

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інженерії та енергетики

Кафедра електрифікації, автоматизації виробництва та інженерної екології

Кваліфікаційна робота
на правах рукопису

Левандовський Мирослав Олегович

УДК 621.359.4

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

Аналіз впровадження мікрогенерації та енергозберігаючих технологій в
рамках концепції «зеленої енергетики»

(тема роботи)

141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

(шифр і назва спеціальності)

Подається на здобуття освітнього ступеня бакалавр

кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

Левандовський М. О.

(підпис, ініціали та прізвище здобувача вищої освіти)

Керівник роботи

Соколовський Олег Феліксович

(прізвище, ім'я, по батькові)

к.т.н., доцент кафедри електрифікації,
автоматизації виробництва та інженерної екології

(науковий ступінь, вчене звання)

Житомир – 2026

АНОТАЦІЯ

Левандовський М. О. Аналіз впровадження мікрогенерації та енергозберігаючих технологій в рамках концепції «зеленої енергетики» . Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня бакалавра за спеціальністю 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка – Поліський національний університет, Житомир, 2026.

Мета дослідження – розробка пропозицій щодо стимулювання мікрогенерації ВДЕ в житловому та комерційному секторі на основі досвіду країн з найвищим рівнем розвитку мікрогенерації ВДЕ. Проведено огляд різних державних заходів стимулювання сонячної генерації та стандартів підключення мікрогенерації до загальної мережі в зарубіжних країнах – лідерах розвитку відновлюваної енергетики. Сформульовано пропозиції та рекомендації щодо розвитку мікрогенерації в Україні.

Ключові слова: відновлювані джерела енергії, мікрогенерація, ефективність використання.

ABSTRACT

Levandovsky M. O. Analysis of the implementation of microgeneration and energy-saving technologies within the framework of the concept of "green energy". Qualification work for obtaining a bachelor's degree in specialty 141 - Electrical Power Engineering, Electrical Engineering and Electromechanics - Polissia National University, Zhytomyr, 2026.

The purpose of the study is to develop proposals for stimulating microgeneration of RES in the residential and commercial sectors based on the experience of countries with the highest level of development of microgeneration of RES. A review of various state measures to stimulate solar generation and standards for connecting microgeneration to the general network in foreign countries - leaders in the development of renewable energy were conducted. Proposals and recommendations for the development of microgeneration in Ukraine were formulated.

Keywords: renewable energy sources, microgeneration, efficiency of use.

ЗМІСТ

ВСТУП	4
РОЗДІЛ 1. СУЧАСНІ ТЕНДЕНЦІЇ РОЗВИТКУ «ЗЕЛЕНОЇ» ЕНЕРГЕТИКИ	7
1.1 Аналіз світового споживання електроенергії	7
1.2 Сучасні тенденції розвитку «зеленої» енергетики	12
Висновки по розділу 1	18
РОЗДІЛ 2 СТИМУЛЮВАННЯ МІКРОГЕНЕРАЦІЇ НА ОСНОВІ ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ	19
2.1 Зарубіжний досвід стимулювання мікрогенерації на основі відновлюваних джерел енергії	19
2.2 Закордонні програми стимулювання мікрогенерації на основі відновлюваних джерел енергії	26
Висновки по розділу 2	33
РОЗДІЛ 3 НАПРЯМКИ ТА МОЖЛИВОСТІ ПІДВИЩЕННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ МІКРОМЕРЕЖ	34
Висновки по розділу 3	44
ВИСНОВКИ	45
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	46

ВСТУП

Сьогодні у зв'язку зі зміною соціально-економічної ситуації в країні як у цивільного населення (приватний сектор), житлово-комунальних служб, так і в різних галузях промисловості та оборонній сфері спостерігається зростаючий інтерес до малої енергетики, зокрема її галузі - мікроенергетики. Події останніх років показали суттєву нестійкість забезпечення споживачів різних категорій електроенергією та теплом, що постачаються централізованими енергетичними системами.

Однак завдання підвищення енергетичної безпеки (ЕБ) різних об'єктів може бути вирішене засобами малої енергетики, в тому числі мікроенергетики.

Автономні енергетичні силові установки на базі двигунів внутрішнього згоряння (ДВЗ) є одними з ключових засобів малої енергетики, що забезпечують електроенергією місця, де немає централізованого електропостачання, а також забезпечують резервне (аварійне) електропостачання споживачів, що вимагають підвищеної надійності та не допускають перерв у подачі енергії при аваріях у зонах централізованого електропостачання.

Підвищення надійності енергопостачання є актуальним при об'єднанні можливостей установок на базі ДВЗ та альтернативних джерел електроенергії (АДЕЕ). Найпоширенішими АДЕЕ для автономних енергоустановок є сонце та вітер. Завдяки спільній роботі забезпечується ряд незаперечних переваг: зниження витрат органічного палива на вироблення 1 кВт·год електроенергії, можливість накопичення енергії та гарантованого живлення споживача в моменти простою АДЕЕ, високий рівень автономності.

Більшість експлуатованих та пропонованих на ринку автономних енергетичних систем, що використовують АДЕЕ, є технічно завершеними виробами, адаптованими під строго певний тип енергетичного обладнання, що не допускають можливості розширення їх функціональних можливостей та нарощування потужностей за рахунок підключення нових генеруючих джерел.

Відсутність на ринку відновлюваної енергетики універсальних пристроїв, що забезпечують можливість об'єднання в рамках єдиної автономної енергетичної системи різнотипних енергетичних установок з ефективним управлінням режимами роботи, негативно позначається на розвитку малої енергетики та мікроенергетики країни зокрема, тому їх створення в сьогоденних умовах є актуальним завданням.

Мета дослідження – розробка пропозицій щодо стимулювання мікрогенерації ВДЕ в житловому та комерційному секторі на основі досвіду країн з найвищим рівнем розвитку мікрогенерації ВДЕ. **Обрано методи** бібліографічного, порівняльного та статистичного аналізу, а також метод множинного кейс-стаді. Проведено огляд різних державних заходів стимулювання сонячної генерації та стандартів підключення мікрогенерації до загальної мережі в зарубіжних країнах – лідерах розвитку відновлюваної енергетики. Сформульовано пропозиції та рекомендації щодо розвитку мікрогенерації в Україні, які можуть бути в подальшому використані при внесенні змін до нормативно-правової бази у сфері електроенергетики та розробці програм стимулювання мікрогенерації на основі ВДЕ. Одним з невирішених питань стимулювання розвитку мікрогенерації на основі ВДЕ є слабка зацікавленість мережевих компаній у підключенні об'єктів малої енергетики.

Перелік публікацій автора за темою дослідження :

Левандовський М. О. ОСНОВНІ ТЕНДЕНЦІЇ РОЗВИТКУ ВДЕ В СВІТЛІ КОНЦЕПЦІЇ «ЧИСТИЙ НУЛЬ»

Матеріали науково-практичної конференції факультету інженерії та енергетики «НАУКОВІ ЧИТАННЯ за підсумками І-го туру Всеукраїнського конкурсу студентських наукових робіт з галузей знань і спеціальностей» 29 квітня 2026 року. Житомир: Поліський національний університет, 2026.- С 195-198.

Присяжнюк В. О., Левандовський М. О. ЕКВІВАЛЕНТНА ЕЛЕКТРИЧНА СХЕМА СОНЯЧНОГО ЕЛЕМЕНТА

Матеріали науково-практичної конференції факультету інженерії та енергетики «НАУКОВІ ЧИТАННЯ за підсумками I-го туру Всеукраїнського конкурсу студентських наукових робіт з галузей знань і спеціальностей» 29 квітня 2026 року. Житомир: Поліський національний університет, 2026.- С 195-198.

РОЗДІЛ

СУЧАСНІ ТЕНДЕНЦІЇ РОЗВИТКУ «ЗЕЛЕНОЇ» ЕНЕРГЕТИКИ

1.1 Аналіз світового споживання електроенергії

Відновлювані джерела енергії відіграють ключову роль у переході на екологічно чисту енергію, а їхнє впровадження є одним з основних факторів, що дозволяють утримати зростання середньої глобальної температури нижче 1,5°C. Нещодавній прогрес був багатообіцяючим, і початкові оцінки припускають, що 2023 рік стане рекордним для збільшення потужності відновлюваних джерел енергії, при цьому очікується, що річна потужність складе близько 340 ГВт [3].

Значне зростання відновлюваних джерел енергії означає, що їхня частка в світовому енергетичному балансі, за прогнозами, зросте з 29% у 2022 році до 35% у 2025 році, при цьому частка вугільної та газової генерації знизиться [3]. В результаті інтенсивність викидів вуглекислого газу при виробництві електроенергії в світі в найближчі роки продовжуватиме знижуватися. Однак в 2022 році Європа протиставилася цій глобальній тенденції. Інтенсивність викидів вуглекислого газу при виробництві електроенергії в Європі збільшилася через збільшення використання вугілля та газу на тлі різкого падіння виробітку як гідроелектроенергії через посухи, так і атомної енергетики через закриття станцій та проведення ремонтних робіт. Проте ця невдача буде тимчасовою, оскільки очікується, що викиди при виробництві електроенергії в Європі знижуватимуться в середньому приблизно на 10% на рік до 2025 року.

Тим не менш, виробництво електроенергії з відновлюваних джерел повинно розширюватися швидше, щоб досягти цілей у Сценарії нульових викидів до 2050 року, де частка відновлюваних джерел виробництва збільшується з майже 29% у 2021 році до понад 60% до 2030 року. Річне виробництво повинно збільшуватися із середньою швидкістю понад 12% у період 2022–2030 рр., що вдвічі перевищує середній показник 2019–2021 рр. [5].

У 2021 році виробництво електроенергії з відновлюваних джерел зросло майже на 7%, що є рекордним збільшенням на 522 ТВт·год, при цьому вітрові та сонячні фотоелектричні технології разом становлять майже 90% цього зростання. Частка відновлюваних джерел енергії в світовому виробництві електроенергії досягла 28,7% у 2021 році після скромного зростання на 0,4 відсоткових пункти, як показано на рисунку 1.1. Повільне зростання частки відновлюваних джерел енергії було пов'язане з тим, що глобальний попит на електроенергію досяг найвищого рівня в історії, оскільки економічна активність відновилася після уповільнення, пов'язаного з Covid-19, а посуха в низці регіонів призвела до зниження виробітку електроенергії на гідроелектростанціях [3].

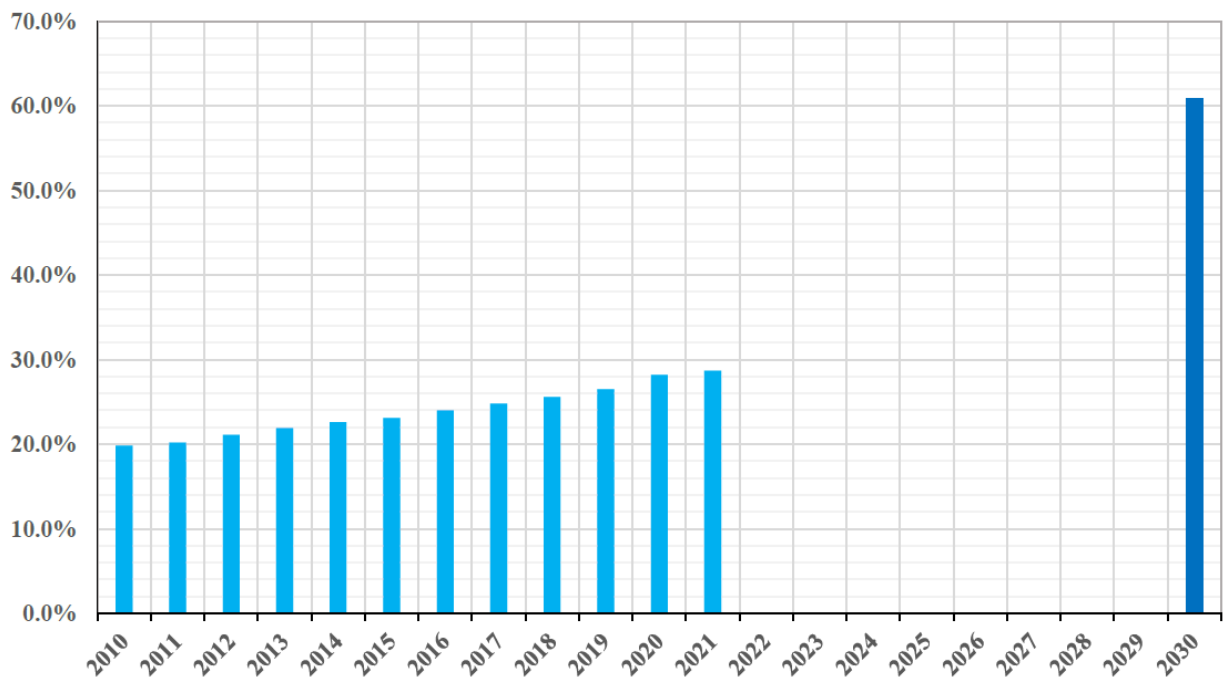


Рисунок 1.1 - Частка відновлюваних джерел енергії у виробництві електроенергії, 2010–2030 рр.

На частку вітру припала майже половина рекордного зростання виробництва електроенергії з відновлюваних джерел у 2021 році на 522 ТВт·год, головним чином завдяки майже трикратному збільшенню вітрових потужностей у Китаї в 2020 році та продовженню активного зростання у 2021 році. На частку сонячної фотоелектричної енергетики припала одна третина

приросту вироблення, завдяки прискоренню введення потужностей у Китаї, Європейському Союзі та США у 2020 та 2021 роках. На частку біоенергетики припали решта 15% зростання. На відміну від цього, виробництво гідроенергії у 2021 році вперше за 20 років знизилося приблизно на 0,4% через посухи в Бразилії, США, Туреччині, Китаї, Індії та Канаді, як показано на рисунку 1.2. Зростання вироблення геотермальної енергії, концентрованої сонячної енергії та океанічних технологій у 2021 році застопорилося через обмежене нарощування потужностей [5].

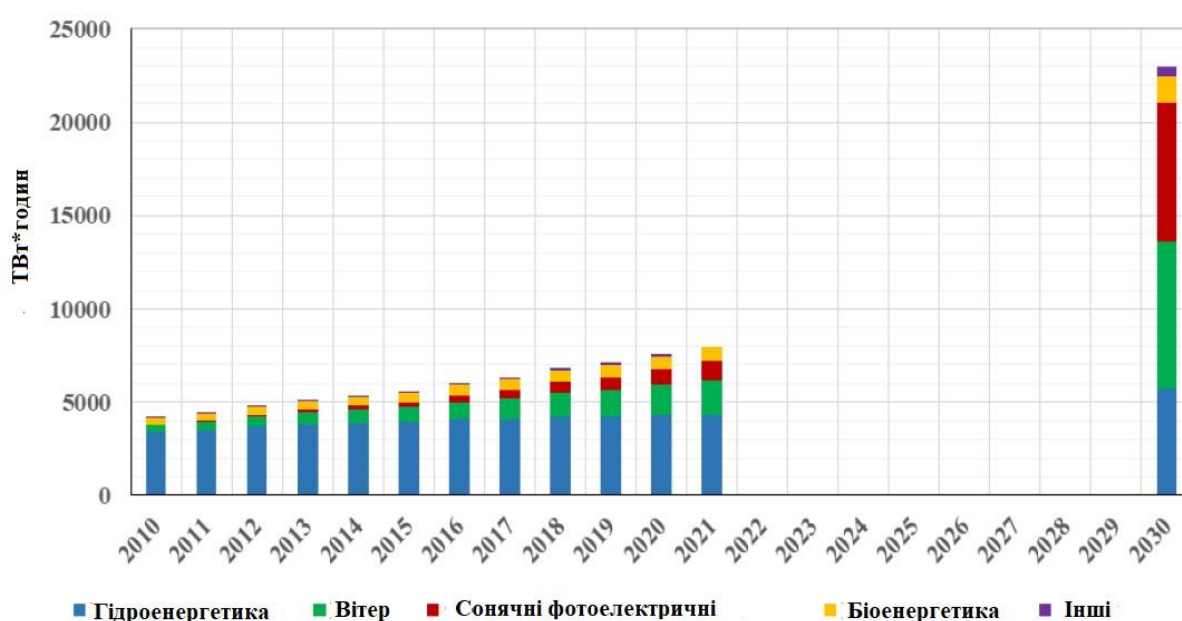


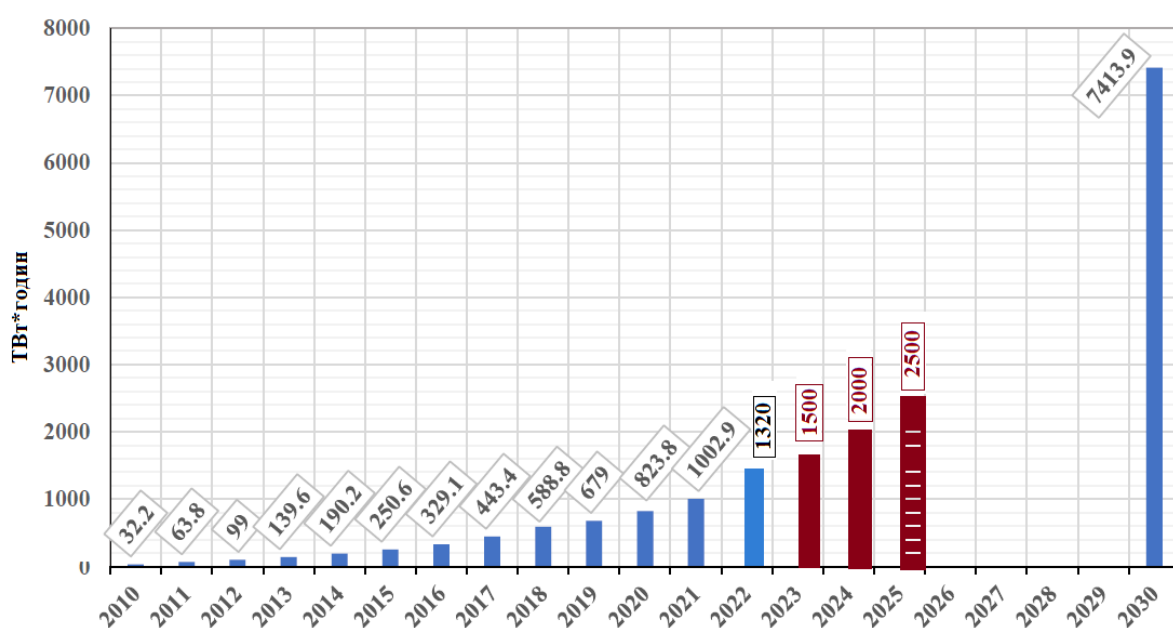
Рисунок 1.2 - Виробництво електроенергії з відновлюваних джерел за технологіями в сценарії «Чистий нуль», 2010–2030 рр.

Очікується, що відновлювана потужність зросте більш ніж на 8% у 2024 році порівняно з 2022 роком, вперше подолавши позначку в 300 ГВт, як показано на Рисунку 1.3. За прогнозами, цього року на частку сонячних фотоелектричних установок припадає 60% приросту глобальних відновлюваних 40 потужностей, оскільки в експлуатацію буде введено 190 ГВт, що на 25% більше, ніж минулого року.

Після зниження на 32% у річному обчисленні у 2021 році очікується певне відновлення нових глобальних установок наземної вітроенергетики та досягнення майже 80 ГВт. Очікується, що у 2022 році темпи зростання

прибережного вітроенергетичного сектора в усьому світі знизяться на 40% після виняткового чотирикратного стрибка минулого року в Китаї у зв'язку із закінченням терміну поетапної відміни національних субсидій.

Якщо у 2025 році не будуть реалізовані нові та більш жорсткі заходи політики, очікується, що глобальні прирости потужностей відновлюваних джерел енергії залишаться стабільними порівняно з 2022 роком. Прогнозується, що сонячна фотоелектрична енергія поб'є ще один рекорд у 2025 році, досягнувши майже 200 ГВт [3].



Сонячна фотоелектрична енергія була технологією, що найшвидше зростала за збільшенням потужності останніми роками; однак навіть рекордні 150 ГВт, додані у 2021 році, становлять лише близько однієї третини середньорічного приросту у 2022–2030 роках на етапах сценарію «Чистий нуль».

Виробництво електроенергії від фотоелектричних сонячних батарей збільшилося на 179 ТВт·год у 2021 році та перевищило 1000 ТВт·год, що означає зростання на 22% порівняно з 2020 роком, як чітко показано на рисунку 2.12. На частку сонячної фотоелектричної енергії припадає 3,6% світового виробництва електроенергії, і вона залишається третьою за величиною технологією отримання енергії з відновлюваних джерел після

гідро- та вітроенергетики. Сонячна 44 енергетика характеризується другим за величиною темпом зростання серед усіх технологій перетворення енергії з відновлюваних джерел у 2021 році після вітроенергетики. Сонячні фотоелектричні системи стають найдешевшим варіантом нового виробництва електроенергії в більшості країн світу, що, як очікується, стимулюватиме інвестиції в найближчі роки. Однак середньорічний ріст виробництва на 25% у період 2022-2030 років необхідний для реалізації сценарію «Нульові викиди до 2050 року» [5].

1.2 Сучасні тенденції розвитку «зеленої» енергетики

Антропогенний і техногенний вплив людини на довкілля, зумовлений глобальним зростанням промислового виробництва та споживання енергії, призвів людство на межу екологічної катастрофи світового масштабу. Викиди забруднюючих речовин в атмосферу, розливи нафти, забруднення стічними водами призводять не лише до зникнення окремих видів флори та фауни, зміни клімату на планеті, а й до збільшення смертності населення та прогресування смертельних захворювань. У зв'язку з цим для виживання людства життєво необхідно здійснити перехід до екологічного мислення та знизити вплив на довкілля за допомогою впровадження екологічно чистих технологій. На даний момент найпоширенішими та використовуваними відновлюваними джерелами енергії (ВДЕ) є гідроенергетика, сонячна енергія, енергія вітру, біоенергетика, геотермальна енергія та енергія припливів і відпливів [1]. За даними Міжнародного енергетичного агентства (МЕА) під егідою ООН за 2022 рік частка виробництва енергії з ВДЕ у країнах, що мають членство в Агентстві та асоційованих країнах, становить 28% [2].

Як слід з рис. 1.1, частка потужності ВІЕ в сукупному обсязі потужності енергетики неухильно зростає. Так, у період з 2018 по 2022 р. потужність альтернативних джерел у порівнянні з традиційними збільшилася на 21%.

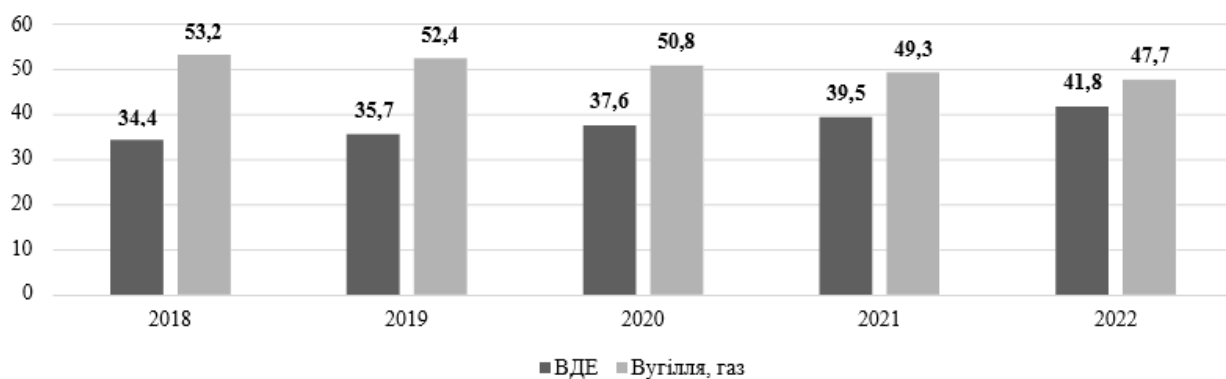


Рисунок 1.1. Аналіз частки ВДЕ в сукупний потужності енергетики без обліку атомної і іншої енергетики, % [2]

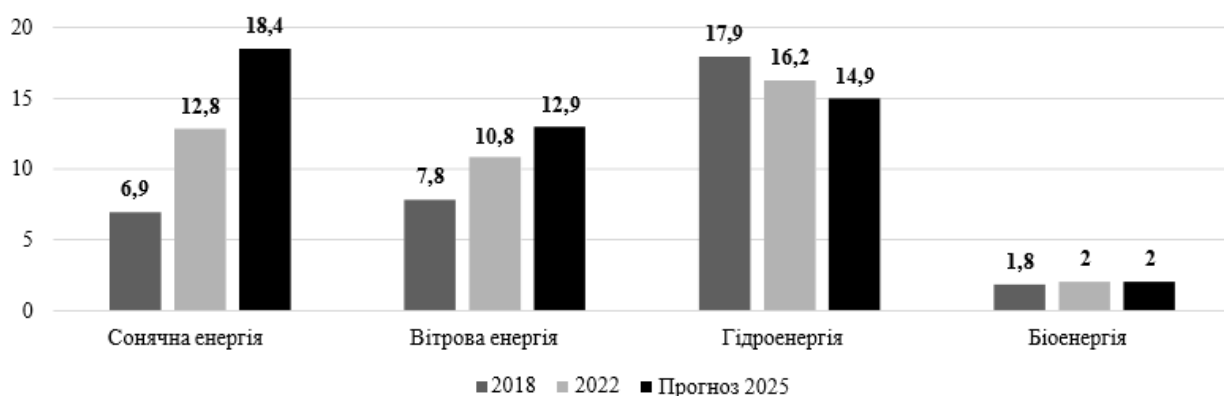


Рисунок 1.2. Частка потужності ВДЕ в обсязі сукупний потужності по джерел, % [2]

Дані рис. 1.2 свідчать, що частка потужностей -сонячної енергетики збільшилася –практично удвічі, а саме на 54%. Також позитивну динаміку показує вітрова енергетика, зростання становило 27%. У той же час потужності гідроенергетики скоротилися на 9,5%, зростання біоенергетики незначне. За середньостроковим прогнозом МЕА введення потужностей з альтернативних джерел буде неухильно зростати і до 2030 р. повинен досягти не менше 35% щодо сукупної неттопотужності.

Як і будь-яка технологічно складна система, сфера виробництва енергії з ВДЕ має свої переваги та недоліки, які доцільно розглядати з погляду соціоеко-економічних аспектів. Найбільш поширеним джерелом отримання чистої енергії є гідроенергетика, принцип роботи якої заснований на використанні енергії потоків води, що переміщаються, а також енергії припливів і відливів. У 2019 р. нетто-потужності ГЕС та ГАЕС у світовому

масштабі становили 1185,35 ГВт. У 2021 р. встановлена потужність ГЕС в світі досягла 1360 ГВт, що складає $\sim 17\%$ сумарних світових електроенергетичних потужностей [3]. Найбільші гідроелектро-станції (ГЕС) знаходяться в таких країнах:

- Китай - ГЕС «Три ущелини» потужністю 22,5 ГВт та ГЕС «Сілоду» потужністю 13,9 ГВт;
- Бразилія - ГЕС «Ітайпу» потужністю 14 ГВт та ГЕС «Тукуруї» потужністю 8,3 ГВт;
- Венесуела - ГЕС «Гурі» потужністю 10,3 ГВт;
- Росія - Саяно-Шушенська ГЕС потужністю 6,4 ГВт [4].

Безумовними лідерами з приросту потужностей ГЕС за останні 10 років були країни, що розвиваються, за винятком Канади та Норвегії, що входили до лідерів, які з випереджаючим зростанням попиту електроенергію у країнах і реалізацією політики, спрямованої забезпечення внутрішнього ринку щодо дешевими енергоресурсами, їх низьковуглецевим характером і комплексними соціально-економічними ефектами. Відобразимо у табл. 1. Переваги і недоліки гідроелектростанцій [5]

Таблиця 1.1 переваги та недоліки ГЕС

	Переваги	Недоліки
Екологічний напрямок	1. Джерело енергії відновлюємо 2. Відсутність шкідливих викидів	1. Затоплення територій при будівництві 2. Будівництво можливо тільки поряд з річками та великими водоймами, не підходить для будівництва у північних регіонах 3. Зміна мікроклімату навколо ГЕС, що веде зміну флори та фауни 4. Зміна русла рік і, як наслідок, екосистеми водоймища
Економічний напрямок	1. Низька собівартість вироблення енергії 2. Можливість вироблення енергії для забезпечення промислових підприємств 3. Гнучкість в розподіл енергії, що дозволяє регулювати попит та пропозицію під час пікових навантажень	1. Довгий інвестиційний цикл 2. Залежність від кліматичних і погодних умов (при зниженні рівня річок та водойм знижується вироблення енергії)
Соціальний напрямок	1. Створення додаткових робітників місць 2. У місцях водосховищ при ГЕС розвивається культурно-розважальна зона, що сприятливо впливає в розвитку регіону	Ризик повені для прилеглих населених пунктів при аварійних ситуаціях

Наступним за значимістю джерелом «зеленої» енергетики є сонячна енергія, принцип «вироблення якої заснований на перетворенні сонячного світла в електричну енергію в сонячних батареях. Цей вид ВДЕ показує найбільше зростання за останні п'ять років. У 2019 р. у світі нетто-потужності сонячних електростанцій становили 580 697 МВт. Найбільші сонячні фотоелектричні станції розташовані в пустельних районах, таких як СЕС Tengger Desert Solar Park у Китаї потужністю 1500 МВт та Bhadla Solar Park в Індії потужністю 1365 МВт. Наступними за потужністю є СЕС у пустельних районах США та Мексики [6]. У всьому світі на кінець 2021 р. було встановлено сонячних електростанцій потужністю понад 138 ГВт. За найреалістичнішими сценаріями до 2025 р. загальний парк генерування сонячної енергії збільшить потужності до 1,9 ТВт. У табл. 1.2 охарактеризовані переваги та недоліки таких електростанцій.

Таблиця 1.2 Переваги і недоліки сонячних електростанцій [7]

	Переваги	Недоліки
Екологічний напрямок	1. Джерело енергії відновлюємо і невичерпний 2. Відсутність шкідливих викидів 3. Безшумність	1. Забруднення довкілля при видобутку основного елемента для виробництва сонячних панелей - кремнію 2. Забруднення навколишнього середовища при утилізації сонячних панелей та акумуляторів через дорожню переробку елементів
Економічний напрямок	1. Можливість використання у приватних домогосподарствах, що знижує комунальні платежі 2. Довговічність використання 3. Розвиток технологічного та наукомісткого виробництва	1. Висока початкова вартість обладнання 2. Обмежена можливість застосування для забезпечення промислового виробництва 3. Велика площа установки станцій та залежність від кліматичних і погодних умов. СЕС встановлюються у пустелях і на плато, площа станції може займати до Пробіг: 27 кв.км 4. Уривчастість циклу: при відсутності сонця потрібні маневрені потужності для підтримки напруги в електромережі 5. Відсутність технології довготривалого зберігання енергії
Соціальний напрямок	1. Розвиток екологічного мислення у соціумі 2. Безпека використання у приватних домогосподарствах 3. Поліпшення екології в місцях проживання населення	

Ще одним що розвивається напрямом в «зеленій» енергетиці є використання енергії вітру за допомогою вітроелектричних установок. Даний вид ВДЕ також показує позитивну динаміку за останні п'ять років. У 2019 р. у

світі нетто-потужності вітряних електростанцій (ВЕС) становили 623 911 МВт [6]. Найбільші вітряні станції знаходяться в Китаї - ВЕС "Ганьсу" потужністю 7965 МВт; в Індії - ВЕС "Муппандал" потужністю 1500 МВт; у США – ВЕС «Альта» потужністю 1020 МВт [8]. У 2021 р. у світі встановлено рекордні потужності вітряних турбін загальною потужністю 104,7 ГВт.

Перспективними напрямками ВДЕ є:

- біоенергія – принцип вироблення енергії на спалюванні біопалива, такого як біодизель, відпрацьовані масла, дрова, брикети, топ ливні гранули та інші. Однак в 2018–2022 мм. частка цього виду ВДЕ збільшилася незначно – на 0,2%;

- геотермальна енергія, заснована на отриманні теплової енергії від геотермальних джерел, але через складність технологічного процесу щодо вироблення енергії з цього джерела її частка у загальній сукупності потужності ВДЕ мізерна.

Беручи до уваги той факт, що за підсумками 2019 р. ГЕС, ГАЕС, СЕС та ВЕС сумарно встановлена нетто-потужність становить 2389,958 ГВт електроенергії, тенденції розвитку вироблення енергії з відновлюваних джерел досить перспективні. Міжнародне енергетичне агентство очікує, що у 2023–2024 роках. швидке зростання поновлюваних джерел енергії дозволить майже повністю покривати прогнозоване помірне зростання споживання [10]. Тим не менше до справжнього Часом зберігаються негативні аспекти, що впливають на обсяг вироблення енергії, – відсутність технологій довготривалого зберігання енергії, досить висока початкова вартість проектів, залежність від погодних умов.

В авангарді переходу до екологічно чистих та відновлюваних джерел енергії стоять країни Євросоюзу. Сама ідея переходу до «зеленої» -енергетики зародилася в країнах Єврозони в початку 70-х рр. XX століття, коли у 1973 р. було затверджено першу програму дій Європейського союзу в галузі охорони навколишнього середовища, в якій знайшла відображення екологічна політика країн Єврозони на майбутні періоди. Наступні програми, затверджені у 1977-

2014 рр., були спрямовані на зниження забруднення навколишнього середовища, у т.ч. скорочення викидів парникових газів та досягнення «вуглецевої нейтральності» [11]. На даний момент введена в дію 8-а програма Європейського -союзу в галузі охорони навколишнього середовища, пунктом 16 якої передбачено: «Восьмий ПДООС має прискорити «зелений» перехід, справедливим та інклюзивним способом, до кліматично нейтральної, стійкої, нетоксичної, ресурсоефективної конкурентоспроможною циркулярною економіці, яка повертає планеті більше, ніж забирає ... »[12].

Таблиця 1.3. Переваги і недоліки вітряних електростанцій [9]

	Переваги	Недоліки
Екологічний напрямок	1. Джерело енергії відновлюємо і невичерпний 2. Відсутність шкідливих викидів	1. Забруднення навколишнього середовища при утилізації лопатей вітрогенераторів 2. Високий рівень шуму вітрогенераторів 3. Низькочастотні вібрації, викликають корозію ґрунти
Економічний напрямок	1. Довговічність використання 2. Розвиток технологічного та наукомісткого виробництва	1. Висока початкова вартість обладнання 2. Обмежена можливість застосування для забезпечення промислового виробництва 3. Велика площа установки вітряних станцій і залежність від кліматичних та погодних умов 4. Уривчастість циклу, за відсутності вітру потрібні маневрені потужності для підтримки подачі напруги 5. Відсутність технології довготривалого зберігання енергії
Соціальний напрямок	1. Поліпшення екологічних умов життя населення 2. Розвиток екологічного мислення у соціумі	Високий рівень шуму може негативно впливати на здоров'я населення

Як впливає з рис. 1.3, за 2018–2021 роки. валове вироблення енергії в ЄС з альтернативних джерел -неухильно зростає через диверсифікацію альтернативних джерелом між країнами ЄС

Однак серед країн ЄС спостерігається значна різниця частки відновлюваних джерел у загальній енергетичній структурі. Так, у огляді ключових показників ефективності за 2020 р. наводяться дані про те, що найбільша частка ВДЕ припадає на Швецію – 60,1% споживання енергії, Фінляндію – 43,8% та Латвію – 42,1%. Основними джерелами вироблення енергії для цих країн є ГЕС і ВЕС, а також переробка біомаси. У південних

країнах, навпаки, переважає вироблення за рахунок сонячної енергії, наприклад, у Португалії частка по відновлюваним джерелам енергії становить 33,9% споживання енергії, у Чорногорії – 43,7%. Найнижчі показники за підсумками 2020 р. зафіксовані на Мальті – 10,7% споживаної енергії та у Люксембурзі – 11,7% [10].

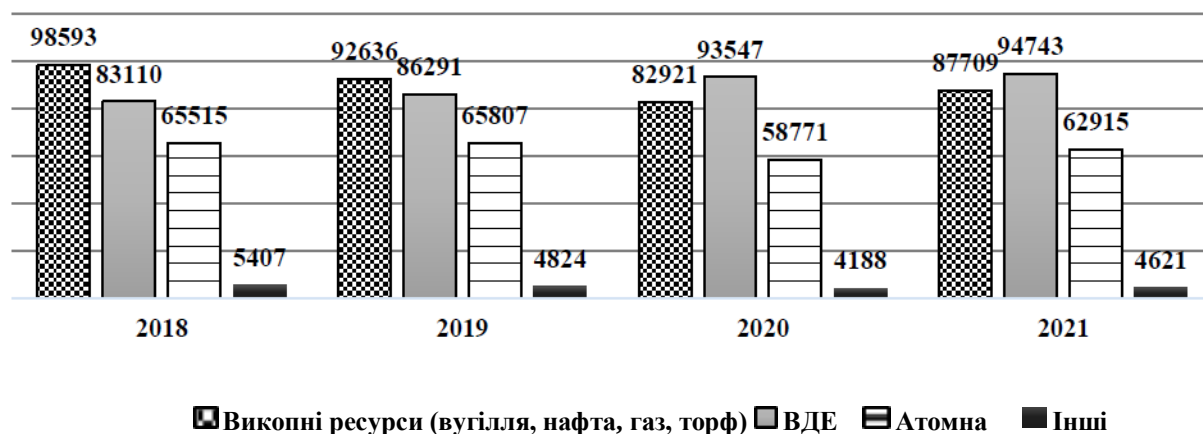


Рисунок 1.3. Валове виробництво електроенергії в Європейському союзі в розрізі видів палива, у тис. тонн нафтового еквівалента [10]

Незважаючи на розвиток ВДЕ Євросоюз, як і раніше, значно залежить від імпорту необхідної йому енергії, при цьому особливо висока залежність від сирої нафти та природного газу. За даними за 2020 р. ЄС імпортував із Росії понад чверть імпорту сирої нафти, що становить близько 113,0 млн т у натуральному вираженні. Такі ж високі показники з імпорту природного газу, на частку якого припадає більше двох п'ятих, або 155,0 млрд м³, і твердого палива, частка якого складає більше половини, або 44,2 млн т. Для порівняння частка поставок Норвегії, другого за величиною імпортера енергоресурсів і 8%⁷, становить 2 від загального обсягу імпорту [11]. Підвищений попит на викопні види палива у поєднанні з обмеженнями у постачаннях навів до дефіциту і високим цінам на енергоносії.

У 2022 р. в ЄС був розроблений план Європейської комісії з відмови від споживання російського викопного палива до 2030 р. (REPowerEU), який передбачає безліч аспектів: нормоване споживання енергоресурсів, план з різкого заміщення російських енергоресурсів альтернативними постачальниками та джерелами енергії, підвищення енергоефективності

економіки, прискорений перехід на споживані джерела енергії і т.д. [11]. У відповідно з концепцією REPowerEU і директивою ЄС 2022/1369 встановлюється мета зниження споживання газу на 15% з серпня 2022-го до березня 2023 р. як мінімум. Станом на листопад 2022 р. середнє споживання газу в ЄС становить 156 206 млн м³, що на 16,6% нижче за середнє споживання за період з 2017 по 2021 р., яке становило 187 332 млн м³. Основний внесок у зниження ваги споживання газу зробили Німеччина (27,8% у загальному зниженні ваги), Італія (14,1%), Нідерланди (11,8%), Франція (8,4%) та Польща (7,6%). Водночас при зниженні частки газу при виробленні енергії середня ціна на електроенергію у 2022 р. зросла на 46% порівняно із середніми цінами за 2017–2021 роки. і 0,19 €/кВт [11]. Поки можна констатувати, що Європа перевиконує план зі скорочення споживання газу відповідно до своєї концепції REPowerEU, але сплачує велику ціну із суттєвими витратами на місцях, оскільки в даний час замінити випадають обсяги газу з альтернативних джерел з урахуванням наявних технологій неможливо.

Висновки по першому розділу

Підсумовуючи дослідження, можна резюмувати, що повний перехід до «зеленої» енергетики в промислових масштабах на сьогоднішній день неможливий через недостатність технологій акумулювання та зберігання енергії, нестійкість генерації ВДЕ, залежності ВДЕ від кліматичних та інших умов. Виходячи з прогнозів провідних енергетичних компаній, до 2045 р. нафта і газ залишаться одними з основних видів енергоносіїв. Разом з тим, якщо виходити зі світових тенденцій, генерація ВДЕ - це достатньо перспективний напрямок розвитку енергетики, але варто звернути увагу на той факт, що даний перехід повинен здійснюватися плавно, не руйнуючи економічні зв'язки і враховуючи баланс між екологічністю та ефективністю.

РОЗДІЛ 2

СТИМУЛЮВАННЯ МІКРОГЕНЕРАЦІЇ НА ОСНОВІ ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ

2.1 Зарубіжний досвід стимулювання мікрогенерації на основі відновлюваних джерел енергії

Проведений нами огляд різних державних заходів стимулювання сонячної генерації в зарубіжних країнах — лідерах розвитку відновлюваної енергетики показав, що частина країн — Німеччина, Нідерланди, Канада та Китай — більше використовують заходи прямого стимулювання мікрогенерації на основі ВДЕ, до яких можна віднести бонусні тарифи (feed-in-tariff), гранти та субсидії, а також податкові пільги (табл. 2.1). Дієвість таких заходів підтверджена великою кількістю практичних прикладів [6–10], проте їх застосування пов'язане з витратою істотних обсягів бюджетних коштів. Гранти та субсидії, як правило, надаються з метою зниження вартісних бар'єрів дифузії технологій мікрогенерації, що виражаються у високій початковій вартості покупки та інсталяції обладнання (сонячних панелей, малих вітрогенераторів, теплових насосів тощо) [6]. Бонусні тарифи також призначені для зниження вартісних бар'єрів, проте при їх застосуванні скорочується термін окупності обладнання, а не обсяг початкового капіталу, необхідного для запуску генерації [7]. Податкові пільги можуть бути спрямовані як на зниження необхідного початкового капіталу (наприклад, нульова ставка податку з продажів), так і на скорочення терміну окупності обладнання (нульове оподаткування доходу, отриманого від продажу електроенергії в мережу). Водночас такі країни, як Бельгія, США та Японія, доповнюють (а в деяких випадках і замінюють) заходи прямого стимулювання мікрогенерації на основі ВДЕ розвитком локальних або регіональних вуглецевих ринків та аналогічних їм організаційно-економічних механізмів ринкового характеру.

Таблиця 2.1. Заходи державного стимулювання розвитку мікрогенерації на основі ВДЕ[2]

Країна	Заходи стимулювання			
	Бонусний тариф	Гранти і субсидії	Механізми вуглецевого ринку	Податкові пільги
Бельгія	-	-	Мікро-когенерація, генерація електроенергії на основі ВДЕ	Біогаз, біомаса, сонячна, геотермальна, мікрокогенерація
Великобританія	Генерація електричної та теплової енергії на основі ВДЕ	Генерація теплової енергії на основі ВДЕ	Мікро-когенерація, генерація електроенергії на основі ВДЕ	Усі види ВДЕ
Німеччина	Генерація електричної енергії на основі ВДЕ, мікро-когенерація	Мікро-когенерація	-	Всі види ВДЕ, мікрокогенерація
Голландія	Генерація електричної енергії на основі ВДЕ	Сонячні колектори, мікрокогенерація	-	-
Італія	Генерація електричної енергії на основі ВДЕ, сонячні колектори, біомаса	-	Мікро-когенерація, генерація електричної енергії на основі ВДЕ	-
Канада	Генерація електричної енергії на основі ВДЕ	Сонячні колектори	-	Усі види ВДЕ
Китай	-	Генерація електричної енергії на основі ВДЕ	-	Генерація електричної енергії на основі ВДЕ
США	Генерація електричної енергії на основі ВДЕ	Генерація електричної і теплової енергії на основі ВДЕ	Генерація електричної та теплової енергії на основі ВДЕ	-
Японія	-	Паливні елементи, фотовольтаїка	Генерація електричної енергії на основі ВДЕ	Усі види ВДЕ, мікро-когенерація

Механізми торгівлі квотами на викиди CO₂ та аналогічні їм механізми торгівлі сертифікатами «чистої» енергії, як правило, спрямовані на підвищення енергоефективності та розвиток відновлюваної енергетики без розділення технологій на мікро- та макрогенерацію. Системи торгівлі квотами призводять до того, що викид кожної додаткової одиниці забруднюючих речовин (в основному, CO₂) призводить або до необхідності покупки дозволу на викид за ринковою ціною, або відмови від можливості продати такий дозвіл. Зрештою, викид так чи інакше обкладається платою, що призводить до подорожчання продуктів, при виробництві яких відбуваються великі викиди забруднюючих речовин [2]. Такого роду рамкові умови стимулюють генерацію інновацій, спрямованих на зниження вартості продукції за рахунок скорочення викидів. Аналогічно впливають на інноваційний розвиток великих енергетичних компаній стандарти «енергетичного портфоліо» (Renewable

Portfolio Standards, RPS) та стандарти чистої енергетики (Clean Energy Standards, CES), запроваджені в США на рівні окремих штатів. Ці стандарти визначають мінімальну частку енергії, виробленої з відновлюваних джерел (або «чистих» джерел), у загальному обсязі виробленої енергії. Генеруючі компанії отримують сертифікати за кожну одиницю виробленої відновлюваної/чистої енергії. Наприкінці звітного періоду кожна генеруюча компанія повинна здати стільки сертифікатів, скільки необхідно для виконання вимог стандарту. На розсуд компанії, надлишки сертифікатів можуть бути продані іншій компанії [2].

Однією з поширених у США організаційних інновацій великих генеруючих та розподільчих електроенергетичних компаній, що дозволяє їм досягти необхідних показників за обсягами генерації відновлюваної енергії, є купівля ними відновлюваної енергії у власних клієнтів за схемою двостороннього обліку електроенергії - Net Metering [3,4]. Дана схема дозволяє клієнтам компенсувати споживання електрики за рахунок енергії, яку виробляють їхні власні малі генеруючі пристрої (як правило, сонячні панелі або малі вітрогенератори), підключені до загальної мережі. При цьому вимірювальні пристрої (електролічильники) повинні дозволяти виконувати вимірювання як у прямому (при споживанні електроенергії від мережі), так і у зворотному напрямку (при постачанні електроенергії в мережу), тим самим даючи можливість споживачу враховувати вироблену та віддану в мережу електроенергію у взаєморозрахунках з електропостачальною організацією. Відповідно до схеми Net Metering, власник ВДЕ отримує роздрібний кредит на величину, що дорівнює або перевищує ви виробленої електроенергії. Якщо генеруючий пристрій щомісячно виробляє електроенергію більше, ніж споживає його власник, то надлишкове виробництво може переноситися як кредит на майбутні місяці або виплачуватися у вигляді грошової компенсації, як правило, наприкінці року. Грошова сума, яка виплачується за надлишкове виробництво, розраховується за різними схемами залежно від штату, в деяких штатах такі грошові компенсації не передбачені.

Схема Net Metering вперше введена в США ще на початку 1980-х рр. На теперішній час в тому чи іншому вигляді її реалізують 43 штати, а також Вашингтон (округ Колумбія) [5]. На федеральному рівні схема Net Metering була закріплена в 2005 р. в рамках акту (закону) про енергетичну політику (ст. 1251), згідно з яким усі публічні комунальні електричні компанії зобов'язані створити необхідні умови, щоб у споживачів була можливість постачання надлишків електроенергії в мережу за схемою двостороннього обліку.

Переважає більшість пристроїв, що працюють на теперішній час за схемою Net Metering в США, — це фотоелектричні панелі різних типів (кремнієві та тонкоплівкові). Зростання обсягу потужностей та кількості сонячних установок підтверджує ефективність схеми Net Metering (рис. 2.1). Станом на травень 2016 р. у Сполучених Штатах працював 1 млн сонячних установок.

Відносно новим заходом стимулювання мікрогенерації в США є схема «віртуальний лічильник». Дана схема дозволяє отримувати вигоди від мікрогенерації сонячної енергії навіть тим власникам окремих квартир або будинків, які не мають можливості встановити фотоелектричні панелі безпосередньо на власному даху через його затіненість або проживання на нижніх поверхах. Вартість виробленої сонячної енергії обладнанням, встановленим на спільному даху та/або інших частинах конструкції будинку, враховується в рахунках власників квартир пропорційно частці їхньої власності. Крім того, мешканці багатоквартирного будинку можуть «підписатися» на отримання сонячної енергії від найближчого джерела генерації сонячної енергії, який розташований поза межами їхньої власності, а в деяких випадках — навіть отримати на нього право власності. Наприклад, у штаті Колорадо групи до десяти клієнтів (домогосподарств) можуть «підписатися» на отримання сонячної електроенергії від найближчого джерела потужністю до 2 МВт.

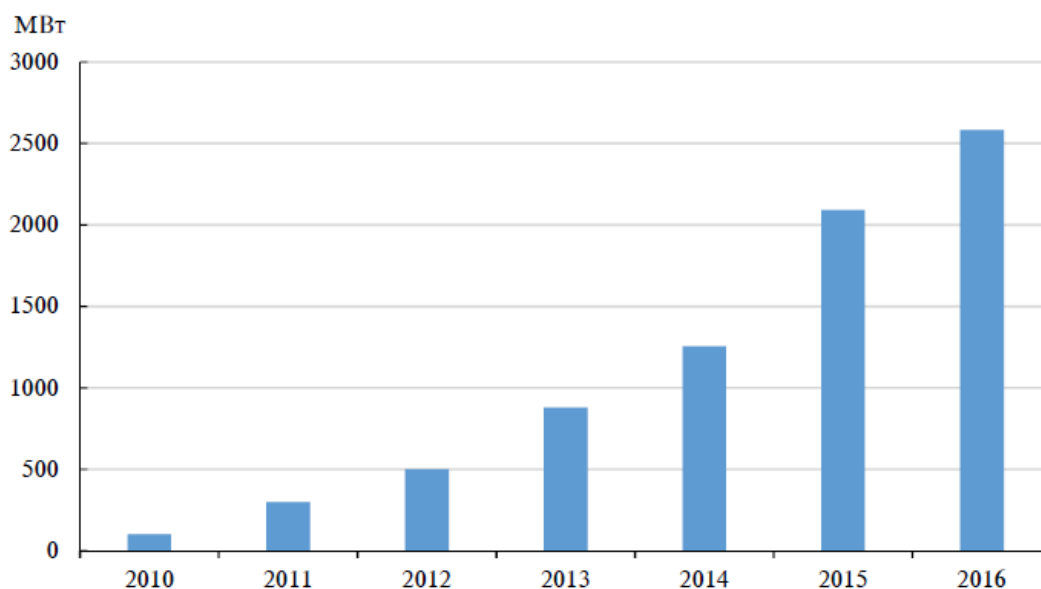


Рисунок 2.1. Річні обсяги встановлення фотоелектричних панелей у житловому секторі США

Джерело: складено на основі даних Solar Energy Industries Association (SEIA)

Починаючи з жовтня 2015 р. подібні схеми діють у 16 штатах. У деяких штатах застосування схеми обмежено певними групами споживачів, наприклад, розташованими в сільській місцевості або такими, що є споживачами послуг певної генеруючої або розподільчої компанії [4].

На прикладі американського мережевого оператора Rocky Mountain Power, який обслуговує споживачів у трьох різних штатах — Айдахо, Юті та Вайомінгу, нами детально вивчено процедуру підключення клієнтів за схемою Net Metering. Виявлено, що процес підключення до мережі є досить тривалим (здійснюється протягом 70 днів) і складається з наступних основних етапів (див. рис. 2.2).

1. Планування системи. На цьому етапі компанія пропонує для розгляду клієнту кілька типових рішень (у вигляді брошур, доступних для завантаження на офіційному сайті компанії), а також інформує клієнта про вимоги, які повинні бути дотримані в процесі підбору та інсталяції обладнання: сонячні панелі та інвертори повинні відповідати стандартам IEEE 1547 та UL 1741, а решта установки — Національному електричному кодексу (NEC), а також усім

локальним правилам штату та муніципалітету (вимоги щодо розміщення обладнання, його освітлення та оснащення сигнальними пристроями тощо). Загальні технічні вимоги до системи розподіленої генерації включають вимоги щодо заземлення, режимів ізольованої роботи, можливості безперешкодного доступу персоналу компанії Rocky Mountain Power до вимикача споживача (для забезпечення ізольованої роботи частини енергосистеми). Крім того, клієнтам пропонується перелік сертифікованих компаній, які здійснюють планування енергосистем та розрахунок їх оптимальної потужності.

2. Подача заявки на отримання дозволу на інсталяцію енергосистеми та приєднання до мережі, що обслуговується компанією Rocky Mountain Power. Перед видачею дозволу на інсталяцію та підключення мережева компанія здійснює перевірку дизайну енергосистеми на предмет відповідності всім вимогам та технічну сумісність з обладнанням, що використовується для забезпечення функціонування мережі. За необхідності проект доопрацьовується, тому його бюджет може змінюватися. Тривалість етапу розгляду заявки становить 30 робочих днів.

3. Інсталяція фотоелектричної системи. Як тільки споживач отримує схвалення на приєднання та відповідні дозволи, він може приступити безпосередньо до процесу інсталяції обладнання.

4. Перевірка фотоелектричної системи. Здійснюється уповноваженим місцевим органом після завершення процесу інсталяції. У разі схвалення та підписання відповідних документів компанія Rocky Mountain Power протягом 10 робочих днів здійснює встановлення вимірювальних приладів, що забезпечують двосторонній облік. Відразу після встановлення лічильника електроенергії від системи може подаватися в мережу.

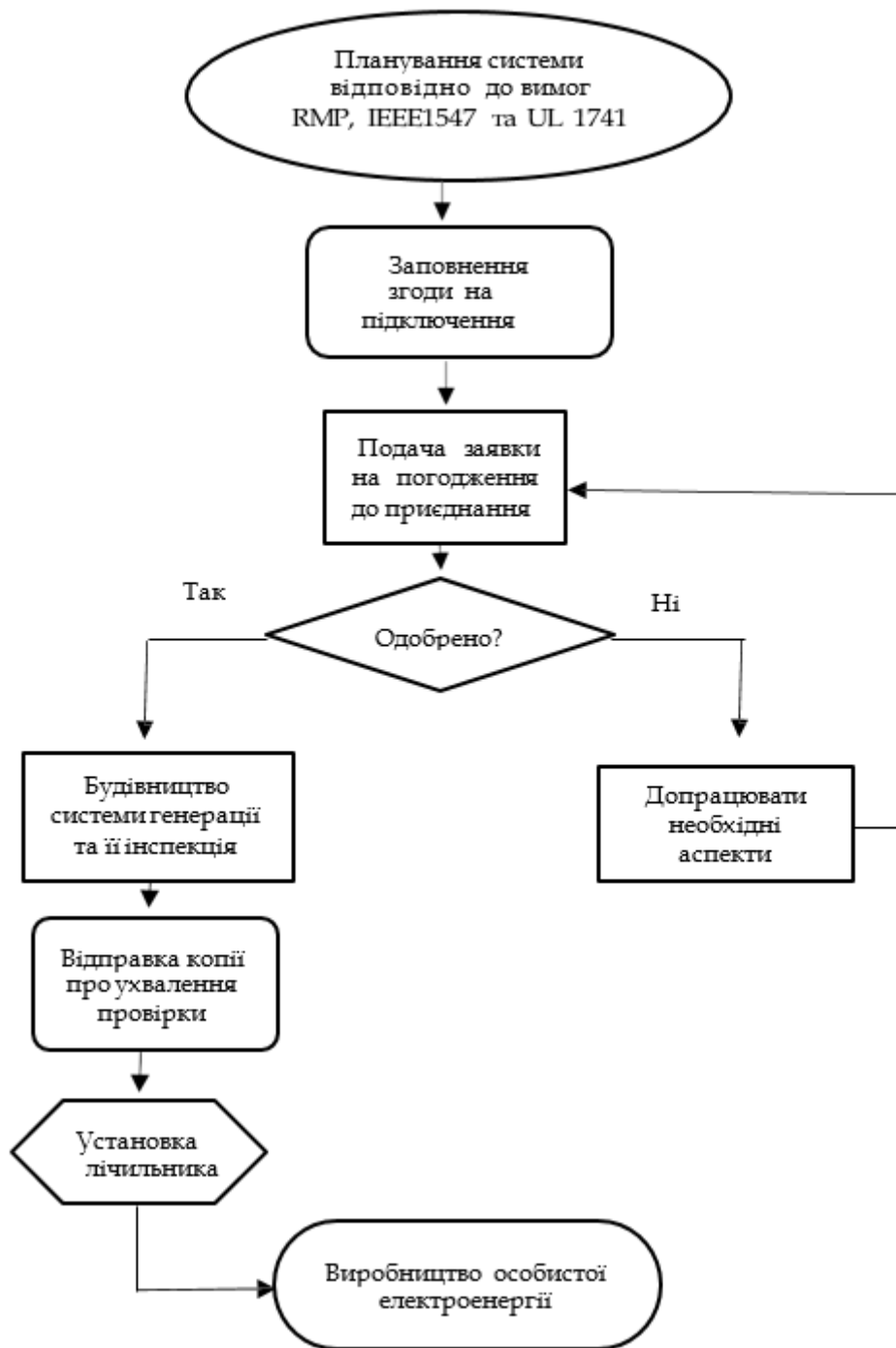


Рисунок 2.2. Блок-схема процедури підключення системи генерації до загальної мережі

Як зазначалося, невід'ємною частиною при підключенні об'єкта розподіленої генерації (РГ) до мережі є його відповідність стандартам IEEE 1547 та UL 1741. Дані стандарти являють собою серію стандартів Інституту інженерів електротехніки та електроніки (IEEE), організовану на основі пакетного принципу та регламентуючу приєднання до енергосистеми

розподілених джерел енергії та систем накопичення енергії. Сфера регулювання стандартів серії 1547 поширюється на приєднання до розподіленої мережі джерел РГ потужністю до 10 МВ·А. Стандартами не регламентуються клас напруги розподільчої мережі, на якому здійснюється технологічне приєднання, а також тип приєднуваного джерела генерації. Нині триває робота над додатковими документами, що входять до серії 1547, зокрема над стандартом 1547.5 «Приєднання установок повною потужністю понад 10 МВ·А до магістральної мережі». Стандарт UL-1741 визначає вимоги до специфічного обладнання, що входить до фотоелектричних систем: інверторів, конверторів, контролерів заряду тощо.

2.2 Закордонні програми стимулювання мікрогенерації на основі відновлюваних джерел енергії

Розглянемо детальніше основні умови реалізації деяких найбільш типових для США програм стимулювання мікрогенерації на основі ВДЕ.

Програма фінансового стимулювання домогосподарств з низьким рівнем доходу «Доступний сонячний будинок» (2009–2021 рр., бюджет 108,6 млн дол. США), Каліфорнія. Надаються субсидії на купівлю та інсталяцію фотоелектричних систем (PV) потужністю 1–5 кВт. Сонячні панелі мають бути підключені до мережі. Інвертори та модулі повинні мати гарантію 10 років. PV-модулі повинні мати сертифікат безпеки UL-1703. Інвертори повинні мати сертифікат безпеки UL-1741 та бути протестовані Енергетичною Комісією штату Каліфорнія (Energy Commission). Сонячні панелі мають бути встановлені ліцензованою компанією, відібраною для участі в програмі адміністрацією програми, або безпосередньо власником. Розмір субсидій становить 3 дол. США/Вт.

Програма фінансового стимулювання клієнтів компанії Pasadena Water and Power (з 2001р. по теперішній час), Каліфорнія. Надаються субсидії на купівлю та інсталяцію фотоелектричних систем. Розмір субсидій становить:

1) для панелей до 100 кВт: у житловому та комерційному секторі – 0,3 дол. США/Вт; некомерційних та державних установ – 0,6 дол. США/Вт,

домогосподарств з низьким рівнем доходу – 1,2 дол. США/Вт (схема на основі очікуваної продуктивності);

2) для панелей від 100 до 1 000 кВт: у житловому та комерційному секторі – 0,096 дол. США/кВт·год, некомерційних та державних установ – 0,192 дол. США/кВт·год, домогосподарств з низьким рівнем доходу – 0,384 дол. США/кВт·год (схема на основі реальної продуктивності).

Виплати за схемою очікуваної продуктивності здійснюються одноразово після інсталяції панелей та їх інспекції Енергетичною комісією Каліфорнії. Виплати за схемою реальної продуктивності здійснюються протягом перших п'яти років експлуатації панелей.

Сонячні панелі мають бути підключені до мережі. Інвертори та модулі повинні мати гарантію 10 років. PV-модулі повинні мати сертифікат безпеки UL-1703. Інвертори повинні мати сертифікат безпеки UL-1741 та бути протестовані Енергетичною комісією. Рекомендується вдаватися до послуг з інсталяції ліцензованих компаній.

Програма Net Metering компанії Los Angeles Department of Water & Power (з 2011 р. по теперішній час), Каліфорнія. Надається можливість продажу електроенергії в мережу будь-яким споживачем послуг компанії Los Angeles Department of Water & Power (житловий або комерційний сектор, некомерційні та державні установи та організації). Обсяг електроенергії, що надійшла в мережу, враховується в наступному місяці. Якщо споживач спожив менше енергії, ніж виробив, різниця не оплачується.

Програма «Зелений тариф» компанії Los Angeles Department of Water & Power (з 2013 р. дотепер), Каліфорнія. Закупівля електроенергії малих сонячних електростанцій потужністю 30 кВт–3 МВт, розташованих у будь-якому секторі – житловому, комерційному, на території некомерційних та державних організацій та установ. Середній тариф – 0,17 дол. США/кВт·год, варіюється залежно від часу та сезону, максимальний становить 0,3825 дол. США/кВт·год. Компанія Los Angeles Department of Water & Power закуповує

сонячну енергію для виконання власних зобов'язань за RPS до досягнення обсягу підключених сонячних потужностей 100 МВт.

Програма фінансового стимулювання компанії Ukiah Utilities (2016–2017 рр.), Каліфорнія. Розмір субсидій на встановлення сонячних панелей становить 0,28 дол. США/Вт, але не більше 7 000 дол. США для житлового сектора і не більше 25 000 дол. США – для комерційного сектора. Максимальна потужність панелей – 1 МВт.

Інвертори та модулі повинні мати гарантію 10 років. PV-модулі повинні мати сертифікат безпеки UL-1703. Інвертори повинні мати сертифікат безпеки UL-1741 та бути протестовані Енергетичною комісією. Сонячні панелі повинні бути встановлені ліцензованою компанією, відібраною штатом Каліфорнія.

Програма фінансового стимулювання компанії Silicon Valley Power (з 2000 р. дотепер), Каліфорнія. Розмір субсидій на встановлення сонячних панелей змінюється в міру виконання цілей програми і становить на початок 2017 р. 1,25 дол. США/Вт для житлового сектора, 0,65 дол. США/Вт – для комерційного сектора (до 50 кВт) та для потужних установок у комерційному секторі (від 50 кВт до 1 МВт) – 0,05 дол. США/кВт·год протягом перших п'яти років роботи.

Інвертори та модулі повинні бути сертифіковані, мати гарантію 10 років та встановлюватися ліцензованою компанією.

Програма фінансового стимулювання компанії Roseville Electric (з 2014 р. дотепер), Каліфорнія. Розмір субсидій на встановлення сонячних панелей потужністю до 10 кВт становить 0,24 дол. США/Вт і виплачується одноразово. Розмір субсидій для установок потужністю від 10 до 100 кВт становить 0,019–0,039 дол. США/кВт·год виробленої енергії залежно від розміру панелей і виплачується протягом перших 5–10 років щоквартально. Інвертори та модулі повинні бути сертифіковані, мати гарантію 10 років та встановлюватися ліцензованою компанією. Панелі повинні знаходитися там же, де здійснюється основне споживання електроенергії.

Програма фінансового стимулювання компанії United Power (з 2010 р. дотепер), Колорадо. United Power надає субсидії своїм клієнтам для купівлі фотоелектричних (PV), вітрових та сонячних водонагрівальних систем. Даний вид субсидій застосовується окремо від програми субсидій, наданих Управлінням енергетики штату Колорадо, і потребує окремих заявок. PV-модулі та вітрові установки повинні бути підключені до загальної мережі. Можна встановлювати системи потужністю до 25 кВт, але United Power забезпечує субсидії тільки на перші 3 кВт. Системи, встановлені як частина нової споруди, не підпадають під цю програму. PV та вітрові установки, введені в експлуатацію до 1 липня 2015 р., субсидуються в розмірі 0,2 дол. США/Вт, введені після цієї дати – в розмірі 0,1 дол. США/Вт. Сонячні колектори субсидуються в розмірі 15 дол. США/кВт_{th}. Сонячні колектори повинні мати сертифікат SRCC11.

Програма пільгового кредитування шкіл штату Колорадо для встановлення ВДЕ та енергоефективного обладнання (з 2009 р. дотепер). Проекти з підвищення енергоефективності шкільних будівель та кампусів на конкурсній основі можуть претендувати на отримання пільгового кредиту в розмірі до 1 млн дол. США терміном до 15 років. Підтримувані технології: сонячні панелі, сонячні колектори, вітрові турбіни всіх типів, енергія біомаси, мала гідроенергетика. Конкурси на отримання пільгового кредиту оголошуються з періодичністю 1 раз на 6 міс.

Програма фінансового стимулювання компанії Colorado Springs Utilities (з 2006 р. дотепер), Колорадо. У рамках програми надаються субсидії на встановлення підключених до загальної мережі сонячних панелей потужністю 0,5–10 кВт у житловому секторі, потужністю 0,5–100 кВт – у комерційному секторі. Розмір субсидій для сонячних панелей становить 0,25 дол. США/Вт, сонячних колекторів – 30% від вартості, але в межах до 1 000 дол. США для житлового сектору та 5 000 дол. США для комерційного сектору.

PV-система та інвертор повинні мати гарантію не менше 5 років. Модулі PV повинні мати 20-річну гарантію на зниження продуктивності нижче 80%

від початкової потужності. Сонячні водонагрівачі повинні мати рейтинг OG-100. Вся вироблена «зелена» енергія зараховується як енергія, вироблена компанією Colorado Springs Utilities в рамках її зобов'язань щодо REP.

Програма фінансового стимулювання компанії La Plata Electric Assn (з 2007 р. дотепер), Колорадо. У рамках програми надаються субсидії на встановлення підключених до загальної мережі сонячних панелей, вітрогенераторів і малих гідроустановок потужністю від 0,5 кВт. Розмір субсидій для сонячних панелей потужністю до 10 кВт становить 16 дол. США/кВт, для панелей потужністю понад 10 кВт субсидії надаються на основі реальної продуктивності в розмірі 1 дол. США/МВт·год і виплачуються кожні півроку протягом десятирічного періоду. Розмір субсидій для вітрових і малих гідроустановок визначається індивідуально.

Програма фінансового стимулювання компанії Xcel Energy (з 2005 р. дотепер), Колорадо. У рамках програми надаються субсидії клієнтам компанії, які встановили та підключили до мережі сонячні панелі потужністю до 120% їхнього середньорічного навантаження. Компанія купує вироблену енергію протягом 20 років за такими тарифами:

- для малих виробників (0,5–25 кВт) – 0,02 дол. США/кВт·год за електроенергію, вироблену власною установкою, та 0,01 дол. США/кВт – за електроенергію, вироблену третьою стороною. Підключення до мережі платне, одноразовий платіж становить 100 дол. США;
- для середніх виробників (25–500 кВт) – 0,05 дол. США/кВт·год незалежно від того, хто є виробником електроенергії – клієнт чи третя сторона. Плата за підключення до мережі становить 1 000–2 000 дол. США.

Для отримання бонусного тарифу на сонячну енергію учасники повинні подати заявку та отримати дозвіл від Xcel Energy до встановлення системи. Список дозволених до використання PV-модулів та інверторів ідентичний списку Комісії Каліфорнії з енергетики. Всі фотоелектричні системи повинні мати п'ятирічну гарантію від виробника та установника, включаючи деталі та роботу.

Окрім програми субсидованого тарифу, клієнти компанії Xcel Energy можуть отримувати винагороду за вироблену електроенергію за схемою Net Metering.

Програма фінансового стимулювання компанії Black Hills/Colorado Elec. Utility Co. LP (з 2006 р. по теперішній час), Колорадо. Надаються субсидії клієнтам компанії, які встановили та підключили до мережі сонячні панелі потужністю до 120% їхнього середньорічного навантаження. Компанія купує вироблену енергію протягом 10 років за такими тарифами:

- для малих виробників (0,5–30 кВт) – 0,05 дол. США/кВт·год;
- для середніх виробників (30–100 кВт) – 0,075 дол. США/кВт·год.

PV-модулі повинні мати гарантію щонайменше 20 років. Усі інші компоненти, а також роботи з інсталяції повинні мати гарантію щонайменше 5 років. Усе обладнання повинно бути новим, відповідати вимогам UL та стандартам IEEE.

Програма Net Energy Billing (з 2000 р. по теперішній час), Мейн. Ця схема дозволяє отримувати вигоди від мікрогенерації сонячної енергії навіть тим власникам окремих квартир чи будинків, які не мають можливості встановити фотоелектричні панелі безпосередньо на власному даху через його затіненість або проживання на нижніх поверхах. Вартість виробленої сонячної енергії обладнанням, встановленим на спільному даху та/або інших частинах конструкції будинку, враховується в рахунках власників квартир пропорційно частці їхньої власності. Крім того, мешканці багатоквартирного будинку можуть підписатися на отримання сонячної енергії від найближчого джерела генерації сонячної енергії, який розташований поза межами їхньої власності, а в деяких випадках – навіть отримати на нього право власності (енергетичний кооператив).

Аналізуючи спільні риси розглянутих програм стимулювання мікрогенерації, можна виділити такі моменти.

1. Програми фінансового стимулювання купівлі, інсталяції та підключення до загальної мережі малих ВДЕ надаються в основному великими

генеруючими та розподільними компаніями, які прагнуть виконати власні зобов'язання за стандартами енергетичного портфеля, тобто фінансуються не державою, а корпоративним сектором.

2. Більшість програм фінансового стимулювання супроводжуються програмами навчання, що надають базові знання про можливості ефективного використання мікрогенерації на основі ВДЕ в житловому секторі, а також безліч наочних інструментів розрахунку вартості та параметрів окупності різних видів установок ВДЕ (наприклад, інтерактивними калькуляторами, картами рівня інсоляції території тощо).

3. Найпоширенішими вимогами, задоволення яких необхідне для отримання субсидій, є наявність сертифікованого обладнання та використання послуг ліцензованої компанії, що відкриває широкі можливості для протекціонізму (просування обладнання та послуг американських виробників).

4. Підключення до загальної мережі малих ВДЕ здійснюється на основі Interconnection Standards for Small Generators (стандартів федерального рівня), які визначають процедуру підключення до мережі залежно від потужності установки (максимальна потужність ВДЕ – до 20 МВт).

5. Стандарти на встановлення сонячних панелей розробляються на муніципальному рівні і, як правило, включають обмеження по висоті (при розміщенні на даху), поблизу до межі ділянки (при розміщенні на землі), вимоги щодо нічного освітлення (маркування), обмеження щодо встановлення на землях сільськогосподарського призначення та заповідниках, вимоги щодо забезпечення міграції диких тварин, вимоги щодо мінімального порушення ґрунтового шару, вимоги щодо ліквідації після використання.

Застосування таких комплексних підходів при розробці та реалізації програм стимулювання мікрогенерації дозволяє не тільки успішно вирішувати завдання переходу на більш екологічні технології виробництва енергії, а й надати імпульс розвитку в першу чергу власної економіки через формування масового попиту на продукцію високотехнологічних виробництв, послуги

висококваліфікованих фахівців (у тому числі в секторі освіти) [17], а також підвищувати грамотність населення в питаннях енергоефективності [18, 19].

Висновки по другому розділу

Пряме копіювання успішного американського досвіду розвитку мікрогенерації на основі ВДЕ в українських умовах навряд чи може бути розумним рішенням, однак виділені нами принципи формування програм стимулювання (комплексність, протекціонізм, формування зацікавленості до співпраці у всіх сторін – учасників процесу) можуть і повинні бути реалізовані в конкретних організаційно-економічних механізмах, інструментах і стандартах.

РОЗДІЛ 3

НАПРЯМКИ ТА МОЖЛИВОСТІ ПІДВИЩЕННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ МІКРОМЕРЕЖ

Мікромережі є галуззю енергетики, що стрімко розвивається. Вони мають низку переваг перед традиційними способами виробництва та постачання енергії. Мікромережі у світі оцінюються як перспективні енергетичні системи невеликої потужності, які спрямовані на інтегрування технологій відновлюваної енергії, а в першу чергу енергетичних систем невеликої потужності відновлюваних джерел і малих когенераційних електростанцій [1]. Мікромережі можуть працювати як енергетичні острови, які мають хоча б одне або кілька джерел і пов'язані з ними навантаження. Ці острови можуть бути свідомо створені після відключення мікромережі від великої енергосистеми [2]. Така можливість відключитися і далі працювати в автономному режимі підвищує надійність постачання енергії місцевим споживачам мікромережі, коли у великій системі виникають різні аварії [3], що часто буває після буревіїв та ураганів. Різке падіння цін на фотоелектричні модулі на світовому ринку протягом останніх років значно посилило конкурентоспроможність не тільки сонячних електростанцій, а й мікромереж. У результаті почався бурхливий ріст будівництва сонячних електростанцій (СЕС), які, як видно з рис. 3.1 і рис. 3.2, вийшли на високі позиції за сумарними встановленими потужностями за один рік.

Заодно значно підвищилася й економічна ефективність мікромереж, у яких застосовуються СЕС.

На рис. 1.1 і рис. 1.2 прийнято такі скорочення: ВЕС, НГЕС, СЕС, ВугЕС, БЕС, СмЕС, АЕС, ГЕС і СЕСзК відповідно означають електростанції, що використовують енергію вітру, природного (натурального) газу, сонця, вугілля, біомаси, міського сміття, атома та сонця з концентраторами.

Згідно з прогнозом Європейської ради з відновлюваної енергії (EREC), у майбутні десятиліття першість ВДЕ у виробництві енергії посилиться, що наочно показано на рис. 3.3.

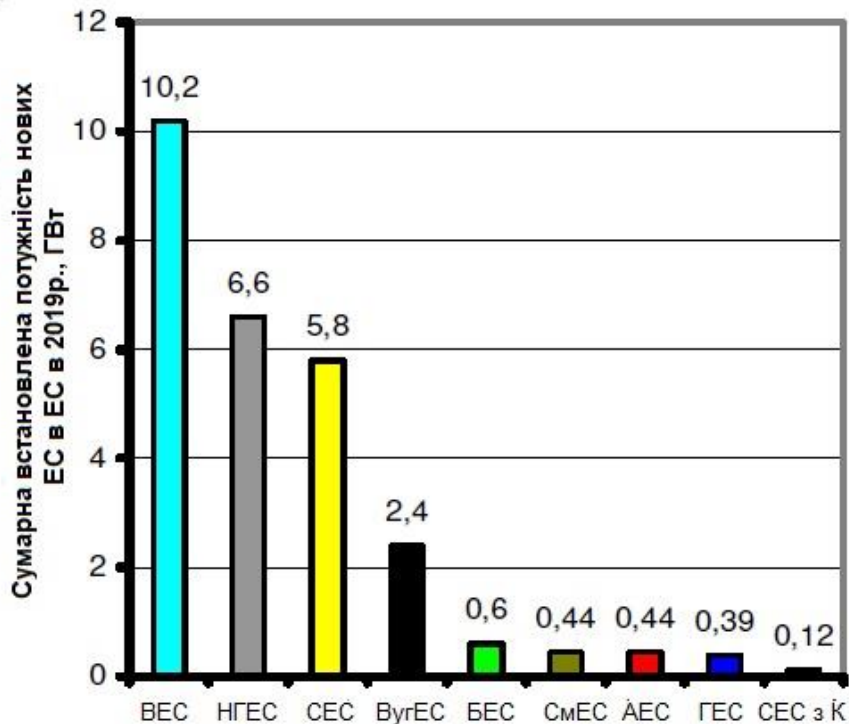


Рис. 1. Сумарна потужність нових електростанцій усіх типів, збудованих у 2019 р. в країнах ЄС

Прогнозується, що на першому місці за виробництвом спожитої електроенергії у 2040 році будуть сонячні електростанції, а за ними – ВЕС, ГЕС, БЕС, геотермальні (ГТЕС), сонячні теплові (СТЕС) та морські гідроелектростанції (МГЕС). Загалом на частку електростанцій, що працюють на ВДЕ, припадає 82 %, а на частку всіх традиційних електростанцій, що працюють на викопних паливах (ВсеТрЕС) – 18 % спожитої електроенергії.

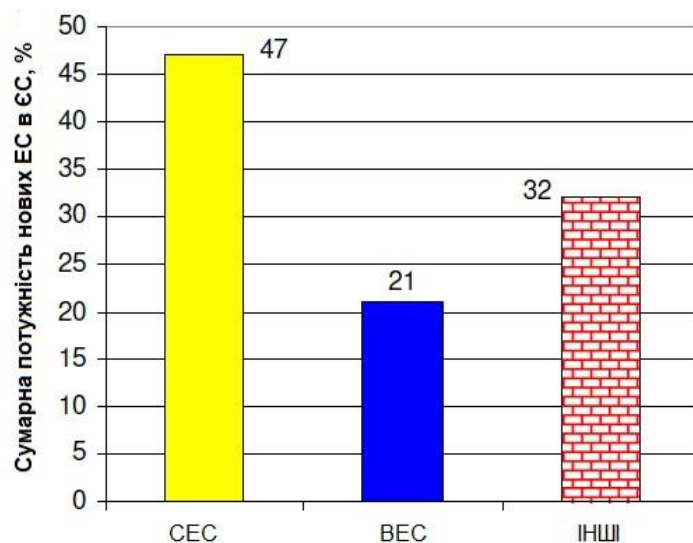


Рисунок 3.2. Частка сумарної потужності (%) сонячних та вітрових електростанцій від усіх електростанцій, побудованих в ЄС у 2021 р.

Згідно з прогнозом Європейської ради з відновлюваної енергії (EREC), у майбутні десятиліття першість ВДЕ у виробництві енергії посилиться, що наочно показано на рис. 1.3.

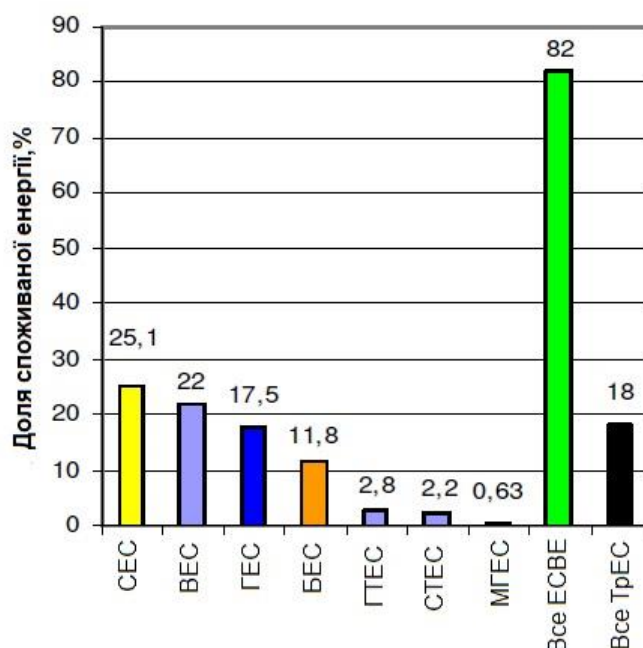


Рисунок 3.3. Внесок відновлюваної енергії у світове постачання електроенергії у 2040 р

Прогнозується, що на першому місці за виробництвом спожитої електроенергії у 2040 році будуть сонячні електростанції, а за ними – ВЕС, ГЕС, БЕС, геотермічні (ГТЕС), сонячні теплові (СТЕС) та морські гідроелектростанції (МГЕС). Загалом на частку електростанцій, що працюють на ВДЕ, припадає 82 %, а на частку всіх традиційних електростанцій, що працюють на викопних паливах (ВсеТрЕС) – 18 % спожитої електроенергії.

Структура мікромережі

Під час розробки мікромережі дуже важливо обрати її оптимальну структуру для даної місцевості [5], а також оптимально узгодити співвідношення потужностей усіх електрогенеруючих установок [6]. На кожному кроці проектування необхідно досягати максимальної економічної

ефективності роботи мікромережі, прагнучи забезпечити за можливості мінімальну собівартість виробленої енергії. Стратегія досягнення економічної ефективності роботи мікромережі здійснюється двома етапами:

- 1) через кожен генератор енергії,
- 2) через систему управління мікромережі.

На рис. 3.4 показано можливий варіант когенераційної мікромережі невеликого селища. У мікромережі працюють дві вітрові електростанції ВЕС1 і ВЕС2, дві сонячні електростанції з фотоелектричними модулями ФЕМ1, ФЕМ2 та інверторами Ін1, Ін2, три накопичувачі електроенергії з акумуляторними батареями АБ1–АБ3 та перетворювачами (випрямлячами-інверторами) П1–П3, одна когенераційна електростанція малої потужності на основі двигуна внутрішнього згоряння ДВЗ (дизеля), що працює на біодизелі БД або на рослинній олії РО та синхронним генератором Г. Теплова енергія ТЕ відводиться від дизельного двигуна і застосовується для опалення приміщень житлового будинку, а також для нагріву води для побутових потреб мешканців будинку. До складу генераторів електроенергії також входить мала гідроелектростанція МГЕС.

Споживачі електроенергії в даній мікромережі – це житлові будинки з електричними навантаженнями ЕН1–ЕН5. Малі житлові будинки при їхній достатній термоізоляції та високій енергетичній ефективності (класи А і Б) можуть бути опалені електроенергією. З електромережею великої енергосистеми мікромережа може бути з'єднана або відключена за допомогою вимикача В. Мікромережа управляється системою управління СУ. Кабелі системи управління на рис. 3.4 показані пунктирними лініями.

Ефективність роботи всієї мікромережі та собівартість виробленої в ній енергії залежить від ефективності роботи окремих генераторів, що входять до складу мікромережі. Можливості покращення економічних показників окремих потенційно можливих генераторів енергії мікромереж аналізуються нижче.

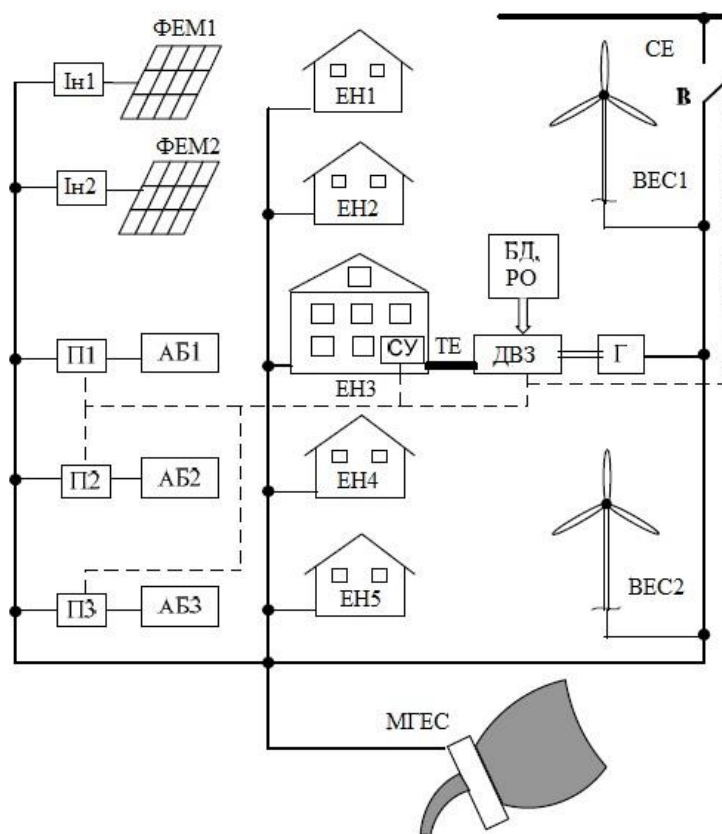


Рисунок 3.4. Варіант когенераційної мікромережі невеликого селища

Ефективність вітрових ЕС

Як показали аналітичні дослідження ефективності пропонованих на світовому ринку вітрових електростанцій (ВЕС) малої потужності (до 100 кВт), за своєю технічною та економічною ефективністю вони можуть відрізнятися неймовірно сильно [7]. Деякі малі ВЕС відрізняються високою технічною ефективністю та значною ціною, але є й такі дорогі моделі, які за тих самих умов виробляють значно менше електроенергії. Тому вдало обрана ВЕС може підвищити ефективність роботи мікромережі та знизити собівартість виробленої електроенергії.

Для відбору ефективно працюючих ВЕС у літературі [7] був запропонований техніко-економічний критерій ефективності, що враховує і ціну, і продуктивність вітрових електростанцій. Продуктивність враховується як питома розвиваюча потужність з одного квадратного метра робочої площі лопатей вітроколеса (Вт/м^2) за швидкості вітру 10 м/с. Така швидкість вітру обрана тому, що вона в середньому є найпродуктивнішою по відношенню до

енергії, що виробляється на ВЕС, або близька до того в місцевостях, де економічно доцільно встановлювати вітрові електростанції.

Техніко-економічний критерій ефективності ВЕС $K_{те}$ може бути визначений таким чином:

$$K_{те} = \frac{P_{10}^2}{S \cdot C}; \text{Вт}^2/\text{€м}^2, \quad (3.1)$$

тут P_{10} – потужність ВЕС, що розвивається при швидкості вітру 10 м/с, Вт;
 S – робоча площа лопатей ВЕС, м²; C – ціна ВЕС, €.

Запропонований критерій був застосований до групи з 45 ВЕС з горизонтальною віссю обертання вітряної турбіни та до 14 ВЕС з вертикальною віссю обертання вітряної турбіни. Метою цього дослідження була попередня оцінка ефективності роботи ВЕС різних типів. Отримані значення показали значний розкид техніко-економічного критерію ефективності ВЕС. Різниця між найкращими та найгіршими значеннями критерію технічної та економічної ефективності для ВЕС з вертикальною віссю обертання показана на рис. 5.

Більше результатів щодо цього дослідження ефективності ВЕС малої потужності різних моделей опубліковано у статті [7]. Крім того, не всі ВЕС малої потужності мають систему максимізації вихідної потужності генератора залежно від швидкості вітру, що діє в реальному часі [8]. Якщо така система не застосовується в обраній ВЕС, то її треба впровадити.

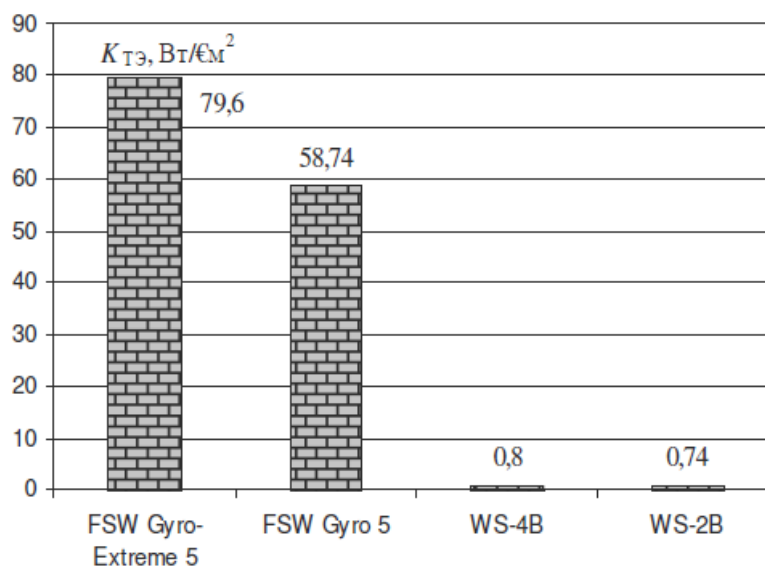


Рис. 5. Найкращі та найгірші значення критерію в групі 14 ВЕС з вертикальною віссю обертання

Ефективність сонячних електростанцій

Технічна та економічна ефективність роботи СЕС насамперед залежить від ефективності фотоелектричних модулів. Різке падіння цін на фотоелектричні модулі протягом останніх років викликало значне зростання сумарної встановленої потужності СЕС в усьому світі. Індекс ціни одного встановленого кіловата СЕС на світовому ринку нині становить близько 1000 євро/кВт, тоді як той самий показник для атомних електростанцій становить близько 5000–6000 євро/кВт. У зв'язку з цим створилися сприятливі умови використовувати СЕС також і в електричних мікромережах як одне з основних джерел для безпаливного виробництва електричної енергії.

Фотоелектричні модулі СЕС одного й того ж типу різних виробників за своєю ефективністю та енергопродуктивністю відрізняються один від одного значно менше порівняно з ВЕС різних моделей. Але, з метою отримання більше електроенергії з тієї ж площі, слід вибирати фотоелектричні модулі з високим ККД. Крім того, з метою підвищення ефективності роботи СЕС, а заодно й мікромережі, рекомендується вживати таких заходів:

- модульне поле СЕС формується тільки з фотоелектричних модулів того ж типу та тієї ж номінальної потужності,
- для встановлення модульного поля вибирається місце, де не падає тінь від дерев, будівель або інших сусідніх об'єктів,
- вибирається оптимальна орієнтація модульного поля – на південь,
- вибирається оптимальний кут нахилу площини фотоелектричних модулів залежно від географічної широти місцевості,
- з метою зменшення втрат потужності, фотоелектричні модулі між собою з'єднуються таким чином, щоб вихідна постійна напруга всього поля за стандартних умов (АМ 1.5) сонячного випромінювання була близькою до верхньої межі постійної напруги входу вибраного інвертора, і не перевищувала її в будь-яких реальних природних умовах випромінювання,

- за можливості фотоелектричні модулі та систему перетворення електричної енергії рекомендується вибирати того ж виробника – часто загальний ККД СЕС у такому разі підвищується (відомі випадки, коли загальний ККД СЕС підвищується до 8–10 %, що підтверджено незалежними лабораторіями),

- якщо це економічно доцільно, застосовуються системи автоматичного відстеження сонця, які забезпечують перпендикулярне опромінення фотоелектричних модулів,

- якщо це економічно доцільно, застосовуються концентратори сонячного випромінювання,

- з метою підвищення ефективності роботи СЕС, фотоелектричні модулі за необхідності очищаються від пилу, бруду та снігу.

На рис. 3.6 зображено річний виробіток електроенергії СЕС потужністю 30 кВт, встановленої в м. Каунас, залежно від кута нахилу площини фотоелектричних модулів відносно горизонтальної площини. При оптимальному куті нахилу для м. Каунас 38° СЕС виробляє максимальну кількість електроенергії (26,3 МВт·год на рік). Незначні відхилення від оптимального кута нахилу до ± 15 (20) градусів не мають великого впливу на зменшення кількості виробленої електроенергії. Пунктирною лінією на рис. 6 зображено проекцію площини фотоелектричних модулів.

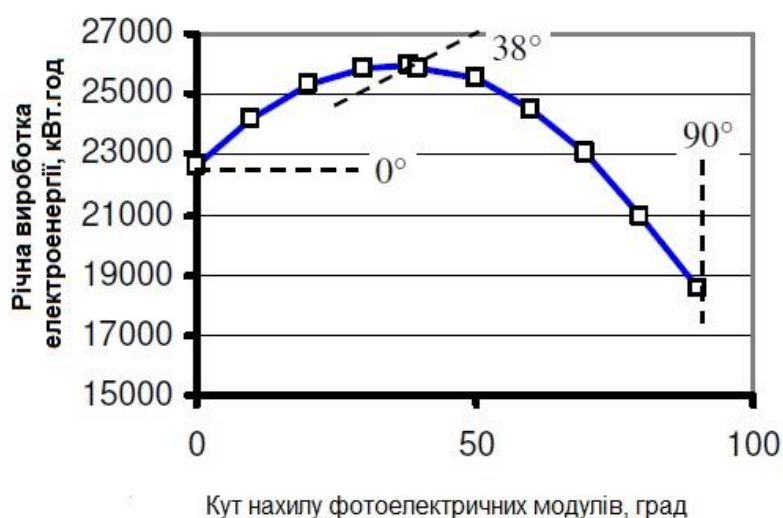


Рис. 6. Річне виробництво електроенергії СЕС потужністю 30 кВт у м. Каунас залежно від кута нахилу фотоелектричних модулів [9]

Те саме можна сказати й про кут відхилення орієнтації фотоелектричних модулів за азимутом від оптимального південного напрямку: невеликі відхилення до $\pm 30^\circ$ значного впливу на річний виробіток електроенергії СЕС не мають.

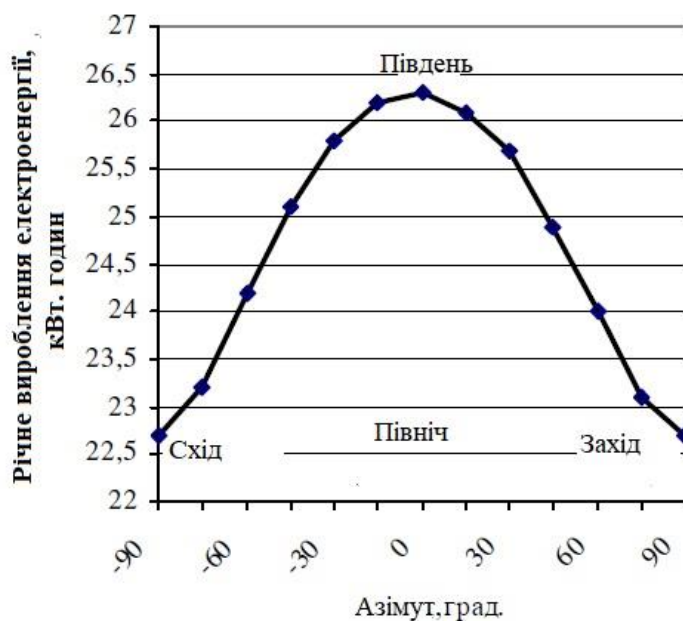


Рисунок 3.7. Річний виробіток електроенергії сонячної електростанції потужністю 30 кВт у м. Каунас залежно від азимуту орієнтації фотоелектричних модулів [9]

Вплив відхилень кута азимута від південного напрямку на продуктивність СЕС показано на рис. 3.7. Тут кут нахилу площини фотоелектричних модулів також було прийнято постійним та оптимальним (38 град.). Коли кут азимута – 90° , фотоелектричні модулі орієнтовані на схід, коли 0° – на південь, і коли -90° – на захід.

Ефективність малих ГЕС

Можна вважати, що мала ГЕС, як і будь-яка електростанція іншого типу, ефективно працює тоді, коли коефіцієнт використання первинного джерела енергії в ній відповідає сучасному світовому рівню або вищий, а її негативний

вплив на навколишнє середовище мінімальний. Ефективна робота малих ГЕС забезпечується за виконання двох основних умов:

- вибираючи оптимально підходящу гідротурбіну для даних гідротехнічних умов з максимально можливим ККД,
- максимально використовуючи гідроенергетичний потенціал греблі.

Один із прикладів, яким чином можна збільшити використання гідроенергетичного потенціалу греблі, показаний на рис. 3.8. Тут показано середньомісячне виробництво електроенергії малої гідроелектростанції потужністю 30 кВт у дер. Свобішкіс Молетського району Литви у період з 2002 р. до 2010 р. включно. Тут чорними стовпчиками показана середньомісячна вироблена енергія, а білими – енергія $E_{\text{втр}}$, втрачена щомісяця у зв'язку з тим, що не був використаний водоохоронний (санітарний) дебіт води.

Після встановлення невеликого додаткового гідроагрегата з генератором потужністю 5 кВт кількість виробленої електроенергії за рік у середньому збільшилася на 24000 кВт·год. Функції накопичувачів електроенергії та когенераційних мікроелектростанцій, а також ефективність їхньої роботи розглядаються в іншій статті авторів [9].

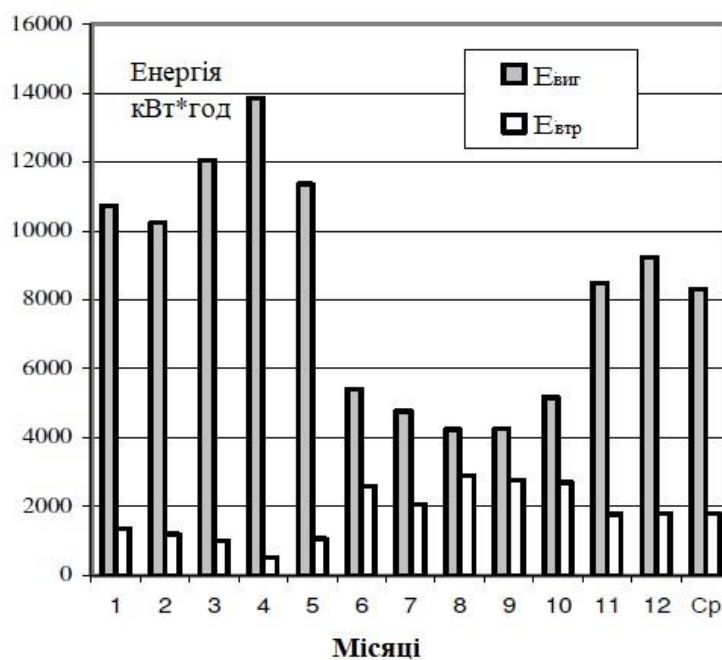


Рисунок 3.8. Середньомісячне багаторічне вироблення електроенергії малої гідроелектростанції потужністю 30 кВт у с. Свобішкіс Молетського району Литви

Висновки по третьому розділу

Одне з основних завдань у мікромережі – досягати максимальної економічної ефективності та забезпечувати мінімальну собівартість виробленої енергії. Стратегія досягнення економічної ефективності роботи мікромережі може здійснюватися двома етапами: домагаючись ефективної роботи кожного генератора енергії та впроваджуючи систему оптимального управління мікромережі.

ВИСНОВКИ

Мета дослідження – розробка пропозицій щодо стимулювання мікрогенерації ВДЕ в житловому та комерційному секторі на основі досвіду країн з найвищим рівнем розвитку мікрогенерації ВДЕ. Обрано методи бібліографічного, порівняльного та статистичного аналізу, а також метод множинного кейс-стаді. Проведено огляд різних державних заходів стимулювання сонячної генерації та стандартів підключення мікрогенерації до загальної мережі в зарубіжних країнах – лідерах розвитку відновлюваної енергетики. Сформульовано пропозиції та рекомендації щодо розвитку мікрогенерації в Україні, які можуть бути в подальшому використані при внесенні змін до нормативно-правової бази у сфері електроенергетики та розробці програм стимулювання мікрогенерації на основі ВДЕ. Одним з невирішених питань стимулювання розвитку мікрогенерації на основі ВДЕ є слабка зацікавленість мережевих компаній у підключенні об'єктів малої енергетики.

Виокремлено загальні принципи формування програм стимулювання розвитку мікрогенерації на основі відновлюваних джерел енергії в США, до яких віднесено принцип зацікавленості сторін, принцип комплексності та принцип протекціонізму. Ідентифіковано обов'язкові елементи нормативно-правового забезпечення розвитку мікрогенерації на основі ВДЕ, до яких віднесено стандарти федерального рівня щодо технологічного приєднання та стандарти муніципального рівня щодо забезпечення безпеки, екологічності та містобудівних норм.

Економічна ефективність мікромереж залежить від великої кількості факторів. У статті розглядаються заходи, які можна вжити для того, щоб мікромережа технічно та економічно працювала більш ефективно. На стадії розробки мікромережі дуже важливо вибрати її оптимальну структуру для даної місцевості, а також оптимально узгодити співвідношення потужностей усіх електроенергію генеруючих устано

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Kaygusuz A., Keles C., Alagoz B.B., Karabiber A. Renewable energy integration for smart sites // *Energy and Buildings*. 2013. No. 64. P. 456—462.
2. Fidalgo J.N., Fontes Dalila B.M.M. Fostering microgeneration in power systems: The effect of legislative limitations // *Electric Power Systems Research*. 2012. Vol. 84, is. 1. P. 181—186. URL: <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2011.11.013>
3. Yang L., Entchev E., Ghorab M., Lee E.J., Kang E.C. Energy and cost analyses of a hybrid renewable microgeneration system serving multiple residential and small office buildings // *Applied Thermal Engineering*. 2014. Vol. 65, is. 1—2. P. 477—486.
4. Romer P.M. Increasing returns and long-run growth // *Journal of Political Economy*. 1986. Vol. 94. Iss. 5. P. 1002—1037.
5. Rout U.K., Blesl M., Fahl U., Emme U., Voß A. Uncertainty in the learning rates of energy technologies: An experiment in a global multi-regional energy system model // *Energy Policy*. 2009. Vol. 37. Iss. 11. P. 4927—4942. URL: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2009.06.056>
6. Rubin E.S., Azevedo I.M.L., Jaramillo P., Yeh S. A review of learning rates for electricity supply technologies // *Energy Policy*. 2015. Vol. 86. P. 198—218. URL: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2015.06.011>
7. Grau T., Huo M., Neuhoﬀ K. Survey of photovoltaic industry and policy in Germany and China // *Energy Policy*. 2012. Vol. 51. P. 20—37. URL: <https://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2012.03.082>
8. Liu X.; Su B. Microgrids – An Integration of RE Technologies. China International Conference on Electricity Distribution, 10-13 Dec., 2008. P. 1-7.
9. Kroposki, B. An International Facility to Accelerate Deployment of Distributed Energy Resources in Microgrids. International Conference on Electrical Machines and Systems, 17 – 20 October, 2008. P. 2667- 2671.
10. Laria A. et. al. Survey on microgrids: analysis of technical limitations to carry out new solutions. 13th European Conference on Power Electronics and Applications, 8-10 Sept., 2009. P. 1-8.

11. Davies L.L., Carley S. Emerging shadows in national solar policy? Nevada's net metering transition in context // The Electricity Journal. 2017. Vol. 30, is. 1. P. 33—42. URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.tej>. 2016.10.010

12. Li H., Yi H. Multilevel governance and deployment of solar PV- panels in U.S. cities // Energy Policy. 2014. No. 69. P. 19—27. URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol>.2014.03.006