12.

MPPT-регістратори відстежують точку пікової потужності сонячної панелі, після чого працює перетворювач, який змінює тип струму на протилежний, синхронізований із частотою електромережі. Із виходу перетворювача електроенергія надходить у мережу.

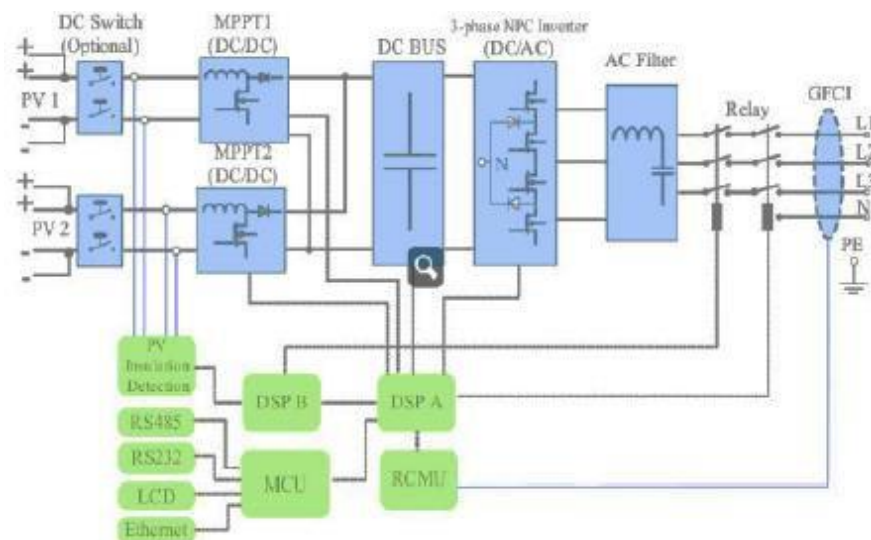


Рисунок 2.12 – Топологія мережевого інвертора з MPPT-трекерами

Пристрої ШІМ-керування зазвичай застосовуються в системах потужністю до 2–3 кВт з акумуляторним накопичувачем невеликої ємності. MPPT-контролери рекомендується використовувати в більш потужних автономних електростанціях. Доступні для придбання зразки контролерів сонячних електростанцій розраховані на вхідну напругу в межах від 74 до 200 В і струм до 60–80 А. Це дозволяє жити один контролер фотомодулями потужністю до 4 кВт при системній напрузі 48 В.

Питання оптимізації вітрогенератора

Потужність генератора залежить від потужності потоку вітру та швидкості обертання турбіни. Згідно з теорією роботи електрогенератора, кожному значенню швидкості вітру відповідає певна частота обертів вітрогенератора, причому при цій частоті генератор розвиває граничну потужність (рис. 2.12).

Для зняття з генератора максимальної потужності у вітроелектростанції за різних швидкостей вітру необхідно регулювати оберти вала. Регулювання обертів вала вітрогенератора зазвичай здійснюється шляхом зміни його зовнішнього навантаження. В автономних системах для навантаження генератора використовуються акумуляторні батареї та баластні навантаження. У мережних вітроелектростанціях з'являється можливість регулювання кількості енергії, що передається у зовнішню електричну мережу.

Заряд ємнісного накопичувача енергії та забезпечення режиму ефективної роботи здійснюється за допомогою блоків-перетворювачів енергії вітру. Введення в енергосистему контролера заряду ємнісних накопичувачів показано на рис. 2.13.

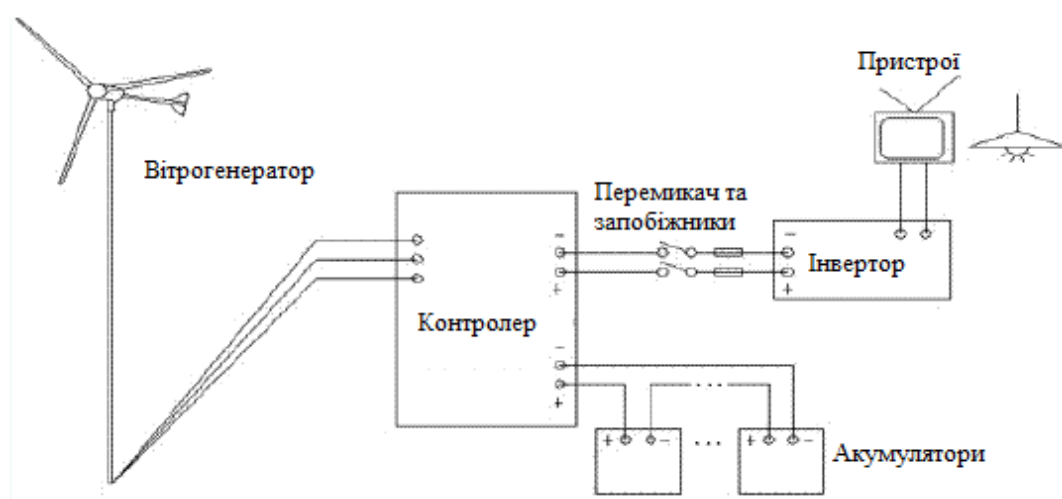


Рисунок 2.13 – Функціональна схема автономної електростанції

Контролер є головною ланкою між різними структурними елементами, що входять до складу автономних джерел енергії, і виконує такі функції:

1. Перетворення трифазного змінного струму вітрогенератора на постійний.
2. Регулювання величини зарядного струму залежно від ступеня зарядженості акумулятора.
3. Забезпечення розгону ротора на холостому ходу при слабкому вітрі.
4. Відключення акумуляторів від вітрогенератора при повному заряді.
5. Підключення баластного навантаження для захисту акумуляторних батарей і зменшення частоти обертання вітрогенератора при великих швидкостях вітру.
6. Моніторинг параметрів робочого режиму вітроелектростанції.

Контролер вітроелектростанції з технологією MPPT, окрім зазначених функцій, забезпечує роботу вітрогенератора в точці максимальної потужності для кожної швидкості вітру [9].

Щоб постійно отримувати максимальну енергію від вітрогенератора, необхідно підтримувати оптимальну частоту обертання вала ротора, що відповідає фіксованому значенню швидкості повітряного потоку – тобто точці максимальної потужності.

Застосовуються два типи методів відстеження точки пікової потужності:

- алгоритми, що базуються на використанні табличних параметрів і характеристик вітрогенераторів;
- методи, які не потребують наявності відомих характеристик конкретного вітрогенератора.

Серед «алгоритмів пошуку точки пікової потужності» вітрогенератора широко застосовуються такі:

- метод забезпечення режиму роботи вітрогенератора з оптимальним значенням швидкохідності;

- метод, заснований на порівнянні відомої залежності максимальної потужності вітротурбіни від частоти обертання з фактичним значенням генерованої потужності;
- метод пошуку точки максимуму потужності без апіорної інформації про параметри вітрогенератора [10].

Перший метод передбачає регулювання обертів вала вітрогенератора для забезпечення оптимальної швидкохідності шляхом регулювання величини навантаження, підключеного до генератора. Цей метод вимагає контролю поточної швидкості повітряного потоку та обертів вала вітрогенератора. Метод передбачає знання характеристик електричної машини, зокрема її оптимальної швидкохідності.

Функціональна схема реалізації цього методу наведена на рис. 2.14.

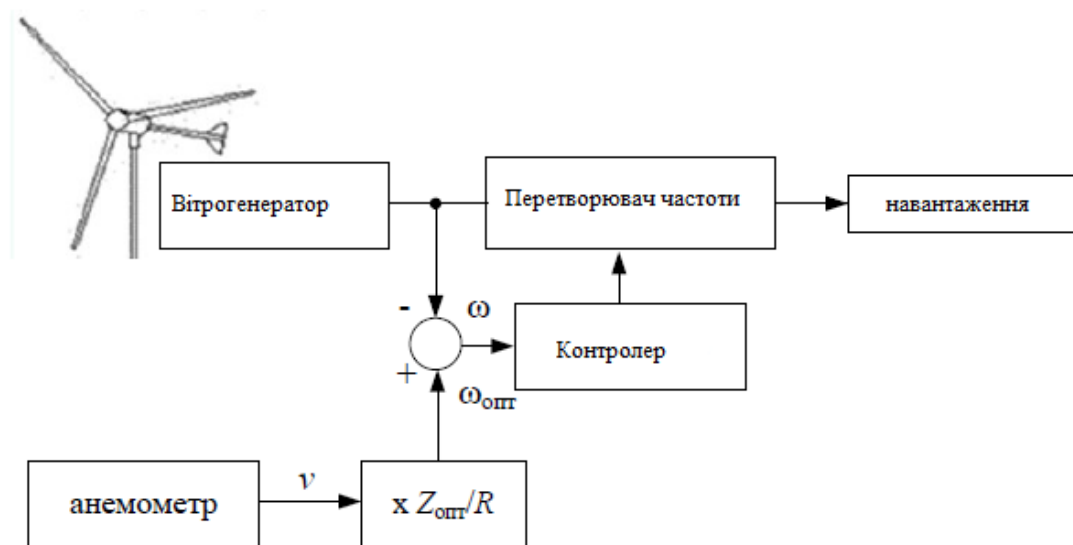


Рисунок 2.14 – Структура реалізації методу забезпечення оптимальної швидкохідності вала генератора

Другий метод контролю точки максимальної струмовіддачі вітрогенератора потребує наявності залежності максимальної струмовіддачі вітротурбіни від швидкості її обертання. Ця залежність зберігається в пам'яті мікроконтролера. Спосіб ґрунтується на контролі частоти обертання вала генератора, обчисленні оптимальної струмовіддачі для поточної частоти

обертання турбіни та порівнянні отриманих даних із поточним значенням вихідної величини струму. Схему реалізації цього методу показано на рис. 2.15.

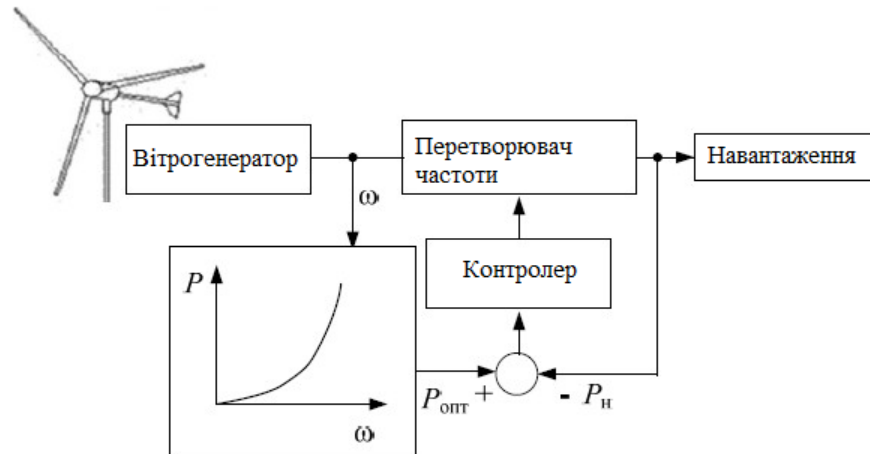


Рисунок 2.15 – Схема реалізації способу з використанням зворотного зв'язку за струмовіддачею

Перелічені методи ґрунтуються на відомих робочих параметрах вітрогенератора. Зазвичай компанії не надають у повному обсязі технічні дані. Тому їх доводиться отримувати самостійно шляхом експериментальних досліджень і моделювання, що часто є трудомістким або економічно дорогим процесом.

Третій спосіб забезпечення максимальної струмовіддачі вітрогенератора позбавлений зазначених недоліків. Принцип визначення точки максимальної струмовіддачі ілюструється на рис. 2.16.

При значенні функції $dP/d\omega=0$ величина потужності перебуває в точці максимуму. У випадку від'ємного значення зміни потужності P за частотою обертання шукану точку на критеріальній характеристиці зміщено вправо від точки екстремуму. Для повернення в режим максимальної струмовіддачі необхідно зменшити оберти вала вітрогенератора. У випадку додатного значення зміни потужності для повернення в режим максимальної струмовіддачі слід збільшити оберти вала вітрогенератора.

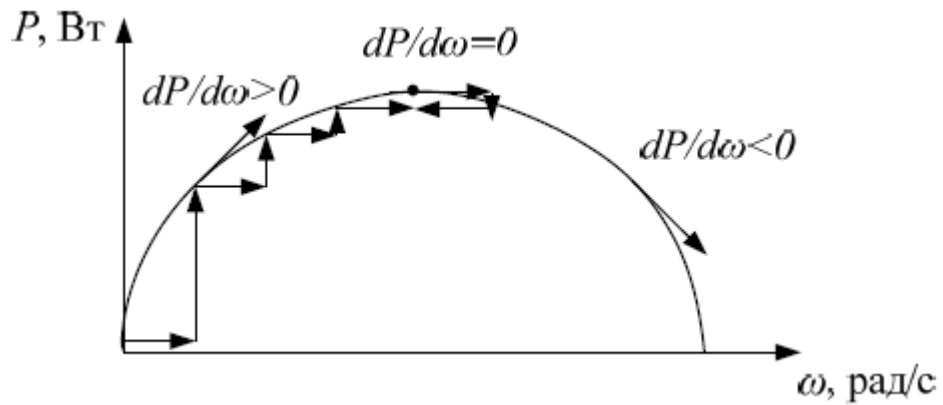


Рисунок 2.16 – Алгоритм пошуку максимуму потужності

Окрім пошуку точки екстремуму потужності, контролери керування вітрогенераторами з використанням інтелектуальних технологій надають можливість розширити діапазон застосування енергії вітру. Зокрема, існують блоки керування, що забезпечують роботу вітроелектростанції при низьких обертах турбіни.

Для цього блок керування фіксує «частоту вала ввімкнення» та «частоту вала вимкнення». При цих обертах починається і закінчується відбір потужності від вітроелектростанції.

Задання робочого діапазону обертів вітрогенератора створює ситуацію, коли у випадку зниження сили вітру нижче робочого діапазону він відключається від споживачів. За відсутності навантаження вітротурбіна при слабкому потоці вітру набирає робочу частоту обертання відповідно до розрахункового профілю та кута атаки лопатей. Після збільшення робочих обертів вала контролер підключає обмотку збудження до акумуляторної батареї та подає на неї живлення. Вітрогенератор знову починає сповільнюватися, і контролер знову роз'єднує його з навантаженням.

Використовуючи цей алгоритм, при слабкому потоці вітру енергія відбирається у повторювані проміжки часу, але загальна кількість відданої генератором енергії більша, ніж могла б виробити вітроустановка зі звичайним блоком керування, оскільки струмовіддача присутня і при обертах вітрогенератора, що відповідають оптимальним.

Як і у випадку з фотоелектростанціями, інвертори для вітростанцій можуть реалізувати частину алгоритмів MPPT, що забезпечують пік виробництва електроенергії за поточної швидкості повітряного потоку.

Таким чином, підвищення виробництва електроенергії сонячними та вітроелектричними станціями до максимально можливих значень, що відповідають енергетичній межі первинного енергоносія, реалізується за допомогою «розумних» контролерів заряду блоку накопичувачів енергії та інтелектуальних контролерів. Найбільшого поширення в зазначених елементах альтернативних енергоустановок сьогодні набули технології MPPT.

2.2 Оптимізація режимів роботи накопичувачів електроенергії

Найбільш популярними на сьогодні є акумулятори зі свинцевими електродами та кислотним електролітом. Вони мають нижчу приведену вартість 1 кВт•год електроенергії порівняно з акумуляторами, що працюють за іншими процесами. Такі акумулятори характеризуються високим ККД та можуть експлуатуватися за різних температур, у тому числі й за від'ємних. Для порівняння: ефективність свинцево-кислотних АКБ становить у межах 75–80%, тоді як ефективність АКБ із лужним електролітом не перевищує 50–60%. Загальний вигляд деяких моделей акумуляторних батарей показано на рис. 2.17.

Найчастіше в системах безперебійного та автономного електропостачання використовуються три основні види акумуляторних технологій: AGM, GEL та Flooded.

1. GEL-технологія (Gelled Electrolyte) з'явилася в середині XX століття. До електроліту додається SiO_2 , і через певний час він переходить із рідкого стану в желеподібний. У цій масі утворюється безліч мікропор, заповнених електролітом. Така консистенція дозволяє працювати GEL-акумулятору під будь-яким кутом нахилу та виключає витікання електроліту при перекиданні.

Акумулятори GEL-технології не потребують перевірок і регулювань протягом усього строку служби.

2. AGM-технологія (Absorptive Glass Mat) була розроблена на 20 років пізніше. Замість густого електроліту з консистенцією гелю тут використовується скломат, який просочують електролітом. Пори скломатів заповнюються електролітом не повністю, і в залишковому об'ємі відбувається рекомбінація газів.

3. Flooded-акумулятори з рідким електролітом (заливні) й досі мають широке застосування. Оснащені рециркуляційними клапанами, вони переходять у клас малообслуговуваних АКБ. Такі клапани не допускають виділення газів, а перевіряти рівень електроліту потрібно лише раз на рік. Це знімає обмеження на розміщення Flooded-акумуляторів у приміщеннях. Акумулятори відкритого типу більш витривалі порівняно з необслуговуваними, їхня питома вартість ампер-години нижча, і вони краще піддаються балансуванню [11].



Рисунок 2.17 – Різновиди акумуляторів

Підвищення ємності блоку АКБ пов'язане з тим, що окремі акумулятори об'єднуються способами паралельного, послідовного та паралельно-послідовного з'єднання (рис. 2.18).

1. При послідовному підключенні акумуляторів необхідно застосовувати акумулятори одного типорозміру. У цьому випадку загальна

ємність дорівнює ємності одного акумулятора, а напруга дорівнює сумі напруг окремих АКБ.

2. При паралельному підключенні АКБ, навпаки, сумуються ємності, і загальна ємність збільшується, а напруга блоку відповідає вихідній напрузі одного акумулятора.

3. Паралельно-послідовна комутація веде до збільшення обох параметрів блоку АКБ.

При створенні ємнісного накопичувача енергії необхідно враховувати, що акумулятори, випущені у різний час, можуть незначно відрізнятися один від одного, а також те, що під час зберігання відбувається їхній саморозряд.

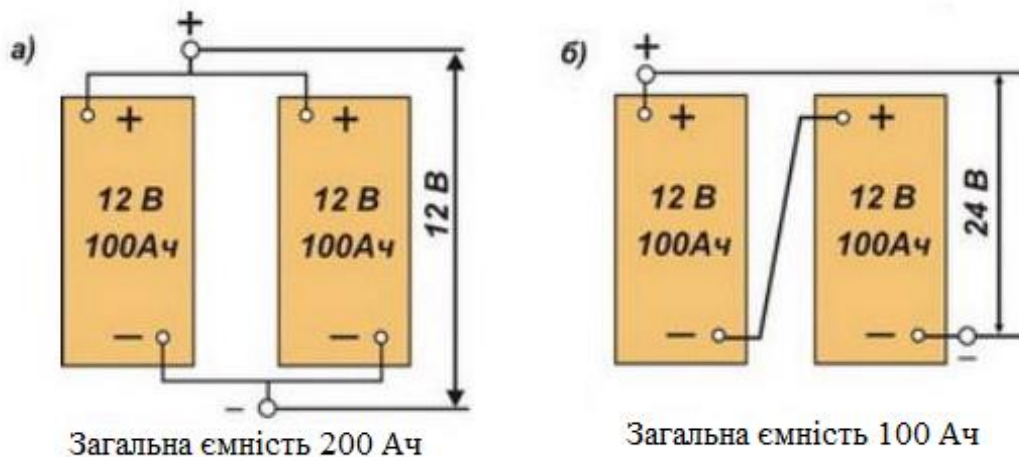


Рисунок 2.18 – Способи з'єднання акумуляторів:

а) паралельне; б) послідовне

З часом АКБ, об'єднані послідовно, а ще більшою мірою послідовно-паралельно з'єднані батареї, схильні до розбалансування. Це призводить до того, що сумарна напруга послідовних АКБ збігається з нормою для зарядного пристрою, але в самій ланці окремі рівні напруги одиночних акумуляторів значно відрізняються від норми. Наслідком є те, що частина акумуляторів перезаряджається, а інша частина недозаряджається. Це суттєво зменшує їхній строк служби.

Спеціальні пристрої заряду дозволяють звести до мінімуму це негативне явище. У виняткових випадках необхідно 1–2 рази на рік проводити заряд кожного акумулятора окремо. Для послідовно-паралельного з'єднання акумуляторів потрібно робити перемички між середніми точками, що сприяє самовирівнюванню заряду. Для збалансованого споживання енергії від акумуляторної батареї плюсовий вивід слід «брати» з найближчого акумулятора, а мінусовий – із діагонально розташованого.

Як відомо, робоча ємність АКБ залежить від струму розряду (рис. 2.19).

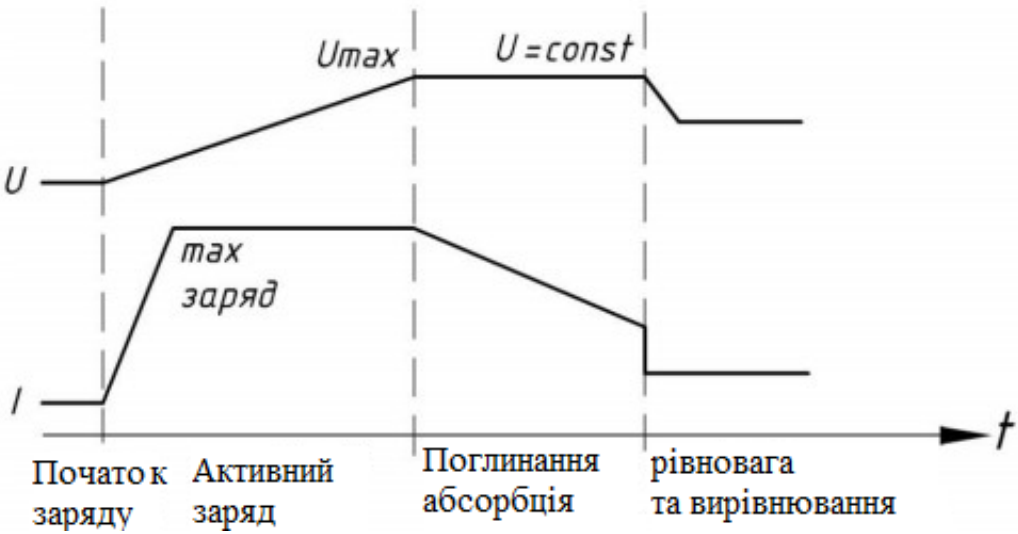


Рисунок 2.19 – Режими заряду-розряду АКБ за допомогою контролера

Навіть при незначному початковому струмі розряду може відбуватися досить суттєве зменшення напруги. Термін експлуатації безпосередньо залежить від кількості циклів «заряд-розряд» і зменшується зі збільшенням глибини розряду та підвищенням температури. АКБ необхідно захищати від великого та тривалого перезаряду і не допускати глибокого розряду (нижче 30%). У випадку, якщо АКБ повністю розряджений, утворюється сульфат у кристалічному вигляді.

Таблиця 2.1 – Порівняння типів АКБ за ресурсом

Тип акумулятора	Ресурс, кількість циклів
-----------------	--------------------------

Стартерні свинцево-кислотні АКБ	до 200
Акумулятори AGM	250 – 400
Гелеві АКБ	350
Панцирні АКБ	від 900 до 1500

Термін служби акумуляторів у складі систем автономного електроживлення безпосередньо залежить від кількості та характеру циклів «заряд – розряд» у процесі експлуатації. Акумулятори працюють у циклічному режимі, при цьому в окремі періоди можливі глибокий розряд і недозаряд. При переході з режиму заряду в режим розряду знижується напруга на АКБ.

Особливістю АКБ із гелевим електролітом є те, що за від’ємних температур різко зростає внутрішній опір, що ускладнює їхній заряд. Згідно зі стандартом на свинцево-кислотні стаціонарні батареї, акумулятор не рекомендується далі експлуатувати, якщо його ємність зменшилася на 20%, тобто становить 80% від початкового значення. Відповідно до цих рекомендацій, під час проведення експерименту глибина розряду АКБ була обмежена на рівні 30% шляхом налаштування й конфігурування параметрів використовуваного контролера заряду» [12].

Застосування спеціалізованих контролерів заряду блоку акумуляторних батарей автономних джерел енергії дозволяє значно продовжити термін експлуатації акумуляторів. Рекомендований алгоритм роботи такого контролера показано на рис. 2.20.

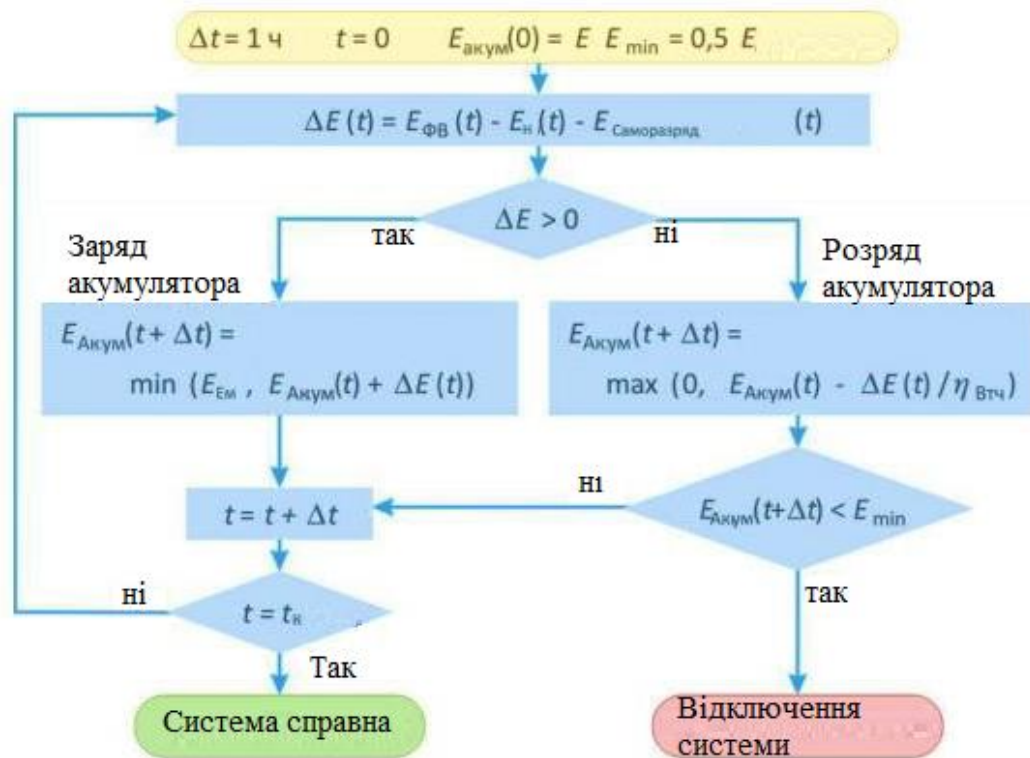


Рисунок 2.20 – Алгоритм роботи контролера заряду-розряду АКБ

2.3 Способи підвищення якості електроенергії, що виробляється вітровими та сонячними електростанціями за рахунок технічних засобів

Розглянемо концепцію інтелектуальної системи електропостачання автономних джерел енергії (ІСЕЛ АДЕ) (рис. 2.21).

Цей підпис вводить розділ, де пояснюється, як за допомогою спеціальних технічних рішень можна покращити якість електроенергії, що виробляється альтернативними джерелами – сонячними та вітровими станціями.

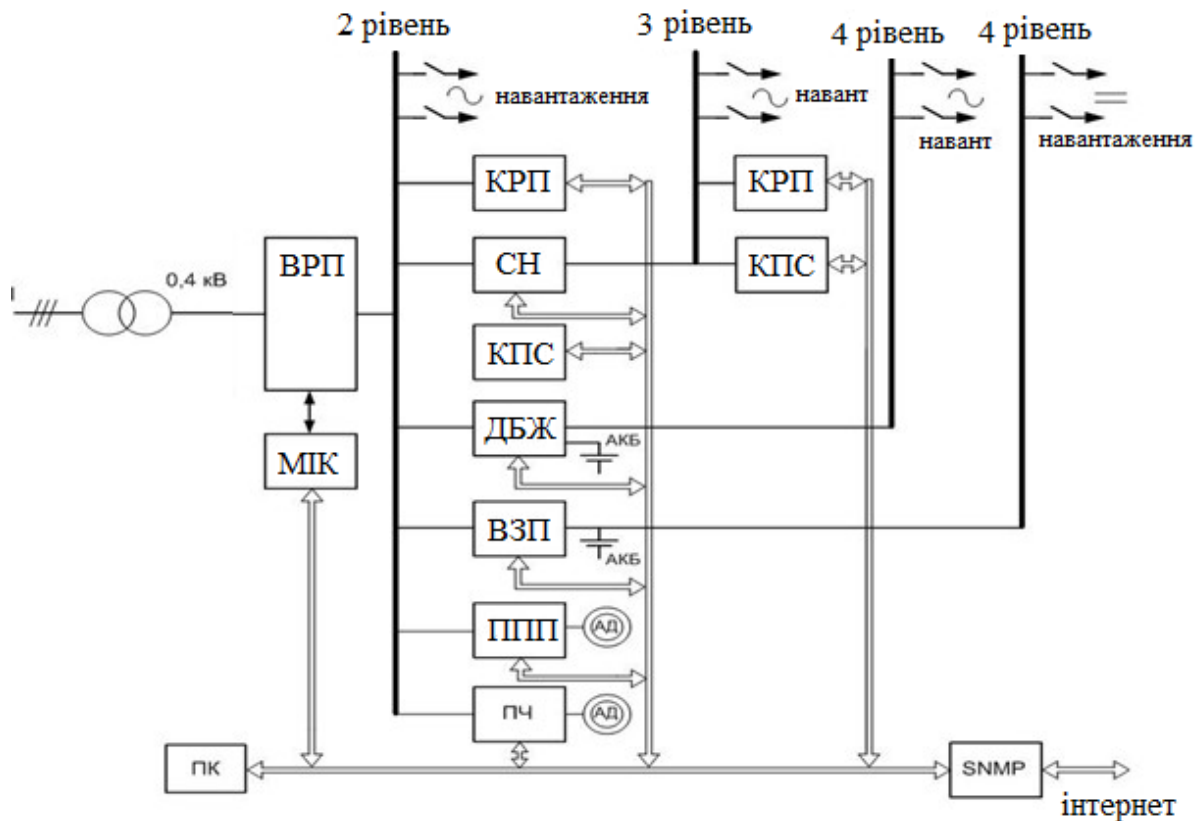


Рисунок 2.21 – Структурна схема ІСЕЛ АДЕ: ПК –панель керування, ВРП – ввідно-розподільчий пристрій, СН – стабілізатор напруги, ДБЖ – джерело безперебійного живлення, АБ – акумуляторні батареї, ВЗП – випрямно-зарядний пристрій, КРП – компенсатор реактивної потужності, КПС – компенсатор потужності спотворення, ППП – пристрій плавного пуску, ПЧ – перетворювач частоти, ПК – персональний комп’ютер» [13]

ІСЕЛ АДЕ має багаторівневу структуру. До шини другого рівня підключено ввідно-розподільчий пристрій (ВРУ), який комплектується всім необхідним електротехнічним обладнанням для захисту електричної мережі другого рівня від негативних впливів зовнішніх електричних мереж. Найбільш негативний вплив справляють мережеве перенапруження, високочастотні гармоніки та гармонічний шум. Також на другому рівні реалізуються основні захисні функції (від короткого замикання, перевантажень, перенапруження) та компенсація реактивної потужності.

Основним компонентом за важливістю виконуваної функції на шині третього рівня є стабілізатор напруги (СТ). Як випливає з його назви, головне

його завдання – забезпечення високої якості напруги при зміні її вхідного рівня.

На четвертому рівні розташовані два базові пристрої:

- джерело безперебійного живлення (ДБЖ) змінного струму, що підтримує безперервність подачі одно- та трифазної напруги як на навантаження, так і на власні потреби, з низьким коефіцієнтом несинусоїдності;

- випрямно-зарядний пристрій (ВЗП), який перетворює змінний струм від ДБЖ у постійний, необхідний насамперед для власних потреб ІСЕЛ АДЕ, але також і для навантаження постійного струму.

У структурі ІСЕЛ прийнято каскадно-багаторівневий спосіб увімкнення компенсаторів реактивної потужності (КРМ) та компенсаторів потужності спотворення (КПС) на шинах другого і третього рівнів (рис. 2.22). КРП підключаються безпосередньо як на вході живлення потужних індуктивних (І) споживачів, наприклад асинхронних електродвигунів, так і на загальній шині відповідного рівня. КРП підключаються на вході нелінійних навантажень (НН) типу випрямлячів, ДБЖ, перетворювачів частоти (ПЧ), імпульсних джерел живлення тощо для компенсації вищих гармонік струму, які генеруються нелінійним навантаженням у загальну шину [14].

Розглянемо більш детально основні структурні елементи ІСЕЛ АДЕ.

ВРП містить повітряні автоматичні вимикачі, вимикачі навантаження, розподільчі шини, засоби АВР та іншу комутаційну апаратуру. Для захисту АДЕ від негативного мережевого впливу у ВРП передбачені такі елементи:

- мережеві автоматичні вимикачі;
- мережеві фільтри високочастотних шумів;
- фільтри вищих гармонік (250, 350, 550 Гц);
- варисторні блоки пристроїв захисту від перенапружень;
- пристрої диференційного захисту від струмів витоку;
- швидкодіючі запобіжники – плавкі вставки;
- лічильники обліку електроенергії [15].

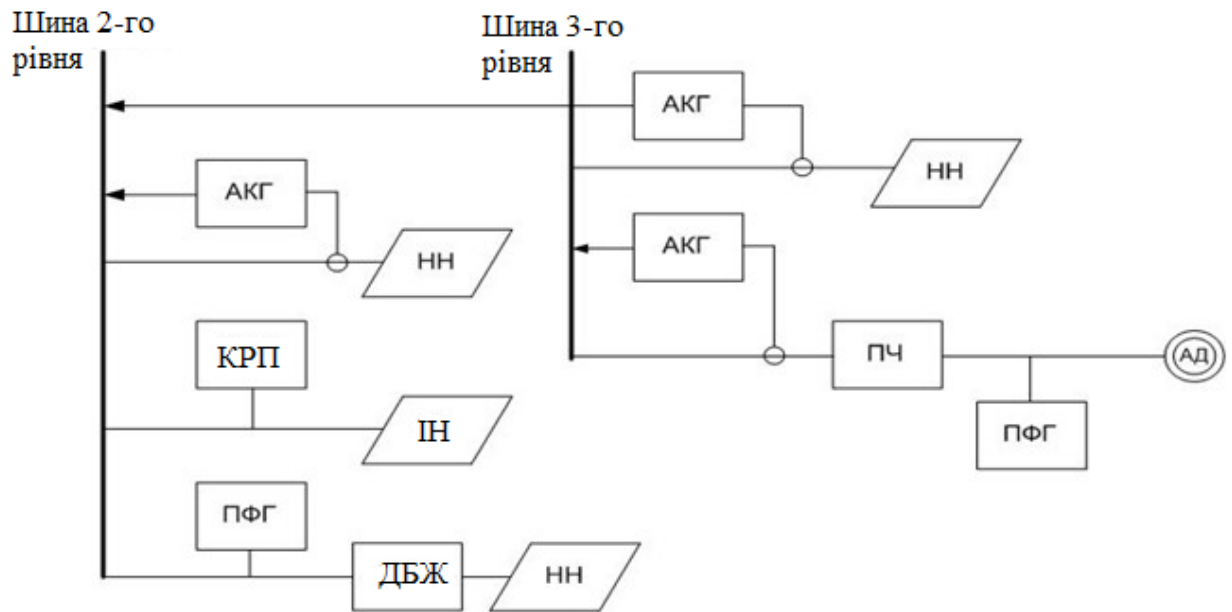


Рисунок 2.22 – Каскадно-багаторівневий спосіб підключення КРП і КПС: АКГ – активний кондиціонер гармонік, КРП – компенсатор реактивної потужності, НН – нелінійне навантаження, ІН – індуктивне навантаження, ДБЖ – джерело безперебійного живлення, ПФГ – пасивний фільтр гармонік, ПЧ – перетворювач частоти» [14]

Для розширення функціональних можливостей ІСЕЛ АДЕ додатково у ВРУ може бути встановлено високотехнологічне обладнання для підвищення стійкості АДЕ до можливих несправностей та аварійних режимів роботи:

- Багатофункціональний вимірювальний контролер (МІК), що здійснює збір інформації про технічний стан пристроїв, встановлених на другому рівні ІСЕЛ АДЕ: електричні параметри (I , U , P , Q , f , $\cos\phi$) та температурний режим експлуатації. Зібрана інформація відображається на власному дисплеї приладу та передається за спеціальним протоколом на персональний комп'ютер, подається на вхід зацікавлених пристроїв і в локальну мережу.
- Аналізатор стану ізоляції кабелю (АСІ), що збирає інформацію про дефекти ізоляції кабелів, проводів і приладів, встановлених в ІСЕЛ АДЕ. Для цього АСІ використовує дані про температуру (здебільшого стосується

ізоляції приладів і апаратів) та часткові розряди (високовольтні провідні лінії).

– Аналізатор якості заземлення (АКЗ), який дозволяє оцінити стан заземлення обладнання, встановленого у ВРУ. Прилад багатофункціональний, оснащений можливістю передачі зібраної інформації на ПК. Має власний індикатор. Крім стандартного вимірювання опору заземлення, прилад здатний виконувати імпульсне вимірювання питомого опору ґрунту та деякі інші вимірювання.

Оскільки автономні джерела енергії здебільшого мають невелику потужність, обладнання таких підстанцій коштує дорого, а термін окупності високий, більшість користувачів готові боротися за кожную «копійку». У цьому може допомогти пристрій компенсації реактивної потужності, яка присутня практично в будь-якій електричній мережі й, незважаючи на свій невеликий розмір, дозволяє економити. Для застосування в ІСЕЛ АДЕ рекомендується використовувати серійно випущені блоки конденсаторних батарей, що добре зарекомендували себе. Вони випускаються у широкому діапазоні потужностей від 10 до 1600 квар.

Ще однією серйозною проблемою в малому обсязі автономної електричної мережі, яка має підключення до єдиних енергомереж, а також містить у навантаженні індуктивні складові та нелінійні навантаження, є поява вищих гармонік струму. Якщо частота вищих гармонік збігається з основною частотою джерела енергії, у мережі виникає потужність спотворення. Змінена форма струму (відхід від синусоїдальності) своєю чергою викликає спотворення напруги, а разом вони негативно впливають на роботу електротехнічного обладнання, насамперед електронного. Поява «зайвих» гармонік струму збільшує його діюче значення, а отже, зростає і тепловий ефект струму. Для боротьби з цим небажаним явищем призначені прилади, що мають загальну назву пристрої компенсації потужності спотворення (КПС).

КПС можуть бути реалізовані на основі пасивних LC-фільтрів, налаштованих на 3-тю гармоніку для однофазних навантажень або на 5, 7, 11, 13-ту гармоніки для трифазних навантажень. Можливе використання активних кондиціонерів гармонік (АКГ), які самоналаштовуються на певні частоти вищих гармонік. Струмовий діапазон компенсації вищих гармонік АКГ становить 20–120 А» [15].

Оскільки однією з причин створення автономного джерела живлення є незадоволеність якістю постачаної електроенергії, в ІСЕЛ АДЕ необхідно обов'язково ввести стабілізатор напруги змінного струму. Тоді незначні коливання напруги, не пов'язані з аварією в системі, будуть компенсуватися цим приладом, створюючи так звану шину гарантованої напруги змінного струму на третьому рівні ІСЕЛ АДЕ [11].

Розрізняють такі типи стабілізаторів:

- СТС – стабілізатор із підмагнічуванням;
- СДТ – стабілізатор дискретний тиристорний;
- СДП – стабілізатор подвійного перетворення;
- СТЕМ – стабілізатор електромеханічний.

Діапазон потужностей трифазних стабілізаторів становить: 10 – 1000 кВА» [16].

Наступним пристроєм, що підвищує і без того вже високий рівень напруги на виході ІСЕЛ АДЕ, є джерело безперебійного живлення (ДБЖ) змінного струму. Його мета – створення на четвертому, найнижчому рівні (або, з іншого боку, найближчому до кінцевого споживача) шини гарантованої напруги четвертого рівня. До цієї шини підключаються навантаження з найвищим пріоритетом щодо безперервності живлення, зокрема прилади, які повинні продовжувати працювати при виникненні нештатної ситуації в системі. Для ІСЕЛ АДЕ рекомендується використовувати ДБЖ із подвійним перетворенням енергії.

Випрямно-зарядні пристрої (ВЗП) входять до складу джерел безперебійного живлення постійного струму та щитів оперативного струму

(ЩОС), формуючи шину гарантованого живлення постійного струму четвертого рівня. Електричні параметри ВЗП:

- напруга шини – 24, 48, 60, 120, 220 В;
- струм навантаження – 10–100 А» [17].

Як у побуті, так і в промисловості завжди є електроприймачі з великим пусковим струмом, насамперед це електродвигуни. Щоб підвищити надійність ІСЕЛ АДЕ та захистити її від стрибків пускових струмів, рекомендується включити до складу ІСЕЛ АДЕ пристрої плавного пуску (ППП) та здійснювати підключення ліній зі стрибками струму лише через ці пристрої.

Якщо споживач провів настільки масштабну модернізацію свого енергетичного господарства (створення ІСЕЛ АДЕ), то необхідно довести її до кінця й замінити системи керування електроприводами на сучасні, з частотним керуванням. Це не лише дозволить ще більше знизити витрати на електроенергію, але й продовжить строк експлуатації обладнання, що знову ж таки позитивно позначиться на економіці підприємства. Можна використовувати стандартні частотні перетворювачі, які у великій кількості доступні для придбання практично на будь-яку потужність від 0,75 до 400 кВт [12].

Оскільки відновлювані джерела енергії навіть теоретично не можуть безперервно виробляти електроенергію (у сонячних батареях настає темний час доби, у вітроелектростанціях може настати штиль), то в ІСЕЛ АДЕ необхідно передбачити автоматичне введення резерву (АВР), причому зробити його двоступеневим. На першому рівні умовне АВР1 здійснює перемикання від одного мережевого фідера до іншого (наприклад, перепідключаючи із сонячної батареї на вітроелектростанцію). На другому рівні здійснюється підключення ще одного джерела енергії, незалежного від перших двох. Найчастіше це дизель-генераторна установка.

Для об'єднання обладнання в систему, що працює без перебоїв і за заданими алгоритмами, необхідні програмно-апаратні засоби керування та моніторингу ІСЕЛ АДЕ.

ІСЕЛ АДЕ використовує відкриті протоколи обміну даними між різними елементами через мережеві контролери, що дозволяє створити розподілену інфраструктуру з високим рівнем відкритості для нарощування та модернізації. Щоденні операції з вимірювання, отримання даних і планування енергоспоживання виконуються за допомогою високоякісних та ергономічних машинних інтерфейсів і систем спостереження та контролю. Багатофункціональний вимірювальний контролер (МБК) та серія регуляторів коефіцієнта потужності (КРП) підтримують протоколи Modbus RTU і Modbus ASCII при використанні портів RS-232 та RS-485. Використання цих функцій дозволяє зчитувати показання приладів і керувати ними за допомогою програмного забезпечення віддаленого контролю DCRJSW» [18].

2.4 Оптимізація систем електропостачання за участю вітрових та сонячних електростанцій

Для вимірювання якості електроенергії, що виробляється альтернативними генеруючими потужностями, необхідно здійснювати вимірювання відповідно до ДСТУ EN 50160:2023, у якому відображені норми якості електричної енергії в системах електропостачання загального призначення.

Схема вимірювання параметрів якості електричної енергії наведена на рис. 2.23.

Використане приладове забезпечення:

– Джерело змінного струму – синхронна трифазна машина в режимі генератора потужністю 500 Вт.

- Вихідна напруга – 12 В.
- Випрямляч AC-DC.
- Перетворювач DC-AC 12/220 В типу E350-12, потужністю 350 Вт.
- Навантаження генератора – асинхронні двигуни, світлодіодні лампи, комп'ютер з імпульсним джерелом живлення, імітатори активно-індуктивного (R-L) та активно-ємнісного (R-C) навантаження.

Параметри якості електричної енергії досліджуваної системи вимірювалися за допомогою аналізаторів якості електроенергії Fluke – 434, Metrel 2892. Синусоїдальність вихідної напруги додатково контролювалася за допомогою цифрового осцилографа GDS – 7220 [13].

Електричні параметри мережі, що живить приводний асинхронний двигун, вимірювалися та реєструвалися за допомогою трифазного аналізатора потужності ACM – 3192.

Для оцінки електромагнітної сумісності елементів системи були обрані такі показники:

- сумарний коефіцієнт гармонічних складових кривої струму THDI;
- сумарний коефіцієнт гармонічних складових кривої напруги THDU;
- коефіцієнт, що характеризує внесок вищих гармонік у процес нагрівання трансформатора (K_{factor});
- пік-фактор струму (CF_i) та напруги (CF_u);
- максимальні та мінімальні значення струмів і напруг, споживана потужність.

THD I	THD струму	A	0,1757	0,1791	0,0351
THD I	THD струму	%	85,501	82,822	19,219
CF _u	Пік-фактор напруги	—	4,0955	3,9727	1,5377
CF _i	Пік-фактор струму	—	8,5436	7,5712	3,8654
K _{factor}	Кратність збільшення втрат	—	18,8247	20,04	4,8654
U _{min}	Мін. пік напруги	B	−272,1	−196	−198,6
U _{max}	Макс. пік напруги	B	221,92	202,37	189,41
I _{min}	Мін. пік струму	A	−3,009	−1,594	−0,790
I _{max}	Макс. пік струму	A	1,4444	2,9463	0,651
P	Активна потужність	Вт	20,191	18,887	22,131
Q	Реактивна потужність	вар	−11,82	20,817	−14,4

Нормовані значення цього показника становлять 8–12%. Збільшення втрат енергії в елементах системи електропостачання (K_{factor}) склало від 4 до 20 [14]. Під час проведення експериментів спостерігалися хибні спрацювання елементів захисту електроприладів та порушення в роботі локальної комп'ютерної мережі. Значення пік-факторів струму та напруги вказують на взаємодію джерела живлення і навантаження.

Аналіз отриманих результатів показує недоцільність забезпечення нормованих показників гармонічних спотворень традиційними методами (зниження повного опору мережі, застосування активних фільтрів гармонік тощо), навіть при використанні якісних перетворювачів DC–AC. Існуючі тенденції сучасного споживчого ринку побутових приладів констатують дедалі більшу частку обладнання з нелінійною характеристикою навантаження. Перспективні джерела електроенергії та традиційна автономна система електропостачання побутових споживачів енергії (220 В змінного струму) не відповідають вимогам електромагнітної сумісності для цієї категорії споживачів.

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 2:

У другому розділі розглянуто різні способи підвищення якості електроенергії, що виробляється вітровими та сонячними електростанціями. Проаналізувавши різні джерела інформації, було з'ясовано, що це можливо зробити за кількома напрямками: за рахунок модернізації алгоритмів керування; за рахунок оптимізації роботи ємнісних накопичувачів енергії; за рахунок застосування технічних засобів.

Розглянувши різні алгоритми керування сонячними та вітровими джерелами енергії, були обрані найбільш оптимальні варіанти, що дозволяють підвищити якість вироблюваної електроенергії. Для застосування в сонячних електростанціях обрана технологія MPPT – коли робота контролера полягає у відстеженні точки максимальної потужності. Ефект від впровадження цієї технології – підвищення виробленої кількості електроенергії на 20%. Для визначення місця розташування точки рекомендується використовувати алгоритм доповненої провідності.

Для оптимізації роботи вітрових електростанцій рекомендується впровадити принцип пошуку максимуму потужності, що дозволяє збільшити струмовіддачу генератора в усьому вітровому діапазоні. Це також можна зробити із застосуванням технології MPPT. Для оптимізації роботи блоків акумуляторних батарей рекомендується використовувати контролер заряду/розряду, що працює за розробленим алгоритмом. Крім цього, було запропоновано низку профілактичних заходів, спрямованих на підвищення якості роботи ємнісних накопичувачів енергії. Запропоновано структурну схему інтелектуальної системи електропостачання автономних джерел енергії, яка дозволяє підтримувати якість електричної енергії в локальній системі електропостачання на стабільно високому рівні. Це досягнуто завдяки застосуванню сучасного високотехнологічного, інтелектуального вимірювального, захисного, комутаційного, розподільчого та перетворювального обладнання.

РОЗДІЛ 3. ПИТАННЯ ОПТИМІЗАЦІЇ ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК СИСТЕМ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

3.1 Техніко-економічні аспекти проєктування гібридних електростанцій

Зміна енергетичних характеристик відновлюваних джерел енергії, розглянутих у даній роботі – руху повітря та сонячного світла – суттєво обмежує можливість створення автономного генераторного комплексу лише на базі сонячної чи вітрової електростанції. Наприклад, теоретичний потенціал сонячного світла влітку на європейській частині території нашої країни перевищує зимову освітленість у 10 і більше разів. Досить сильно відрізняються за сезонами й енергетичні характеристики вітру. Виходячи з оптимальних техніко-економічних показників, автономна відновлювана електроенергетика без додаткових джерел енергії може використовуватися лише для електрифікації споживачів із невеликим навантаженням, орієнтовно до 10 кВт. У випадку великих встановлених навантажень рекомендуються гібридні вітро-дизельні, сонячно-дизельні або сонячно-вітро-дизельні енергокомплекси з різним ступенем участі у генерації різних джерел енергії.

Склад і структура гібридного енергетичного комплексу залежать від часових змін енергетичного потенціалу відновлюваного енергоресурсу та електроспоживання об'єкта. З економічної точки зору автономний гібридний комплекс передбачає суттєве збільшення вартості енергетичного обладнання при незмінних обсягах виробленої електроенергії. Це призводить до погіршення економічних показників, наприклад, до обмеження можливостей зниження тарифу на електроенергію. Позитивними особливостями є: економія палива та моторесурсу ДЕС, великий строк служби енергетичного обладнання установок відновлюваної енергетики, підвищення надійності

електропостачання, покращення екологічної ситуації. Таким чином, завданням раціонального побудови гібридної системи електропостачання є забезпечення найкращих техніко-економічних показників у порівнянні з базовим – дизельним варіантом» [18].

Алгоритм створення гібридного енергокомплексу у вигляді структурної взаємодії наведено на рис. 2.24. Вихідними параметрами для побудови системи є енергетичні параметри об'єкта електрифікації: максимальна потужність і кількість споживаної електроенергії за кожен місяць протягом року. Параметри електроспоживання бажано розглядати за кілька років, наприклад, за 5–10-річний відрізок часу. Іншою групою даних для проєктування є енергетичні характеристики вітру та сонця у місці будівництва гібридного автономного комплексу. Ці параметри визначаються на основі статистичних даних метеоспостережень.

У результаті обробки метеоданих визначається актуальний для даної місцевості вид відновлюваного джерела енергії. За енергетичними параметрами пріоритетного ВДЕ та об'єкта електрифікації з баз даних у першому наближенні обираються енергетичні машини відновлюваної компоненти альтернативного енергокомплексу. Визначається кількість виробленої «чистої» електроенергії та складається помісячний зведений баланс споживаної й виробленої електроенергії. Найчастіше у різні пори року можливий як дефіцит, так і надлишок «зеленої» енергії. Недостаток енергії має покриватися ДЕС, а надлишок слід розглядати як недостатньо точне проєктування встановленої потужності ВДЕ.

На стадії аналізу енергетичного балансу обирається структура системного комплексу та необхідна дизель-електрична станція. На наступній стадії проводиться визначення фінансових показників розглянутого комплексу енергокомплексу та порівняння їх із базовим варіантом — коли джерело електроенергії одне, і це ДЕС.

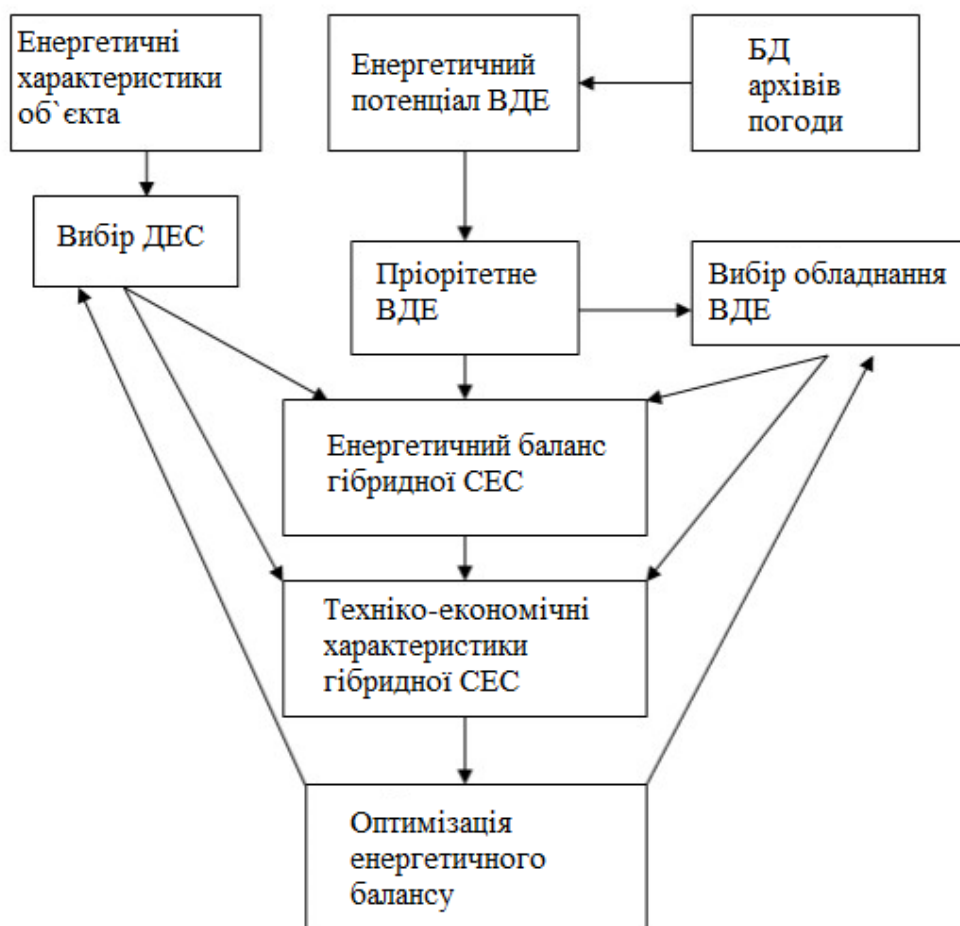


Рисунок 2.24 – Структурна схема алгоритму побудови гібридного енергокомплексу

Використовуючи дані економічних характеристик, здійснюється коригування енергетичного балансу, а отже, оцінюється участь відновлюваної та дизельної частин гібридної системи з метою підвищення її економічної ефективності. Таким чином, у результаті аналізу можливостей побудови гібридної системи обирається раціональний комплект, який приймається до реалізації.

Застосування оптимізаційних методів прискорює час пошуку оптимального варіанта енергокомплексу за відомих обмежень та з урахуванням дискретності комплекту.

3.2 Методи оптимізації систем електропостачання з участю вітрових, сонячних і припливних електростанцій

Через низьку енергетичну щільність відновлюваних енергоресурсів (ВЕ) та їх випадкову змінність, вартість виробленої електроенергії з використанням ВЕ у наш час зазвичай значно перевищує тариф на електроенергію, отриману на традиційних електростанціях. Тому конкурентоспроможною галуззю нетрадиційної енергетики залишається мала енергетика, переважно в децентралізованих мережах електропостачання споживачів, територіально розташованих у віддалених місцях.

Для результативної організації децентралізованого електропостачання з використанням ВЕ необхідно враховувати такі моменти:

- оцінка обсягів та умов електропостачання об'єктів, що не мають загального електропостачання;
- оцінка теоретичної кількості енергії від відновлюваних енергоресурсів у зоні розміщення системи електрифікації та вибір пріоритетних видів відновлюваної енергії;
- розробка способів і проведення аналізу техніко-економічних характеристик різних схем побудови децентралізованих мереж електропостачання;
- розробка показників економічної ефективності застосування децентралізованих систем подачі електроенергії;
- аналіз соціальних та екологічних аспектів застосування ВЕ для локального електропостачання об'єкта;
- опрацювання можливих організаційно-правових форм функціонування створюваного енергобізнесу в локальних зонах енергозабезпечення;
- розробка пропозицій щодо вдосконалення юридичної бази для здійснення цього напряму бізнесу з виробництва електроенергії.

Дослідження актуальної проблеми необхідно проводити з урахуванням таких аспектів:

Комплексний підхід до оцінки економічної та енергетичної ефективності децентралізованих зон із різними типами енергоджерел. Регіональні, кліматичні, географічні фактори при визначенні умов економічної та енергетичної ефективності функціонування децентралізованих систем енергозабезпечення. Тенденції розвитку та зміни зон децентралізованого енергопостачання. Тенденція розвитку енергоустановок, що використовують місцеві, у тому числі відновлювані енергоресурси. Оцінка ефективності застосування нетрадиційних і відновлюваних джерел енергії для електропостачання автономних об'єктів, які не мають централізованого електропостачання, здійснюється на основі порівняльного техніко-економічного аналізу всіх можливих варіантів електрифікації. При цьому необхідно розглянути варіанти електропостачання не лише від нетрадиційних джерел енергії, але й цілком традиційних: централізована енергосистема та рідкопаливні генератори. Електропостачання від енергосистеми передбачає будівництво лінії електропередачі, а як рідкопаливні генератори найпоширенішими є дизельні електростанції [19].

З урахуванням сказаного, до можливих комплектів електропостачання автономного об'єкта віднесено:

- централізоване підведення електроенергії (будівництво ЛЕП);
- дизельні та бензоелектростанції;
- вітроенергетичні комплекси;
- сонячні електростанції;
- комбіновані енергетичні комплекси.

Щоб порівняти між собою різні варіанти отримання електроенергії на об'єкті, потрібні показники ефективності. Доцільно здійснювати порівняння за трьома критеріями: технічними, економічними та соціально-екологічними.

До групи технічних критеріїв входить один показник – можливість технічної реалізації будівництва електростанції.

Критерій можливості реалізації проєкту на основі дизельних генераторів завжди позитивний.

Якщо здійснювати електропостачання від єдиної енергосистеми, то з точки зору критерію необхідно знати встановлене навантаження об'єкта електропостачання P (кВт) та довжину лінії до централізованої мережі L (км).

Для вітроенергетичної системи критерієм є середня швидкість вітру на рівні втулки лопатей $V_{\text{ср}}$ (м/с). Для електростанцій на фотоелементах – середньомісячна сонячна енергетична освітленість E (кВт·год/м²).

Головним критерієм економічної доцільності є приведені матеріальні витрати на 1 кВт встановленого навантаження системи електропостачання.

Соціально-екологічні критерії. Доцільно використовувати такі показники:

- можлива загроза життю людей;
- необхідність наявності палива;
- відчуження земельних ділянок;
- вплив на птахів і тварин у зоні роботи;
- акустичне випромінювання та вібрація;
- хвильове випромінювання.

Очевидно, що кількісна оцінка соціально-екологічних критеріїв є досить складною, а іноді й неможливою. Тому при аналізі виконується лише емпірична оцінка, яка може слугувати додатковим критерієм у випадку вибору найбільш оптимального варіанта електропостачання локального об'єкта.

З питань проєктування та оптимізації систем електропостачання (СЕС), що використовують відновлювані джерела енергії, опубліковано значну кількість матеріалів. Слід відзначити публікації, які розглядають автоматизовані програмні комплекси для проєктування.

Найбільшого поширення нині набули комплекси:

- HOGA – Hybrid Optimization by Genesis Algorithm (Іспанія);
 - HOMER – Hybrid Optimization Modeling Software (США);
 - HYPORA – Hybrid Power Optimized for Rural/Remote Areas (США)
- [20].

HOGA являє собою програму моделювання та оптимізації електричних систем, що використовують відновлювані види енергії. Мета оптимізації полягає у мінімізації загальних витрат системи за час експлуатації. Як цільову функцію можна прийняти кількість викидів вуглекислого газу в атмосферу. Для розв'язання оптимізаційної функції застосовується генетичний розрахунок. Математична модель алгоритму включає моделі кількох елементів: фотоелектричних панелей (ФЕП), вітроенергетичних установок (ВЕУ), дизельних електростанцій (ДЕС), акумуляторних батарей (АБ), мікро-ГЕС, паливних елементів тощо.

HOMER – програма, спрямована на розв'язання завдань функціональної оптимізації та корекції встановлених потужностей базового генеруючого обладнання. У розрахунковій моделі використовуються такі елементи, як ВЕУ, ФЕП, ДЕС, АБ, мікро-ГЕС, паливні елементи, засоби виробництва та використання водню, баластні блоки. Як критеріальні функції можуть застосовуватися капіталовкладення, споживання невідновлюваного палива, викиди в атмосферу. Ця програма є найбільш поширеною у розглянутій частині енергетики.

HYPORA – програма для розв'язання завдань функціональної оптимізації систем електропостачання (СЕС), що працюють на енергії Сонця, вітру, біомаси. Як критеріальну функцію розглядається ціна отриманої електроенергії. Головною особливістю цього продукту є можливість змінювати базову програму. HYPORA менш поширений порівняно з HOGA та HOMER. Представлені розрахункові моделі оптимізаційних алгоритмів реалізовані з використанням різних засобів імітаційного програмування: C++, MS Excel, JAVA та ін. Перевага названих оптимізаційних комплексів полягає у можливості розв'язання проблеми вибору оптимальної величини

потужності генеруючої станції різної фізичної основи. Представлені програмні засоби мають зручний інтерфейс для користувача, що спрощує їх застосування.

Недоліки зазначених комплексів такі:

- оцінка вітроенергетичного потенціалу за середньорічною або середньомісячною швидкістю вітру без урахування випадкового характеру цієї швидкості;
- використання в математичних моделях середньомісячної сонячної радіації, що характеризується циклічними добовими змінами;
- відсутність кореляції між параметрами навколишнього середовища та параметрами енергетичного обладнання;
- відсутність можливості виконання електричних розрахунків і врахування втрат електроенергії в системі електропостачання;
- відсутність можливості деталізації капіталовкладень у будівництво та експлуатацію СЕС;
- неможливість змінювати структуру комбінованої системи електропостачання та доповнювати її новими елементами [11].

Оптимізація системи та параметрів локальних енергокомплексів із використанням ВДЕ повинна виконуватися з урахуванням різноманітних вимог. Природні явища й атмосферні процеси є нестабільними, часто змінюваними, тому для більшої достовірності бажано мати результати спостережень за вітром і сонцем не менше ніж за десять років. На стадії проєкту необхідно врахувати можливі економічні витрати, причому не лише на закупівлю основного генеруючого обладнання, але й витрати будівельної частини, експлуатаційні тощо. Необхідно заздалегідь скласти алгоритм взаємодії всіх джерел енергії, що беруть участь у роботі проєктованої автономної системи електропостачання, пам'ятати про їхній строк експлуатації, можливість ремонту та заміни на аналоги.

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 3:

Оптимізація техніко-економічних характеристик повинна починатися з вибору головного критерію – що саме ви хочете покращити. Тут існує багато варіантів, і кожен із них вплине на подальше проєктування автономної СЕС, адже мета – зменшити кількість викидів вуглекислого газу в атмосферу – суттєво відрізняється від мети – відмовитися від централізованого електропостачання.

Очевидно, що в наведеному прикладі будуть застосовані різні підходи до вибору можливого обладнання, його вартості тощо. На кінцевому етапі проєктування автономної СЕС бажано скористатися спеціалізованим програмним забезпеченням, наприклад, застосувати програмний комплекс HOMER.

ВИСНОВКИ

Дана магістерська робота присвячена розробці пропозицій щодо підвищення якості електроенергії для вітрових, сонячних та припливних електростанцій. Вітрові та припливні електростанції мають принципово схожі конструкції, тому пропозиції для них є однаковими.

Якість електроенергії залежить не лише від джерела, що генерує енергію, але й головним чином від системи, тобто сукупності багатьох електричних приладів і пристроїв, через які електрична енергія передається від місця виробництва до місця споживання.

Розробка пропозицій щодо підвищення енергоефективності альтернативних джерел енергії (вітрових, сонячних та припливних електростанцій), які дозволяють підвищити якість електроенергії, є актуальним завданням.

Вивчення сучасного стану рівня техніки та технології у сфері виробництва, передачі й постачання електричної енергії споживачам виявило основні напрями, у яких можливе покращення роботи електричних мереж – більш стабільні характеристики якості напруги в області імпульсних викидів і просідань рівнів, частотних коливань, спотворення форми сигналу, проходження імпульсів.

Проаналізувавши різні джерела інформації, було з'ясовано, що це можливо зробити кількома шляхами:

- за рахунок модернізації алгоритмів керування;
- за рахунок оптимізації роботи ємнісних накопичувачів енергії;
- за рахунок застосування технічних засобів.

Розглянувши різні алгоритми керування сонячними та вітровими джерелами енергії, були обрані найбільш оптимальні варіанти, що дозволяють підвищити якість вироблюваної електроенергії.

Для застосування у сонячних електростанціях обрана технологія MPPT – коли робота контролера полягає у відстеженні точки максимальної

потужності. Ефект від впровадження цієї технології – підвищення виробленої кількості електроенергії на 20%. Для визначення місця розташування точки рекомендується використовувати алгоритм доповненої провідності.

Для оптимізації роботи вітрових електростанцій рекомендується впровадити принцип пошуку максимуму потужності, що дозволяє збільшити струмовіддачу генератора у всьому вітровому діапазоні. Це також можна реалізувати із застосуванням технології MPPT.

Для оптимізації роботи блоків акумуляторних батарей рекомендується використовувати контролер заряду/розряду, що працює за розробленим алгоритмом. Крім того, було запропоновано низку профілактичних заходів, спрямованих на підвищення якості роботи ємнісних накопичувачів енергії.

Запропонована структурна схема інтелектуальної системи електропостачання автономних джерел енергії (ІСЕЛ АДЕ), яка дозволяє підтримувати якість електричної енергії у локальній системі електропостачання на стабільно високому рівні. Це досягнуто завдяки застосуванню сучасного високотехнологічного, інтелектуального вимірювального, захисного, комутаційного, розподільчого та перетворювального обладнання.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Babak, V., & Kulyk, M. (2023). Increasing the efficiency and security of integrated power system operation through heat supply electrification in Ukraine. *Science and Innovation*, 19(5), 100–116
2. Babak, V., Nikitin, Y., & Teslenko, O. (2024). Цілісний підхід до системної трансформації електроенергетики, централізованого теплопостачання та комунальної інфраструктури. *System Research in Energy*, (4 (80)), 6-25.
3. Derii, V., Nechaieva, T., & Zgurovets, O. (2024). Expediency Of Using Power-To-Heat Technology In The Energy Systems Of Ukraine. *System Research in Energy*, (2a (78), 7-9.
4. Derii, V., Lenchevsky, E., Teslenko, A., Maistrenko, N., & Denisov, V. (2023). Prospects and energy-economic indicators of heat energy production through direct use of electricity from renewable sources in modern heat generators. In A. Zaporozhets & V. Artemchuk (Eds.), *Systems, Decision and Control in Energy IV* (Vol. 454, pp. 451–463). *Studies in Systems, Decision and Control*.
5. Energiewende direct. (2016, April 22). What exactly is meant by "power-to-heat"? BMWK Energiewende. URL: <https://www.bmwk-energiewende.de/EWD/Redaktion/EN/Newsletter/2016/07/Meldung/direkt-answers.html>
6. IRENA. (2019). Renewable power-to-heat. Innovation landscape brief. International Renewable Energy Agency. URL: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Sep/IRENA_Power-to-heat_2019.pdf?la=en&hash=524C1BFD59EC03FD44508F8D7CFB84CEC317A299
7. Matsui, M., Xu, D., Kang, L., Yang, Z. Limit Cycle Based Simple MPPT Control Scheme for a Small Sized Wind Turbine Generator System // *Proc. of 4th International Power Electronics and Motion Control Conference*, Xi'an. – 2004. – № 14. – С. 1746–1750.

8. Patsios, C., Chaniotis, A., Kladas, A. A Hybrid Maximum Power Point Tracking System for Grid-Connected Variable Speed Wind-Generators // IEEE PESC 2008, Rhodes. – 2008. – № 6. – P. 1749–1754.
9. Thongam, J.S., Ouhrouche, M. MPPT Control Methods in Wind Energy Conversion Systems // Fundamental and Advanced Topics in Wind Power. – 2011. – № 1. – C.339–360.
10. Wang, Q. An intelligent maximum power extraction algorithm for inverter-based variable speed wind turbine systems / Q. Wang, L. Chang // IEEE Trans. Power Electron. – 2004. – № 5. – C. 1242–1249.
11. Yaoqin, J. A new maximum power point tracking control scheme for wind generation / J. Yaoqin, Y. Zhongqing, C. Binggang // Proc. International Conference on Power System Technology. – 2002. – № 13. – C. 144–148.
12. Держенергоефективність. (2023). Середньозважені тарифи. Сайт Державного агентства з енергоефективності та енергозбереження України. URL: <https://saee.gov.ua/uk/content/serednozvazheni-taryfy>
13. Дерій, В. О. (2021). Оцінка економічної ефективності теплогенеруючих технологій для систем централізованого теплопостачання. Проблеми загальної енергетики, 2(65), 21–27. <https://doi.org/10.15407/pge2021.02.021>
14. Жук, Г. В., Іванов, Ю. В., Онопа, Л. Р., Крушневич, С. П., Кубенко, С. Б., Вербовський, В. С., & Малежик, П. І. (2022). Перспективні газові технології для сучасної України: монографія. Київ: Інститут газу НАН України; Фенікс. 290 с.
15. Нікітін, Є., Євтухова, Т., Новосельцев, О., & Комков, І. (2024). Регіональні програми енергоефективності. Поточний стан та перспективи розвитку. Енерготехнології та ресурсозбереження, 78(1), 34–47.
16. Про альтернативні джерела енергії: Закон України. (2003). URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/555-15#Text>
17. Про комбіноване виробництво теплової та електричної енергії (когенерацію) та використання скидного енергопотенціалу: Закон України.

(2005). URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2509-15#Text> .

18. Про ринок електричної енергії: Закон України. (2017). URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2019-19#Text>

19. Тесленко О. І. (2024). Енергетичний потенціал розподіленої генерації на потужних котельнях України в умовах воєнної агресії. Енерготехнології та ресурсозбереження, 78(1), 47–59.

20. Шульженко С. В. (2021). Статистична обробка даних мінливості генерації вітрових та сонячних електростанцій для оцінки додаткової гнучкості енергосистеми. System Research in Energy, (1 (64)), 14-28.

ВІДГУК
наукового керівника кваліфікаційної дипломної роботи
“другого (магістерського)” рівня вищої освіти

виконаного на тему: «Підвищення якості та енергоефективності елементів вітряних, сонячних та приливних електростанцій»

здобувачем Дмитром ХАРЧЕНКО

Дипломна робота студента Дмитра ХАРЧЕНКА виконана на високому науково-технічному рівні та присвячена актуальній проблемі сучасної енергетики – оптимізації гібридних систем електропостачання з використанням відновлюваних джерел енергії.

У роботі проведено комплексне дослідження сучасних технологій вітрових, сонячних та гібридних електростанцій, розроблено методи підвищення енергоефективності та якості електроенергії, а також запропоновано алгоритми оптимізації техніко-економічних характеристик таких систем.

Наукова обґрунтованість. Автор продемонстрував глибоке розуміння фізичних принципів роботи відновлюваних джерел енергії та аргументовано обґрунтував вибір методів оптимізації. Особливої уваги заслуговує аналіз технічного потенціалу різних видів ВДЕ з наведенням конкретних енергетичних показників у стандартизованих одиницях виміру.

Інноваційність. У роботі запропоновано комплексне рішення з інтеграції технологій MPPT (відстеження точки максимальної потужності) для сонячних і вітрових установок, а також розроблено структуру інтелектуальної системи електропостачання автономних джерел енергії. Особливу цінність має порівняльний аналіз алгоритмів керування та обґрунтування вибору методу додаткової провідності для сонячних станцій.

Практична значущість. Запропоновані технічні рішення можуть бути реалізовані при проектуванні та модернізації автономних і гібридних енергосистем. Розроблені алгоритми дозволяють підвищити ефективність

використання відновлюваних джерел на 20-30%, що має значний економічний ефект. Методика техніко-економічного аналізу з використанням програмних комплексів HOMER та HOGA може бути застосована для оцінки ефективності реальних енергетичних проектів.

Методична цінність. Робота відзначається чіткою структурою, логічністю викладу, високим рівнем візуалізації результатів (схеми, алгоритми, графіки, таблиці). Особливої уваги заслуговує експериментальна частина, де продемонстровано результати дослідження якості електроенергії в автономних системах електропостачання.

Дипломна робота повністю відповідає вимогам до магістерських кваліфікаційних досліджень. Автор продемонстрував здатність застосовувати теоретичні знання з електроенергетики, відновлюваної енергетики та системного аналізу для створення практично значущих інженерних рішень.

Робота заслуговує на оцінку «відмінно», а її автор – на присвоєння кваліфікації магістра за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка».

Керівник кваліфікаційної
дипломної роботи:
к.т.н., доцент

Костянтин БРОВКО

РЕЦЕНЗІЯ
на кваліфікаційну дипломну роботу
“другого (магістерського)” рівня вищої освіти

виконаного на тему: «Підвищення якості та енергоефективності елементів вітряних, сонячних та приливних електростанцій»

здобувачем Дмитром ХАРЧЕНКО

Магістерська робота Дмитра ХАРЧЕНКО є актуальним, змістовним та науково обґрунтованим дослідженням, присвяченим оптимізації гібридних систем електропостачання з використанням відновлюваних джерел енергії.

У роботі вирішено важливе науково-практичне завдання – розроблено комплекс методик і алгоритмів для підвищення енергоефективності та якості електроенергії від сонячних, вітрових і гібридних електростанцій.

Основні переваги роботи:

- високий рівень опрацювання теоретичних основ: проведено комплексний аналіз конструктивних особливостей та технічного потенціалу вітрових, сонячних і приливних електростанцій, досліджено вольт-амперні характеристики фотоелектричних модулів і потужнісні характеристики вітротурбін;
- наукова новизна: запропоновано алгоритми оптимізації роботи відновлюваних джерел енергії з використанням технології MPPT, обґрунтовано вибір методу додаткової провідності для сонячних станцій та методу пошуку максимуму потужності для вітрогенераторів;
- практична спрямованість: розроблена структура інтелектуальної системи електропостачання автономних джерел енергії може бути реалізована в практичних умовах, а запропоновані технічні рішення дозволяють підвищити ефективність використання ВДЕ на 20-30%;

– інженерна реалізація: автором розроблено структурні схеми систем, алгоритми керування контролерами заряду, методи компенсації реактивної потужності та гармонічних спотворень;

– методична цінність: робота відзначається логічною побудовою, чіткою структурою, наочними схемами, таблицями та результатами експериментальних досліджень, що робить її придатною для навчальних і наукових цілей.

Зауваження: Бажано було б детальніше розкрити практичні аспекти впровадження запропонованих алгоритмів МРРТ для різних кліматичних умов, зокрема для регіонів із значною мінливістю погоди протягом доби. Проте цей аспект не є критичним для загальної якості дослідження і може стати темою подальших наукових розвідок автора.

Магістерська робота Дмитра ХАРЧЕНКО відповідає вимогам, що висуваються до кваліфікаційних досліджень такого рівня. Вона відзначається високою актуальністю, науковою новизною, глибоким теоретичним опрацюванням та практичною значущістю результатів.

Робота заслуговує оцінки «відмінно», а її автор – присвоєння кваліфікації магістра за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка».

Рецензент:

к.т.н., доцент

Олег ПОДОЛЯК