

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна
Навчально-науковий інститут «Українська інженерно-педагогічна академія»
Кафедра електротехніки і електроенергетики

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

магістра

на тему

ПІДВИЩЕННЯ РІВНЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ БЕЗПЕКИ ЗА РАХУНОК
ВИКОРИСТАННЯ АВТОНОМНОЇ СОНЯЧНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ З
ДЕЦЕНТРАЛІЗОВАНОЮ ФОТОЕЛЕКТРИЧНОЮ ГЕНЕРАЦІЄЮ

(тема кваліфікаційної роботи)

Виконав: студент 2 маг. курсу, групи ДЕА-ЕБ23мг-2
Спеціальності: 141 Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка

_____/ Дмитрій ПОНОМАРЕНКО
(підпис) (ім'я та прізвище)

Керівник _____/ Юлія ОЛІЙНИК
(підпис) (ім'я та прізвище)

Рецензент _____/ Олег КОНДРАТЮК
(підпис) (ім'я та прізвище)

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри _____/ Артем ЧЕРНЮК
(підпис) (ім'я та прізвище)

Нормоконтроль _____/ Юлія ОЛІЙНИК
(підпис) (ім'я та прізвище)

Секретар ЕК _____/ Ігор КИРИСОВ
(підпис) (ім'я та прізвище)

Харків – 2024 рік

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

Навчально – науковий інститут Українська інженерно-педагогічна академія
Кафедра електротехніки і електроенергетики
Спеціальність 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
Освітньо-професійна програма Енергетична безпека

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри

(підпис)

К.Т.Н., доцент Артем ЧЕРНЮК
(науковий ступінь, вчене звання, ім'я, прізвище)

« ____ » _____ 2024 р.

ЗАВДАННЯ

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

здобувачу вищої освіти Дмитрію ПОНОМАРЕНКУ

1. Тема «Підвищення рівня енергетичної безпеки за рахунок використання автономної сонячної електростанції з децентралізованою фотоелектричною генерацією» затверджена наказом по університету № 4801-5/3345 від «12» жовтня 2024 р.
2. Термін здачі закінченої роботи «10» грудня 2024 р.
3. Вихідні дані до роботи/проєкту Типи та характеристики фотоелектричних панелей, типи та характеристики акумуляторних систем, інвертори та їх характеристики.
4. Зміст роботи/проєкту (перелік питань, які належить розробити):
ВСТУП; РОЗДІЛ 1. ХАРАКТЕРИСТИКА РОЗПОДІЛЕНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ;
РОЗДІЛ 2. МАТЕМАТИЧНИЙ ОПИС МОДЕЛІ З ВИКОРИСТАННЯМ
MATLAB; РОЗДІЛ 3. ОЦІНКА ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ
ВИСНОВКИ
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 2024 р.

Керівник

(підпис)

Юлія ОЛІЙНИК

(ім'я, прізвище)

Завдання прийняв до виконання

(підпис)

Дмитрій ПОНОМАРЕНКО

(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	12.10.24 – 15.10.24	
2	Проведення аналізу наукової літератури	16.10.24 – 23.10.24	
3	Виконання першого розділу дипломної роботи	24.10.24 – 01.11.24	
4	Виконання другого та третього розділу дипломної роботи	02.11.24 – 26.11.24	
5	Оформлення пояснювальної записки	27.11.24 – 07.12.24	

Студент (ка)

(підпис)

Дмитрій ПОНОМАРЕНКО

(ім'я, прізвище)

Нормоконтроль

(підпис)

Юлія ОЛІЙНИК

(ім'я, прізвище)

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

ВСТУП

РОЗДІЛ 1. ХАРАКТЕРИСТИКА РОЗПОДІЛЕНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ

1.1. Загальні відомості

1.2. Аналіз літературних джерел

1.3 Розвиток розподіленої фотоелектричної генерації в Україні та за кордоном

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 1

РОЗДІЛ 2. МАТЕМАТИЧНИЙ ОПИС МОДЕЛІ З ВИКОРИСТАННЯМ MATLAB

2.1. Блок дизельної електростанції

2.2. Блок сонячної електростанції

2.3. Блок споживачів та ліній електропередавання

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 2

РОЗДІЛ 3. ОЦІНКА ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ

3.1. Підвищення якості електричної енергії

3.1.1 Блок-схема СЕС із розподіленою системою ФЕС

3.1.2 Регулювання сонячної електростанції

3.1.3 Інвертор

3.1.4. Акумуляторні батареї

3.1.5 Дизельна електрична станція

3.2. Результати техніко-економічного аналізу

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 3

ВИСНОВКИ Й РЕКОМЕНДАЦІЇ

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

ЕЕ – електрична енергія

ЛЕП – лінії електропередавання

ЯЕЕ – якість електричної енергії

РГ - розподілена генерація

ФЕП - фотоелектричні перетворювачі

ВДЕ – відновлювальні джерела енергії

СЕС – сонячна електростанція

ВЕС – вітрова електростанція

ДЕС – дизельна електростанція

РЕФЕРАТ

до магістерської роботи на тему

«Підвищення рівня енергетичної безпеки за рахунок використання автономної сонячної електростанції з децентралізованою фотоелектричною генерацією»

ПОНОМАРЕНКА ДМИТРА

Магістерська робота виконана на ____ сторінок, містить ____ таблиць, ____ рисунків, що характеризують результати дослідження, використано літературних джерел.

Енергетична безпека є одним із ключових аспектів національної безпеки. Забезпечення стабільного та надійного постачання електроенергії є критично важливим для функціонування економіки та комфорту населення. Використання відновлюваних джерел енергії, зокрема автономних сонячних електростанцій з децентралізованою фотоелектричною генерацією, може значно підвищити рівень енергетичної безпеки та зменшити залежність від традиційних джерел енергії.

Метою роботи є дослідження ефективності використання автономних сонячних електростанцій з децентралізованою фотоелектричною генерацією для підвищення рівня енергетичної безпеки та розробка рекомендацій щодо їх впровадження.

В роботі використовувались методи аналізу літературних джерел, моделювання процесів роботи сонячних електростанцій, експериментальні дослідження та економічний аналіз.

Проведено аналіз сучасних методів використання відновлюваних джерел енергії, що показав високу ефективність сонячних електростанцій для підвищення енергетичної безпеки.

Досліджено технічні характеристики автономних сонячних електростанцій та їх вплив на стабільність електропостачання.

Використання автономних сонячних електростанцій з децентралізованою фотоелектричною генерацією є ефективним заходом для підвищення рівня енергетичної безпеки. Сонячні електростанції дозволяють значно покращити стабільність електропостачання, знизити ризики аварій і збоїв, а також зменшити витрати на електроенергію. Впровадження рекомендацій, розроблених у рамках даної роботи, сприятиме забезпеченню стабільної та надійної роботи систем електропостачання в умовах сучасних викликів.

АВТОНОМНІ СОНЯЧНІ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ, ДЕЦЕНТРАЛІЗОВАНА
ФОТОЕЛЕКТРИЧНА ГЕНЕРАЦІЯ, ВІДНОВЛЮВАНІ ДЖЕРЕЛА ЕНЕРГІЇ,
ВПРОВАДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЙ, ЗНИЖЕННЯ ВИТРАТ НА
ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЮ

ABSTRACT

to a master's thesis on

«Improving energy security through the use of an autonomous solar power plant with decentralized photovoltaic generation»

PONOMARENKO DMYTRO

The master's work is executed on ____ pages, contains ____ tables, ____ drawings, which characterize the results of research, additions, used literary sources.

Energy security is one of the key aspects of national security. Ensuring a stable and reliable supply of electricity is critical for the functioning of the economy and the comfort of the population. The use of renewable energy sources, in particular autonomous solar power plants with decentralized photovoltaic generation, can significantly increase the level of energy security and reduce dependence on traditional energy sources.

The purpose of the work is to study the effectiveness of using autonomous solar power plants with decentralized photovoltaic generation to increase the level of energy security and develop recommendations for their implementation.

The work used methods of analyzing literary sources, modeling the processes of solar power plants, experimental research and economic analysis.

An analysis of modern methods of using renewable energy sources was carried out, which showed the high efficiency of solar power plants to improve energy security.

The technical characteristics of autonomous solar power plants and their impact on the stability of electricity supply are investigated.

The use of autonomous solar power plants with decentralized photovoltaic generation is an effective measure to increase the level of energy security. Solar power plants can significantly improve the stability of electricity supply, reduce the risk of accidents and failures, and reduce energy costs. Implementation of the recommendations developed within the framework of this work will contribute to

ensuring stable and reliable operation of power supply systems in the face of modern challenges.

AUTONOMOUS SOLAR POWER PLANTS, DECENTRALIZED PHOTOVOLTAIC GENERATION, RENEWABLE ENERGY SOURCES, INTRODUCTION OF TECHNOLOGIES, REDUCTION OF ELECTRICITY COSTS

ВСТУП

Актуальність.

Забезпечення енергетичної безпеки є одним із найважливіших аспектів національної безпеки. Сучасні економіки вимагають стабільного, надійного та екологічно чистого енергопостачання. Зростання споживання енергії та посилення уваги до проблем екології змушують шукати нові, ефективні та стійкі рішення у сфері виробництва та споживання електроенергії. У цьому контексті використання відновлюваних джерел енергії, зокрема сонячної енергетики, набуває особливої актуальності.

Автономні сонячні електростанції з децентралізованою фотоелектричною генерацією пропонують ефективний спосіб підвищення енергетичної безпеки. Вони здатні не тільки забезпечити стабільне електропостачання, але й знизити залежність від традиційних джерел енергії, таких як викопне паливо. Використання таких систем сприяє зменшенню викидів парникових газів, що позитивно впливає на екологічну ситуацію в регіоні та глобально.

Ця магістерська робота присвячена дослідженню можливостей підвищення рівня енергетичної безпеки за рахунок використання автономних сонячних електростанцій. Дослідження охоплює аналіз технічних характеристик таких станцій, оцінку їх ефективності у реальних умовах експлуатації, а також вивчення економічної доцільності впровадження автономних систем у різних регіонах. Окрему увагу приділено розробці рекомендацій щодо оптимального використання сонячної енергії для забезпечення стабільного та надійного електропостачання.

Актуальність теми визначається зростаючою потребою в екологічно чистих та стабільних джерелах енергії, а також необхідністю підвищення рівня енергетичної безпеки у контексті сучасних викликів, таких як зміни клімату та нестабільність на світових ринках енергоносіїв. Робота спрямована на пошук нових шляхів вирішення цих проблем через впровадження інноваційних технологій у сфері відновлюваної енергетики.

Мета дослідження - дослідження ефективності використання автономних сонячних електростанцій з децентралізованою фотоелектричною генерацією для підвищення рівня енергетичної безпеки та розробка рекомендацій щодо їх впровадження.

Об'єкт дослідження - системи електропостачання, що використовують автономні сонячні електростанції з децентралізованою фотоелектричною генерацією.

Предмет дослідження - принципи роботи, технічні характеристики та ефективність автономних сонячних електростанцій з децентралізованою фотоелектричною генерацією, а також їхній вплив на енергетичну безпеку.

Основні завдання дослідження:

- ✓ Аналіз сучасних методів використання відновлюваних джерел енергії у системах електропостачання та їх вплив на енергетичну безпеку.
- ✓ Дослідження технічних характеристик автономних сонячних електростанцій, включаючи їх конструктивні особливості та ефективність роботи.
- ✓ Вивчення принципів децентралізованої фотоелектричної генерації та аналіз їх впливу на стабільність електропостачання.
- ✓ Розробка моделі системи електропостачання з використанням автономних сонячних електростанцій для подальшого моделювання та аналізу їх ефективності.
- ✓ Проведення експериментів з метою перевірки ефективності запропонованих рішень у реальних умовах експлуатації.
- ✓ Оцінка економічної доцільності впровадження автономних сонячних електростанцій на різних промислових та комерційних об'єктах.
- ✓ Формування рекомендацій щодо впровадження автономних сонячних електростанцій для підвищення рівня енергетичної безпеки в умовах сучасних викликів.

Магістерська кваліфікаційна робота на тему «Підвищення рівня енергетичної безпеки за рахунок використання автономної сонячної

електростанції з децентралізованою фотоелектричною генерацією» складається з таких частин: перелік умовних позначень, вступ, три розділи, висновки, список посилань.

РОЗДІЛ 1. ХАРАКТЕРИСТИКА РОЗПОДІЛЕНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ

1.1. Загальні відомості

Буде представлено загальний опис значення розподіленої генерації (РГ); огляд літератури, пов'язаної з полем РГ.

Цей розділ розкриє міжнародний досвід використання РГ на прикладах Німеччини, США, Китаю та Чехії, крім того, буде описано стан РГ в Україні.

Розподілена генерація – галузь електроенергетики, яка виробляє електричну енергію в конкретній точці або поблизу її точки використання. Розподілена сонячна енергія може бути розташована на дахах будинків або землі і зазвичай пов'язана з локальною розподільчою мережею. Нинішні тенденції розвитку розподіленої фотоелектричної системи показують, що держави, адміністративні та муніципальні управління активно експериментують із політикою, спрямованою на заохочення розподіленої сонячної системи, щоб компенсувати піковий попит на електроенергію та стабілізувати місцеву мережу за рівнем напруги.

У 2013 році глобальний обсяг виробництва розподілених енергоресурсів становив 113,53 млрд. дол. США. Очікується, що зростання занепокоєння щодо витрат, пов'язаних із встановленням ліній електропередач для виробництва електроенергії великими електростанціями, збільшить зростання промисловості розподіленої енергетики.

РГ має здатність генерувати електрику з різних джерел від звичайних до нетрадиційних джерел енергії. В результаті вони стали екологічно чистою альтернативою для виробництва електроенергії, і ця тенденція, ймовірно, продовжуватиметься протягом наступних кількох років.

Активна економічна підтримка, що надається провідними країнами області РГ, стимулюватиме зростання виробництва електроенергії за рахунок альтернативних джерел, таких як сонячна енергія, вітроенергетика та Геотермальна енергія. Проте, висока вартість установок РГ стане критичним фактором, що негативно позначається на зростанні.



Рисунок 1.1 – Структурна схема розподіленої фотоелектричної генерації

Активна економічна підтримка, що надається провідними країнами області РГ, стимулюватиме зростання виробництва електроенергії за рахунок альтернативних джерел, таких як сонячна енергія, вітроенергетика та Геотермальна енергія. Проте, висока вартість установок РГ стане критичним фактором, що негативно позначається на зростанні.

1.2. Аналіз літературних джерел

За останнє десятиліття ідея інтеграції розподілених фотоелектричних генераторів у існуючу СЕС перейшла в нову стадію широко застосовуваних, перспективи розвитку якої не зупиняються. Розподілені фотоелектричні генератори можуть забезпечити безліч переваг, включаючи зниження витрат на поділ енергетичної системи, гнучку роботу та підвищену надійність. Місцева генерація може зменшити втрати енергії та відкласти інвестиції в локальну інфраструктуру, де розвитку зазнають лінії передачі та розподіл електричної енергії.

Однак, окрім багатьох переваг розподілених генераторів, впровадження цих систем може бути досить складним у існуючих енергетичних магістральних мережах напругою 0,4 кВ. Основними проблемами, пов'язаними з розподіленими ресурсами є проблеми регулювання напруги,

доза флікера, нерівномірність добового графіка споживання навантажень споживачів, зростаюча вартість інтеграції даних установок тощо.



Рисунок 1.2 – Мнемосхема гібридної системи електропостачання

Відомо, що електрична мережа структурована з одностороннім потоком потужності: генерація, передача та розподіл. Проте, з використанням розподілених генераторів це одностороннє правило потоку потужності буде недійсним. На відміну від традиційної генерації, розподілений генератор дозволяє виробляти електроенергію локально - в основному, дуже близько до виділених навантажень або інших точок приєднання до мережі. Проте потік активної потужності від розподільчих ресурсів невеликий.

Відповідно до стандартів європейських країн інституту інженерів електротехніки та електроніки IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) 1547 розподілені генератори не вносять зміни регулювання напруги або частоти. Більше того, вони повинні працювати при фіксованій коефіцієнт потужності або діапазон між 0,95 провідним джерелом електричної енергії та допоміжним. Внесок в активну потужність в основному є єдиною умовою розподілених генераторних установок. Багато робіт якісно відобразили переваги даних вимог до розподіленої енергетики.

Варто зазначити, що системи диспетчерського управління та збору даних SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) можуть бути недоступні в

віддалених територіях з СЕС для дистанційного керування. Контроль генерованої потужності від розподіленого ресурсу має виконуватися локально та автоматично за допомогою належного керування електроспоживанням, оскільки неможливість розгорнути техніку, або вислати спеціалізованого інженера, відповідального за роботу з кожним блоком генерації, викликає низку труднощів. На сьогоднішній день проведено багато досліджень з моделювання енергетичних процесів з розподіленою генерацією. Більшість робіт акцентує увагу на нагрівання акумуляторів та теплових насосів, де були запропоновані варіанти використання додаткових потужностей, коли генерування перевищує споживання. Акумуляторний накопичувач є перспективним способом зберігання енергії, однак, більш цікавим з точки зору науково-дослідницької діяльності буде можливість математичного моделювання СЕС з розподіленою фотоелектричною генерацією, коли вся енергія, що генерується, витрачається на споживача від обох джерел.

Крім того, оптимальні розміри та гнучкість у розташуванні системи фотоелектричних перетворювачів (ФЕП) були неодноразово оцінені з техніко-економічної та інженерно-практичної точок зору як для споживача, так і для генеруючої компанії.

1.3 Розвиток розподіленої фотоелектричної генерації в Україні та за кордоном

Сполучені Штати Америки

Історія надійних стимулів, державної підтримки у поєднанні зі порівняно високими показниками роздрібної торгівлі, прогресивної та адаптованою технологією виробництва конструкцій ВДЕ, вивели США на провідні позиції з погляду потужності розподіленої фотоелектричної генерації. Це зростання, а також розвиток акумуляторних накопичувачів-сховищ, підйом ринку електромобілів та інші технології, що виникають розподіленої енергетики призвели до кількох вдалих законодавчих актам, що викликали шквал пропозицій та реалізацій проектів ВДЕ.

Колоборації державних та комунальних програм стимулювання і дискусія про цінність і майбутню роль розподіленої енергетики США – усе це розгортається і натомість нещодавнього оновлення державного стандарту розвитку штату Каліфорнія, де основними цілями ставляться:

1. Розвиток та використання ВДЕ до 50% до 2030 року.
2. Скорочення викидів парникових газів на 40%, що виявиться нижче рівня 1990 року до 2030 року.
3. Застосування розподіленої енергетики має допомогти скоротити завантаження інфраструктурних утворень на периферії
4. Вирішення проблеми з надійністю мережі електропостачання великих підприємств штату.
5. Зміцнення ринкових позицій, що спрямовують комунальний сектор у бік отримання додаткових енергоресурсів від поновлюваних джерел, що підвищує енергоефективність та попит розподіленої енергетики.

Зростання розподілених фотоелектричних елементів було обумовлено різким падінням загальної вартості сонячних модулів та був додатково стимульований зниженням споживчих витрат за рахунок більшої доступності та прийняття на ринку прав власності для третіх осіб. Незважаючи на швидке зростання розподілених фотоелектричних та вітроенергетичних генерацій, ці ресурси вносять дуже малу частину загального електропостачання США. На рис. 1.3 і 1.4 зображені останні тенденції прийняття рішень для розподілених фотоелектричної та вітрової енергетики.

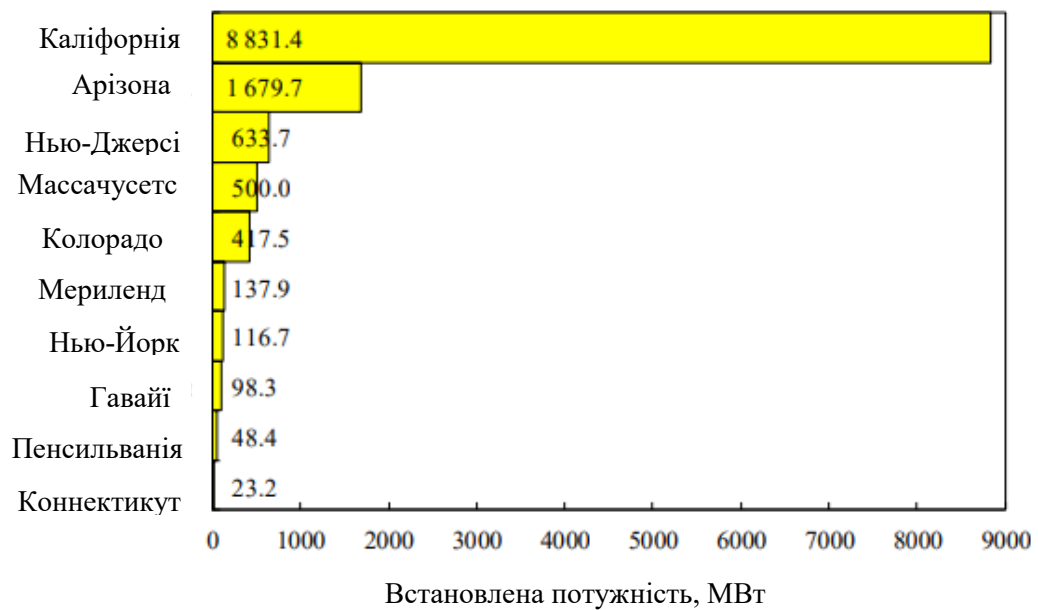


Рисунок 1.3 – Потужність, що генерується, від встановлених поновлюваних енергоресурсів за червень 2017 року

У Каліфорнії домінують сонячні батареї, розташовані на даху комунальних секторів, близько 40% встановленої потужності країни, що багато в чому пов'язано з традиційними державними програмами стимулювання, такими як «Каліфорнійська сонячна ініціатива» (California Solar Initiative), а також з роздрібними цінами на електроенергію, які є одними з найвищих у країні. Штат Арізона, Нью Джерсі та Массачусетс слідує за Каліфорнією, відповідно складаючи близько 10%, 8% та 7% від загальної встановленої потужності країни (див. рисунок 1.3).

На підставі даних Департаменту енергетики та управління енергетичної політики та системного аналізу Сполучених Штатів (U.S. Department of Energy (Office of Energy Policy and Systems Analysis) були представлені тенденції розвитку розподіленої енергетики у країні [3].

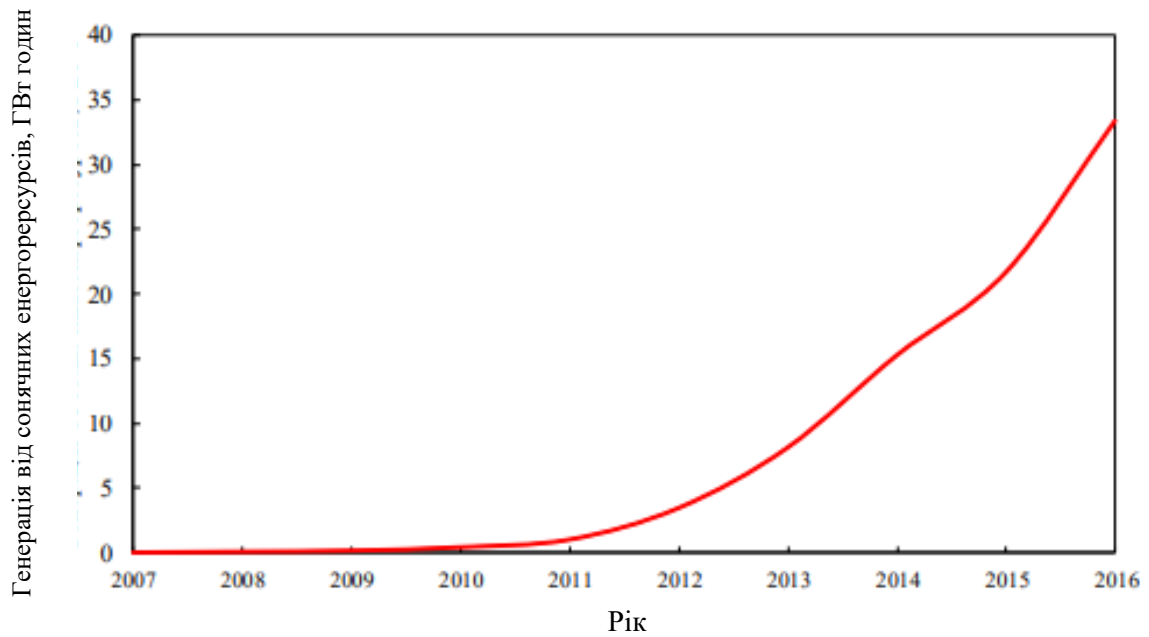


Рисунок 1.4 – Зростання вироблення від фотоелектричної генерації у США [4]

На рисунку 1.4 показані останні тенденції у прийнятті рішень для фотоелектричної генерації в Сполучених Штатах, де абсолютно чітко простежується прискорення на початку століття. У США є 1721 СЕС, вони генерують 1% електроенергії країни.



Рисунок 1.5. – Розподіл сонячної електроенергії по території США [5]

Німеччина

В 2016 році в Німеччині було встановлено нову потужність від фотоелектричних станцій (ФЕС) у розмірі 1,2 ГВт, що відповідає майже 2%

загальної потужності сонячної генерації по всьому світу. У німецькому законодавстві щодо відновлюваних джерел енергії EEG (Erneuerbare Energien Gesetz) 2014 та 2017 року, федеральний уряд встановив щорічну мету 2,5 ГВт фотоелектричної генерації [6].

За експертною оцінкою, задоволення більшості чи всіх потреб Німеччини в енергії від поновлюваних ресурсів буде досягнуто до 2050 року. Для цього потрібна потужність 150-200 ГВт фотоелектричних систем. Це означає, що в середньому до 4–5 ГВт сонячної генерації необхідно встановлювати щорічно до 2050 року. Згодом старі фотоелектричні системи повинні бути замінені, але на даний момент момент заміни установок не зіграє великої ролі. Це тим, що цільова потужність 200 ГВт фотоелектричних станцій не буде досягнута, оскільки термін їхньої служби становить близько 30 років. Аналіз показує, що 6-7 ГВт фотогенерацію необхідно замінювати щороку. Трансформація всього енергетичного сектора на ВДЕ не є метою нинішнього федерального уряду Німеччини. Передбачається мінімальна частка 80% відновлюваних джерел енергії до 2050 [7].

Більше 98% німецьких (це понад мільйон) ФЕС підключено до децентралізованої низьковольтної мережі та генерують сонячну електрику в безпосередній близькості від споживачів. Установки з ФЕП потужністю понад 1 МВт становить лише 15% від загальної потужності ФЕС у Німеччині. Це означає, що передача сонячної електрики відбувається переважно децентралізованим чином, тим самим ліквідуючи будь-які вимоги щодо розширення німецької національної мережі передачі електричної енергії.

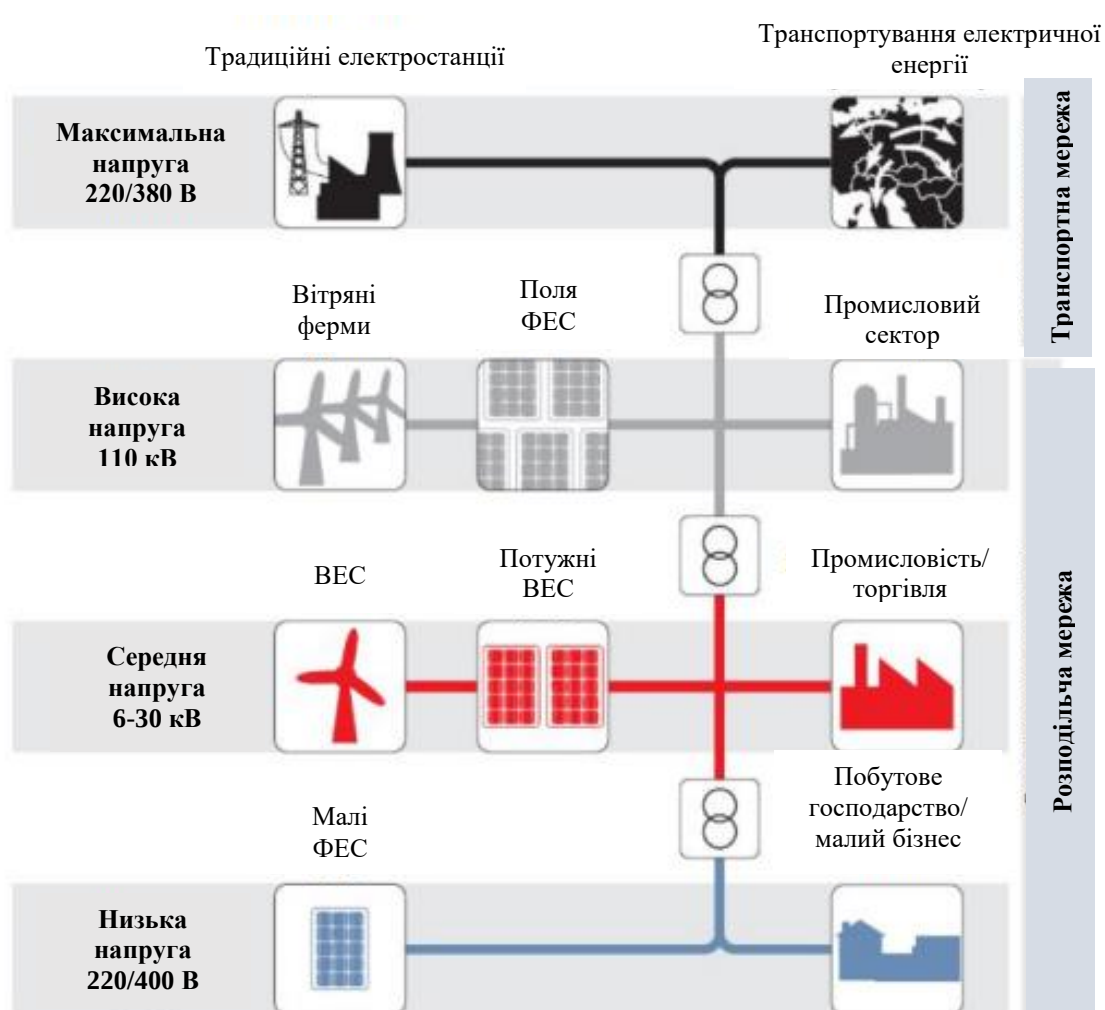


Рисунок 1.6 – Структура німецької електромережевої системи [8]

Висока щільність електростанцій у низьковольтній секції електромережі може призвести до того, що вироблення електроенергії перевищить споживання цій ділянці мережі у дні максимальної сонячної радіації. У цьому випадку трансформатори знову подають живлення до мережі середньої напруги. У секціях з високою густиною генерації це може підштовхнути трансформаторні станції до їх граничних значень. Рівне розподіл СЕС за всіма секціям мережі зменшує необхідність розширення системи електропостачання [9].

По рисунку 1.6 можна дійти невтішного висновку, що децентралізовані ФЕС добре локалізовані, тим самим забезпечуючи подачу та розподіл існуючої електричної енергії в мережі. Великі ФЕС невеликих заводів у

малонаселених районах вимагають, щоб розподільна мережа та трансформаторні станції були посилені на певних ділянках.

Подальше розширення ФЕС має проводитися з великою увагою до постачання електроенергії, щоб спростити розподіл сонячної електрики. Землі Баварії та Бранденбурга мають у три-чотири рази більше встановленої потужності сонячної генерації на одного жителя порівняно із землями Саарланд, Північний Рейн-Вестфалія, Саксонія або Гессен (див. рисунок 1.7).

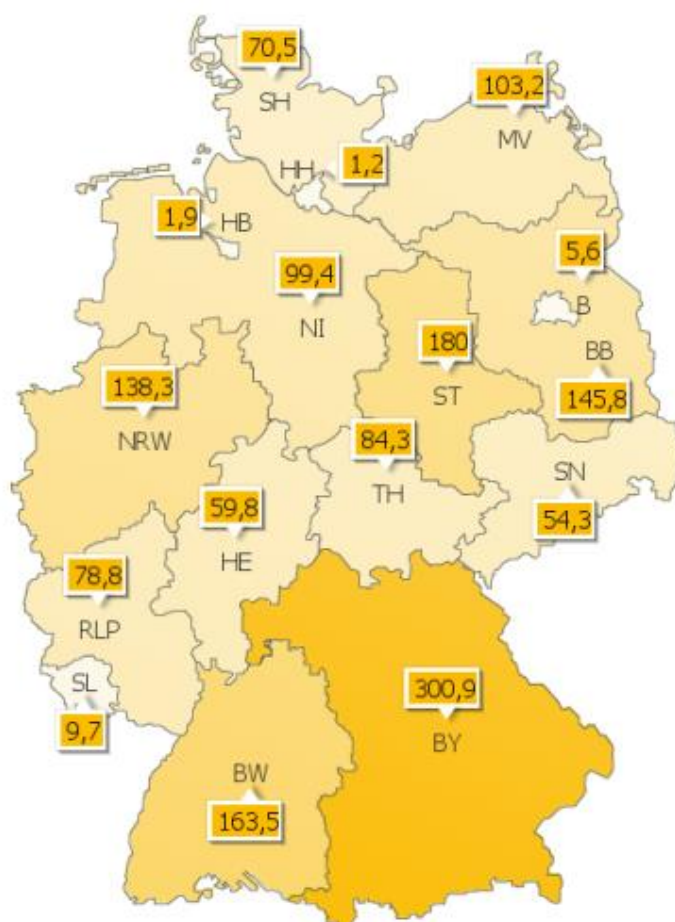


Рисунок 1.7 – Встановлена потужність сонячних електростанцій МВт/пiк за 2015 рік [9]

Як показано на рисунку 1.7, СЕС широко поширені серед шістнадцяти земель і не обмежуються лише південними регіонами країни. Важливо зазначити, що протягом перших трьох кварталів 2017 року 37,5% енергії Німеччини було вироблено на основі ВДЕ. Станом на кінець 2016 року частка

ВДЕ становила 34%. Обсяг виробництва відновлюваної енергії за цей період досяг 151,6 ТВт·ч.

1. Енергія вітру виробляла 16,4% електроенергії у Німеччині (66,6 ТВт·ч). Тим не менш, вітер є найбільшим джерелом енергії в країні після бурого вугілля.

2. Сонячна енергія згенерувала 8,7% - більше, ніж генерація газу (8,4%). На підставі даних Фраунхоферського інституту сонячних енергетичних систем (Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE) були представлені тенденції розвитку енергетики в Німеччині [10]:

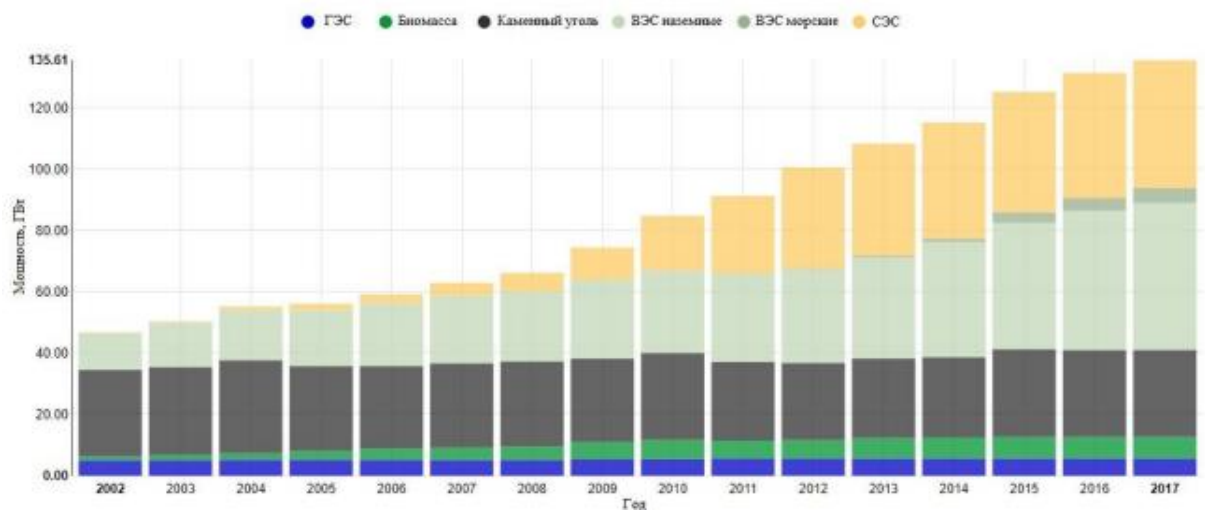


Рисунок 1.8 – Графік встановлених потужностей виробництва електроенергії [10]

Вугілля все ще домінує в енергетичному секторі Німеччини, що негативно впливає на здатність країни виконувати свої кліматичні зобов'язання. 25% електроенергії, виробленої на бурому вугіллі, та 15,9% на чорному вугіллі. Загалом це трохи менше, ніж частка вугілля у 2016 році. Відповідно до німецького законодавства з ВДЕ у 2020 році ВДЕ має виробляти 40–45% електроенергії в країні.

Чеська Республіка

Енергетична промисловість Чеської Республіки охоплює як виробництво, так і розподіл усіх видів енергії, включаючи видобуток деяких корисних копалин та використання таких джерел енергії як вугілля, природний газ, уран та ін. Обговорення серед політиків, бізнесменів та інших осіб, які приймають рішення, пов'язані з енергетичним сектором, охоплюють теми стійкості, енергетичного балансу, автономності, регулювання, ефективності та використання відновлюваних джерел енергії. Чеська Республіка є одним із найбільших експортерів електроенергії в Європейському союзі, тому енергетичний сектор, особливо ринок електроенергії, відіграє важливу роль у чеській економіці, а також у енергетичній безпеці Центральної Європи [11].

У Чеській Республіці генерація електроенергії забезпечується декількома джерелами [55]:

✓ Теплові електростанції (ТЕЦ): теплові електростанції є найбільшими виробниками енергії в Чеській Республіці. Вони розташовані в регіонах із великими родовищами вугілля (особливо бурого вугілля та кам'яного вугілля) та близьких до річок. Найбільші з них розташовані неподалік міст Соколова, Моста, Острави, Мельника, Хвалетиці або Велке Опатовіце.

✓ Атомні електростанції (АЕС): атомні електростанції є другим за величиною виробником електроенергії. Дві електростанції Дуковани і Темелін є предметом гарячих дискусій про завершення або продовження терміну їхньої служби. На даний момент актуальним є питання збільшення встановленої потужності у Чеській Республіці.

✓ Гідроелектростанції (ГЕС) (у тому числі насосні гідроелектростанції): традиційно гідроелектростанції є стабільною частиною енергетичного сектора Чехії, тому що чеська сільська місцевість дуже багата на джерела води. Найбільші гідроелектростанції розташовані на каскаді гребель на річці Влтава (Липно, Камик, Слапи, Орлик, Вране).

✓ Комбіновані та газові електростанції: за останні десять років це джерело виробництва електроенергії подвоїв свою частку в чеській енергетичний комплекс. Комбінований цикл у процесі виробництва підвищує ефективність переробки джерел енергії. Ось чому Декілька великих проектів таких електростанцій вже активно експлуатуються (Почеради та Мохов).

✓ Фотоелектричні станції: зростання фотоелектричних електростанцій пов'язаний із державним втручанням у виробництво енергії (субсидовані ціни), тобто з метою диверсифікації виробництва енергії в бік ВИЕ. Серед майже тридцяти тисяч електростанцій найбільші розташовані в Північній Богемії (Ралсько), Центральній Чехії (Вепрек) та Південна Богемія.

✓ Вітроелектростанції (ВЕС): енергія, що виробляється вітряними електростанціями, що покриває незначну частку споживання енергії в Чехії. Більшість вітряних електростанцій розташовані в гірських хребтах північної частини держави, таких як Єсеніки, Орлицькі гори.

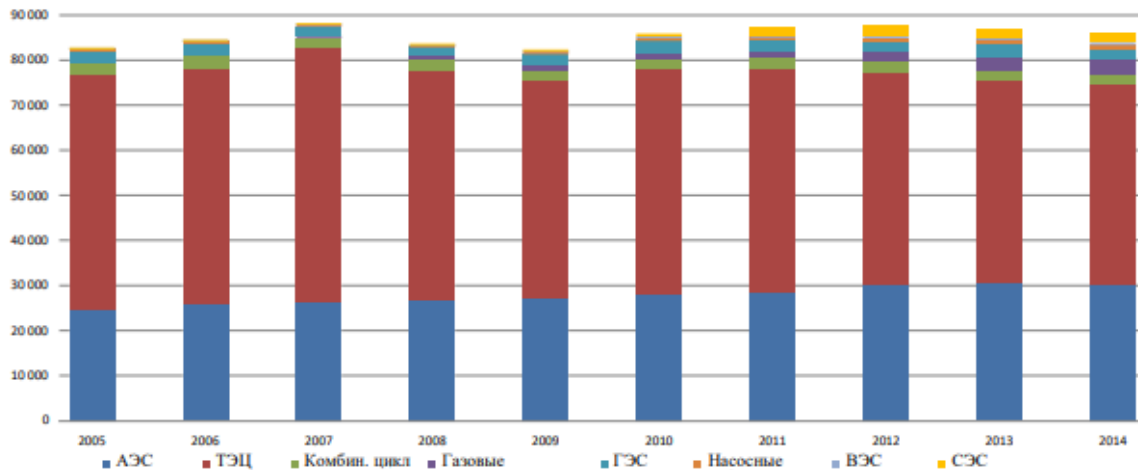


Рисунок 1.9 – Графік учасників виробництва електроенергії у ГВт·ч [12]

Зважаючи на частку виробництва електричної енергії, ТЕЦ та АЕС значно домінують. У 2013 році валове виробництво електроенергії досягло загалом 87 065 ГВт·год, тоді як 51,4% – на ТЕЦ та 35,3% – на АЕС. Інші джерела охоплювали близько 13% виробництва електроенергії

Програма підтримки відновлюваних джерел енергії була заснована на законодавстві, запропонованому в 2003 році. Державна підтримка електроенергії, що виробляється з поновлюваних джерел енергії в Чеській Республіці, була проголошена спеціальним Законом за номером 180/2005, у якій гарантувалася фінансова підтримка енергії вітру, сонячної енергії, геотермальної енергії, водної енергії, біомаси та біогазу. Положення оголосили значні субсидії, особливо у 2009 та 2010 роках, що викликало будівництво тисяч електростанцій і викликало загрозу вищих цін для споживачів електроенергії у штаті на десятки відсотків.

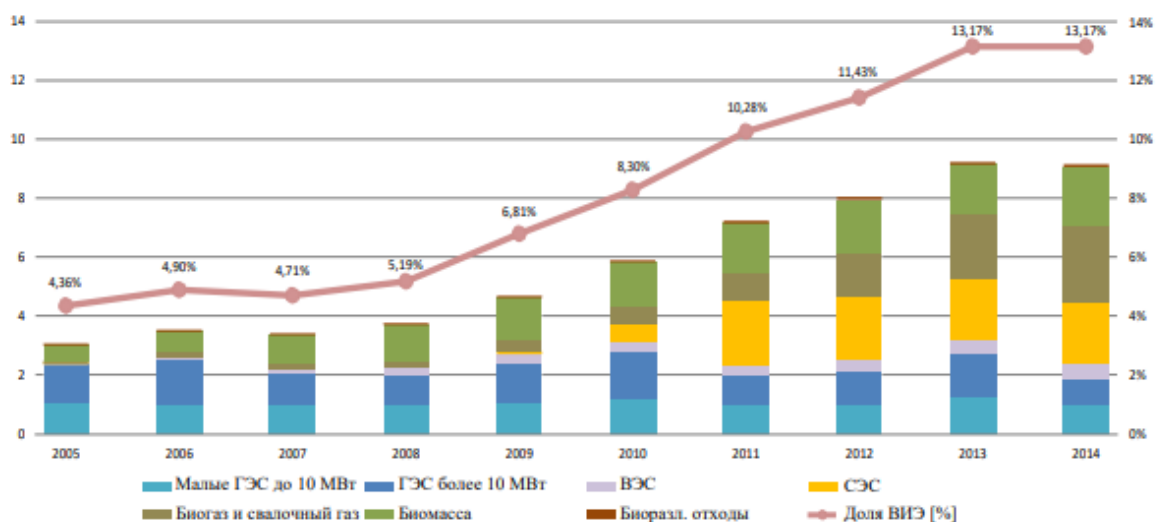


Рисунок 1.10 – Виробництво електроенергії з ВДЕ та його частки у валовому споживанні [12]

В період з 2008 по 2010 рік різке зниження цін на фотогальванічні панелі (повернення інвестицій з включеною підтримкою скоротилося з законодавчо розрахованих 15 років до 6 або 7 років) викликав різке збільшення будівництва фотоелектричних електростанцій [13].

На підставі даних технологічного факультету Технологічного інституту енергетики м. Брно. Energetického ústavu), загалом частка відновлюваних джерел енергії наприкінці 2013 року збільшилася до 13,17%. Як основний чинник слід відзначити зростання фотоелектричних і біогазових джерел.

Щодо виробництва відновлюваної електроенергії, то в 2013 році вона виробила понад 9,24 ТВт·год на рік. Найважливіша частина цього показника покривається за рахунок гідроенергетики (майже 30% від виробництва ВДЕ), біогазу та звалищного газу (понад 24%), ФЕП (понад 22%) та біомаси (близько 18%) [14].

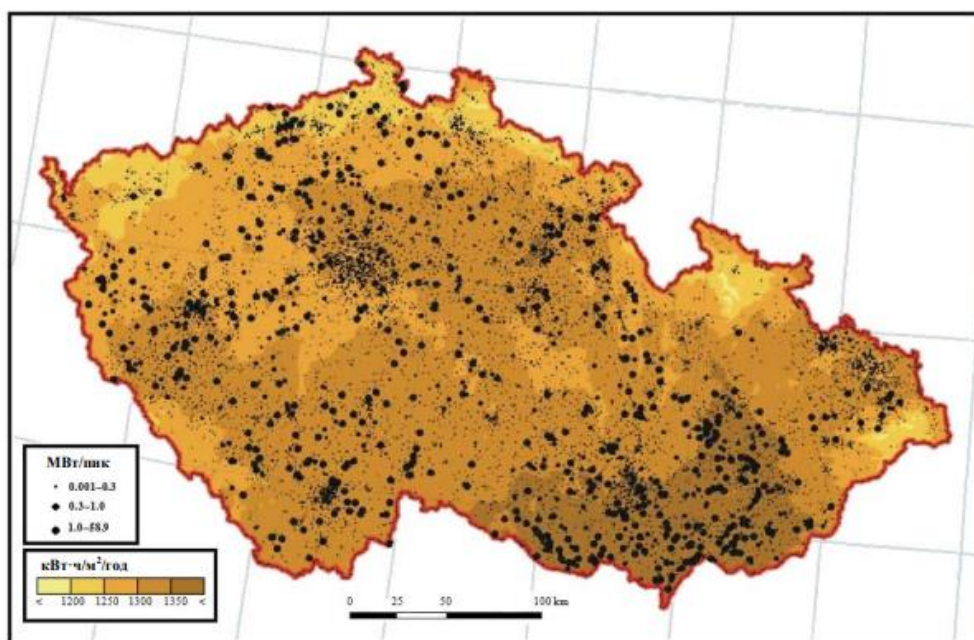


Рисунок 1.11 – Карта розподілу сонячної радіації та розподілу СЕС за 2013 [14]

Згідно з рисунком 1.11, фотоелектричні установки широко поширені по всій території Чеської Республіки. Південна Богемія є найбільш поширеною областю експлуатації фотоелектричних установок, де ми можемо спостерігати високу чутливість до інсоляції на рівні 1300-1350 кВт·год/м² на рік.

Китайська Народна Республіка

Останнім часом, енергетична політика Китаю сприяє використанню відновлюваних джерел енергії та підвищенню енергоефективності як засіб пом'якшення впливу на навколишнє середовище, підвищення безпеки постачання електричної енергії та забезпечення економічної конкурентоспроможності серед інших держав.

В результаті даного вектора розвитку рівні проникнення розподіленої генерації в електричних мережах швидко зростають і, як очікується, гратимуть Найважливішу роль енергетиці держави [13].

Незважаючи на деяку помірність у прогнозованому економічному зростає, Китай залишається однією з найбільш швидко зростаючих економік у світі. У в результаті його загальне виробництво електроенергії майже подвоюється з 4,8 трлн. кВт·год у 2012 році до 9,4 трлн. кВт·ч 2040 року за середньорічному темпі зростання на 2,5%. Вплив швидкого економічного розвитку Китаю, що триває, на навколишнє середовище став головною проблемою серед розробників екологічної політики в Китаї, а також для широкого загалу. Зокрема, нещодавно Китай представив низку пропозицій, спрямованих на вирішення гострих проблем, пов'язаних із якістю повітря. У спільному заяві у листопаді 2014 року як Китай, так і США взяли на себе зобов'язання вжити заходів, спрямованих на забезпечення довгострокового скорочення викидів, а Китай націлюється на скорочення викидів CO₂ до 2030 року. Китай рухається, щоб виробляти більше електроенергії від ядерної енергії, ВДЕ та природного газу для вирішення екологічних проблем та диверсифікації своєї паливної суміші для виробництва електроенергії у бік джерел енергії з нижчим або нульовим викидом парникових газів [12].

У червні 2015 року Китай виклав конкретні кроки, необхідні для зниження рівня викидів CO₂, починаючи з 2030 року. Політика уряду «Ймовірних національних внесків» INDC (Intended Nationally Determined Contributions) включає наступні енергетичні цілі для Китаю:

1. Нижча інтенсивність вуглецю (CO₂ на одиницю ВВП) на 60–65% порівняно з рівнями 2005 року.
2. Необхідно збільшити частку невоєнного палива у первинній енергетичної суміші приблизно 20%.

Для досягнення цієї мети необхідно буде побудувати до 2030 800-1000 ГВт генеруючих потужностей від ВДЕ, що дасть порівняльний орієнтир для подальших прогнозів В останні роки вартість поновлюваних технологій

продовжує знижуватися, причому найбільше зниження витрат спостерігається для сонячних технологій. Однак цілі політики в галузі чистої енергії також відіграють важливу роль у прийнятті поновлюваних джерел енергії у Китаї. Цілі політики в галузі відновлюваних джерел включають сформульовані конкретні цілі на національному рівні, офіційно включені до різних п'ятирічних планів: у дванадцятий п'ятирічний план (2011–2015 рр.) було включено мету збільшення немісних джерел енергії (включаючи гідроенергетику, ядерну та відновлювану енергію) до 11,4% від загального споживання енергії порівняно з 8,3% у 2010 році). Крім того, у плані передбачається 15% загальна мета для частки відновлюваної енергетики від загального виробництва електроенергії у 2020 році [15].

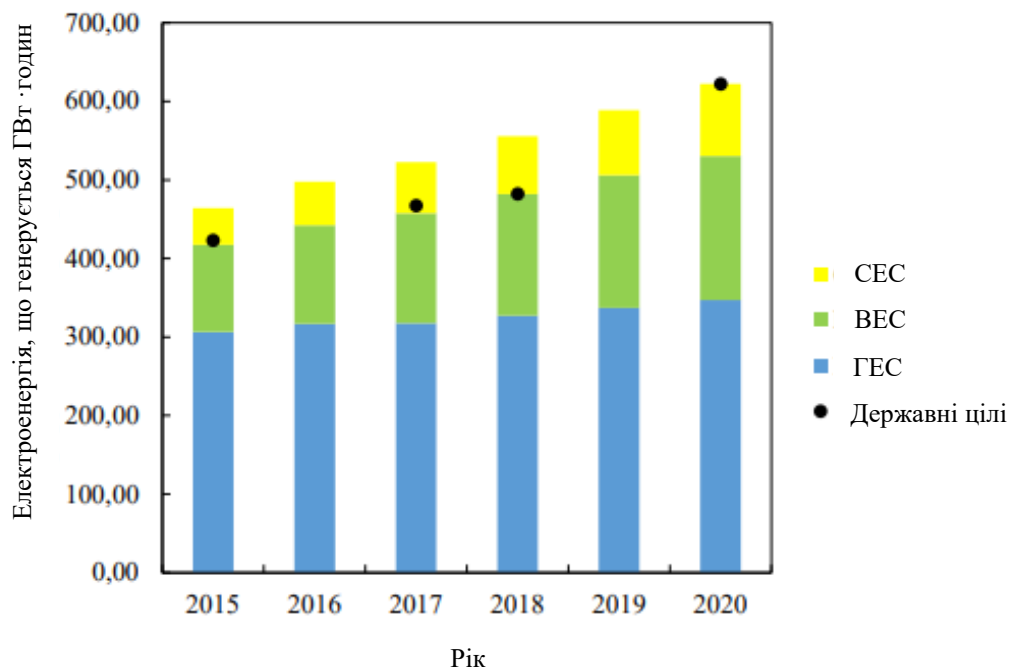


Рисунок 1.12 – Прогнозована генерація електроенергії від ВДЕ [14]

На рисунку 1.14, за реалізованими п'ятирічними планами, відбивається сильний зростання як встановленої вітрової, так і сонячної потужностей, що генерують, що підтримують прогнозовану тенденцію у використанні ВДЕ у Китаї.

Встановлена сонячна потужність збільшиться з 3 ГВт у 2012 році до 184 ГВт у 2040 році, а потужність вітрової енергії збільшиться з 61 ГВт у 2012 році до 350 ГВт у 2040 році.

Можна зробити висновок, що у Китаї розвиток розподіленої генерації може ефективно пом'якшувати поточні проблеми енергопостачання та навколишнього середовища, де Китай має потенційно широкий ринок з безліччю нових енергетичних та відновлюваних джерел енергії. Є багато переваг, якщо розвивати розподілене покоління в Китаї, що сприятиме розробці відповідної політики для заохочення та популяризації використання технології розподіленої енергетики: розподілена енергія вітру, розподілена фотоелектрична, мала гідроенергетика, вироблення енергії біомаси, малі газові станції тощо [17].

Електромережі розподіленої фотоелектричної системи в Китаї знаходиться на початковій стадії розвитку. Стандарти розподіленої енергетики нечисленні, існуючі документи, що відкривають доступ до потужності від ФЕП переважно мають [16]:

1. GB/T 19939–2005 «System technology requirements of PV on-grid».
2. GB/T 20046–2006 «PV system grid interface characteristics».
3. SJ/T 11127–1997 «Voltage protection guide for PV power system».
4. «National grid company technology regulations of PV power station grid access».
5. Q/GDW 617–2011 «PV power plants connected to the grid technology requirements».
6. «Technology codes for the remote monitoring of distributed PV».

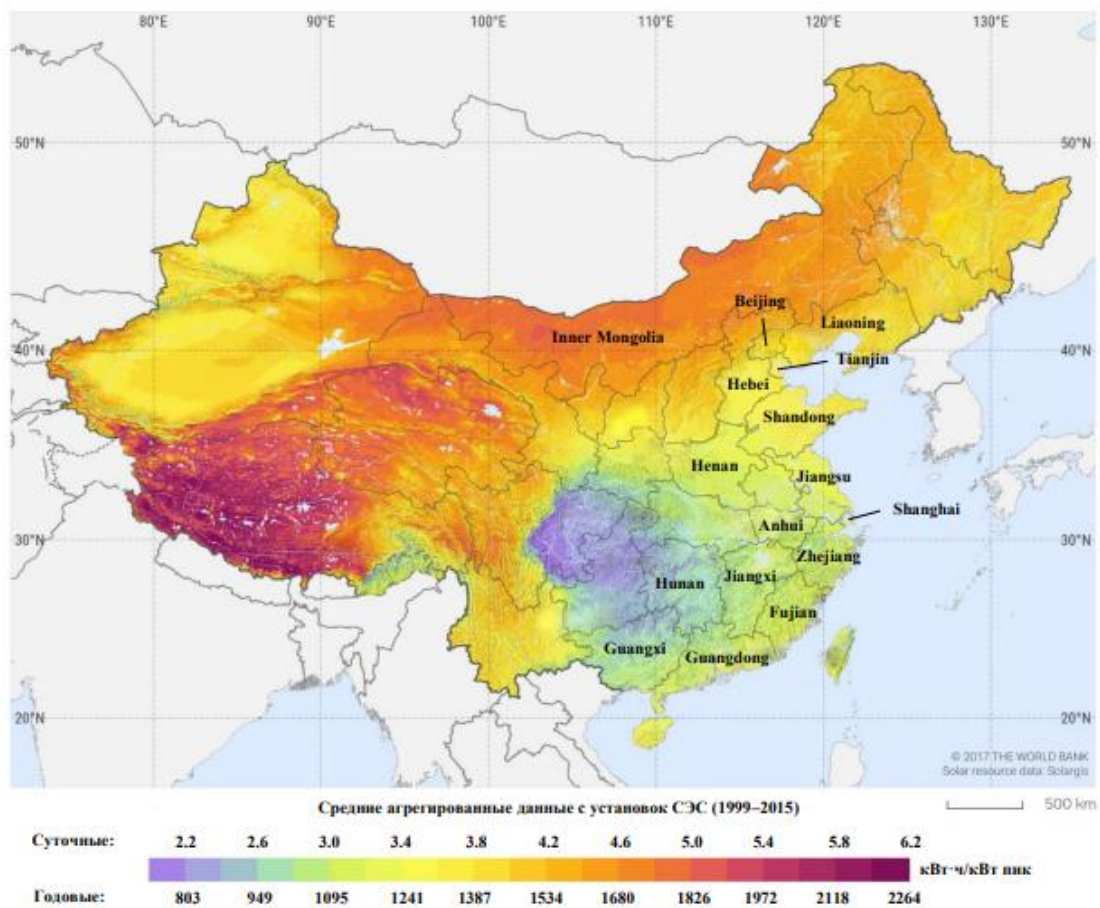


Рисунок 1.13 – Фотоелектричний потенціал потужності у Китаї [17, 18]

Як видно з рисунку 1.14, продуктивність розподілених ФЕС систем з 2010 до 2014 року збільшилася. Необхідно відзначити, що частка розподілених ФЕС у загальній сумарній ємності СЕС становила 35,4%, 15,2% та 16,7% відповідно у 2012, 2013 та 2014 роках, але нижче за очікувані. У 2014 році кількість нових розподілених фотоелектричних установок була лише 2,1 ГВт, що значно відстає від цільового показника 8 ГВт, встановленого урядом на початку 2014 [12]. Найбільш ефективними провінціями з погляду сукупного розподілу установки є Чжецзян, Цзянсу та Шаньдун (див. рисунок 1.13 та таблицю 1.1), які мають приблизно 73% загальної потужності СЕС по всій країні.

Таблиця 1.1 - Оперована та нова встановлена потужності розподілених ФЕС систем за 2014 рік [16]

Провінція	Потужність, МВт	
	Та, що оперується	Нова
Цзянсу	850	570
Чжэцзян	700	270
Шаньдун, Аньхой	380	180
Гуандун	500	200
Цзянси	260	150

Розвиток Китаєм розподілених систем ФЕС забезпечує корисний досвід і для інших країн, які також сприяють розподіленій політиці ФЕМ. Наприклад, іноземні акціонери та інвестори ФЕС-проектів повинні Найактивніше брати участь у розробці політики РГ. У них є відповідні дані щодо ситуації з РГ, на відміну від директивних органів щодо витрат та реалізації проектів. Контексту кожної окремої країни слід приділяти особливу увагу. У Китаї з державними субсидіями внутрішня норма прибутковості ВНД (Internal Rate of Return) проекту РГ теоретично приваблива 102% при інфляції 3% [19]. Однак, враховуючи всі перешкоди, такі як проблема володіння будинком для установок ФЕС на даху, ВНД розподілених проектів ФЕС може бути меншим привабливішим, ніж очікувалося для інвесторів [20].

Розподілена генерація в Україні

Використання екологічно чистих відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) для задоволення енергетичних потреб населення та промисловості є надзвичайно важливим для України, що в першу чергу пов'язано із енергодефіцитністю у галузі існуючої енергетичної системи та незадовільним станом оточуючого середовища. Рішенням Ради національної безпеки і оборони України від 9 грудня 2005 року «Про стан енергетичної безпеки України та основні засади державної політики у сфері її забезпечення», введеним в дію Указом Президента України №1863, одним із пріоритетних завдань державної політики у сфері забезпечення енергетичної безпеки

України визначено використання нетрадиційних та відновлюваних джерел енергії [21].

У світі активно вживають заходів для зниження забруднення довкілля, головним чином через скорочення викидів парникових газів. Нова угода в межах Рамкової конвенції ООН про зміну клімату (UNFCCC), яка передбачає зниження викидів вуглекислого газу з 2020 року, була підписана 12 грудня 2015 року в Парижі. Вона спрямована на обмеження підвищення температури до 1,5 °C порівняно з доіндустріальним рівнем. На відміну від Кіотського протоколу, Паризька кліматична угода покладає відповідальність за скорочення шкідливих викидів на всі країни, незалежно від рівня їх економічного розвитку. Досягнення цих цілей планується завдяки субсидіям для країн, що розвиваються, впровадженню низьковуглецевих технологій відновлюваної енергетики та скороченню використання викопного палива.

Цілі України, як одного із учасників цієї угоди – це скорочення викидів вуглекислого газу на 25 % до 2020 року, на 40 % до 2030 року, також запропоновано амбітну ціль до 2050 року – 70 %. Стратегією розвитку світової енергетики визначено, що у 2020 р. 20 % електроенергії буде вироблятись за рахунок використання ВДЕ та альтернативних видів палива (АВП), у 2040 р. – 50 %, а наприкінці ХХІ століття частка електроенергії, виробленої з ВДЕ та АВП може перевищити 85 %. До 2050 року планується довести частку ВДЕ та АВП в загальному паливно-енергетичному балансі Євросоюзу до 50 % [21].

Енергетична стратегія України до 2035 року передбачає підвищення частки відновлюваної енергії до 25 % у загальному енергетичному балансі країни, зменшення залежності від імпортованих енергоресурсів з 51 % у 2015 році до 33 % у 2035 році, а також повну інтеграцію з енергетичною системою Європейського Союзу.

Враховуючи високу середню швидкість вітру, значний обсяг сонячної енергії та зростаючу кількість сільськогосподарських відходів, сектор відновлюваних джерел енергії України має значний потенціал до швидкого зростання. До повномасштабного вторгнення частка відновлюваної

енергетики становила 8,1% в загальній енергосистемі. У 2019 році Україна входила до десятки провідних країн світу за темпами розвитку відновлювальної енергетики та займала 6-те місце за інвестиційною привабливістю у сфері «зеленої» енергії. Протягом останніх 10 років у відновлювану енергетику було залучено понад 12 млрд доларів США [24].

У 2023 році частка відновлюваних джерел енергії у структурі виробництва електроенергії України, включаючи великі гідроелектростанції, досягла 22%, в той час, як в Європі цей показник становить 42% [24].



Рисунок 1.14 – Розподіл джерел електроенергії в Україні та в Європі на 2023 рік [24]

До початку повномасштабної вторгнення встановлені потужності ВДЕ в Україні становили 9,9 ГВт, з яких 2 ГВт припадали на вітрову енергетику, 6 ГВт на сонячну, та 0,2 ГВт на біомасу. На початок 2024 року потужності відновлюваної енергетики складали 8,7 ГВт. Попри виклики війни, за 2023 рік енергетики ДТЕК Мережі під'єднали до системи понад 1400 нових об'єктів ВДЕ. Було введено в експлуатацію 182,3 МВт вітрових і близько 500 МВт сонячних електростанцій. Інвестиції в енергетичну інфраструктуру України, зокрема у відновлювані джерела енергії, були значними. У 2023 році український бізнес інвестував у сонячну енергетику близько 150 млн доларів США [24].

Сонячна енергетика

Сонячна енергетика в Україні перебуває на етапі розвитку, але має значний потенціал. Щорічний рівень сонячного випромінювання в Україні перевищує показники Німеччини, яка є одним із світових лідерів у цій галузі. З 2018 по 2020 роки потужності сонячної генерації в країні зросли майже в п'ятеро. Станом на 2024 рік, сонячні електростанції забезпечують приблизно 75% виробництва відновлюваної енергії в Україні (без урахування великих ГЕС). На цей час у країні працює близько 1400 сонячних електростанцій різної потужності, які належать 931 ліцензіату, відповідно до даних реєстру НКРЕКП станом на 24 квітня 2024 року.

Інсоляція в Україні коливається від 1100 до 1500 кВт год/м², що дозволяє розміщувати сонячні електростанції по всій території країни. Найбільш сприятливими для їх експлуатації є південні області. Приблизно половина всіх сонячних електростанцій сконцентрована в шести регіонах: Івано-Франківській, Дніпропетровській, Вінницькій, Хмельницькій, Київській та Миколаївській областях. Найменша кількість станцій розташована в Луганській, Донецькій, Сумській та Полтавській областях. Протягом двох років війни було зруйновано або пошкоджено близько 13% промислових сонячних електростанцій, і ці потужності потрібно якнайшвидше відновити.

Вітрова енергетика

Північно-східні регіони України мають найбільший потенціал для розміщення вітрових електростанцій, оскільки середня швидкість вітру там перевищує 7 м/с. До початку повномасштабного вторгнення в країні працювали 34 вітрові електростанції з 699 турбінами, які виробляли електроенергію із середньою потужністю 3,5 МВт. У 2023 році найзначнішою новою електростанцією стала Тилігульська ВЕС, збудована ДТЕК у Миколаївській області, з генерувальною потужністю 78 МВт. На жаль, близько 80% вітрової генерації було окуповано або пошкоджено, що створює складнощі, але водночас відкриває можливості для інвестицій у відновлення та розвиток вітроенергетики в Україні.

Біоенергетика

Аграрний сектор, один із найбільших в економіці України, створює дедалі більше сільськогосподарських відходів, які є ключовим ресурсом для виробництва електроенергії на основі біомаси. Урядова політика активно спрямована на розвиток цього сектора відновлюваної енергетики, адже витрати на оплату праці та сировини є одними з найнижчих у Європі. Структура біоенергетики України розподіляється наступним чином [24]:

- 70% — тверда біомаса;
- 15% — біогаз;
- 15% — рідкі біопалива.

Виробничий потенціал біомаси в Україні становить близько 34 млн тонн на рік із 94 млн тон сільськогосподарських відходів. Основними видами сировини є солома зернових культур, залишки від переробки соняшнику та кукурудзи. Розвиток біоенергетики не тільки сприяє зменшенню залежності від традиційного викопного палива та скороченню викидів парникових газів, але й створює нові робочі місця в сільській місцевості. Інвестиції в біоенергетику підтримують економічне зростання, сприяють енергонезалежності країни та підвищують ефективність використання аграрних ресурсів.

Гідроенергетика

Гідроенергетичний сектор України зазнав значних збитків через військову агресію, загальна сума яких становить близько 3 млрд доларів США. Близько 45% гідроенергетичних потужностей було знищено. У 2023 році було знищено Каховську ГЕС, також було пошкоджено Канівську ГЕС та станції Дніпро ГЕС. Атаки на гідроелектростанції призвели до втрати близько 2500 МВт потужностей [24].

В Україні працюють 10 великих гідроелектростанцій компанії «Укргідроенерго», 3 гідроакумуючі електростанції (ГАЕС) та близько 50 малих ГЕС, що генерують до 200 млн кВт-год електроенергії. Більшість із них належать місцевим громадам або приватним власникам. Основні

гідроенергетичні потужності розташовані на річках Дніпро та Дністер, але можливості для будівництва нових станцій існують у всіх регіонах з річками, включаючи Карпати, де річки можуть значно підвищити енергозабезпечення західних областей. Україна має 1540 км берегової лінії Чорного моря та 1472 км – Азовського моря, що відкриває перспективи для видобутку енергії з хвиль після звільнення прибережних зон.

Розвиток гідроенергетики може бути посилений завдяки інвестиціям у відновлення зруйнованих і пошкоджених станцій, а також будівництву нових об'єктів, що сприятиме підвищенню енергетичної безпеки та забезпеченню стабільного постачання електроенергії по всій країні.

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 1:

Потенціал розвитку розподіленої енергетики в Україні: Україна має значні можливості для розвитку розподіленої енергетики завдяки доступу до різноманітних відновлюваних джерел, таких як сонячна, вітрова, гідроенергія та біомаса. Це сприяє диверсифікації енергетичних ресурсів і підвищенню енергетичної безпеки країни.

Роль у зменшенні імпортозалежності включає активне використання розподіленої енергетики може зменшити залежність від імпортних викопних палив, що особливо важливо в умовах політичної та економічної нестабільності. Розвиток локальних енергетичних потужностей сприятиме більшій автономії регіонів.

Переваги для сталого розвитку та екології - розподілена енергетика відіграє важливу роль у зниженні викидів парникових газів і покращенні екологічної ситуації. Використання відновлюваних джерел енергії допомагає зменшити негативний вплив на довкілля, сприяючи досягненню цілей сталого розвитку.

Можливості для економічного зростання та створення робочих місць - розвиток розподіленої енергетики стимулює місцеву економіку, створюючи нові робочі місця, особливо в сільських і віддалених районах. Інвестиції в цю галузь сприяють розвитку інфраструктури і підвищують якість життя населення.

Технічні та регуляторні виклики - попри значний потенціал, впровадження розподіленої енергетики стикається з певними труднощами, такими як технічна інтеграція в загальну енергосистему, потреба в оновленні мереж та необхідність адаптації законодавства для підтримки децентралізованих джерел енергії.

Інвестиційні перспективи - для подальшого розвитку розподіленої енергетики потрібні значні інвестиції в модернізацію інфраструктури, створення нових об'єктів і відновлення пошкоджених потужностей. Важливу

роль у цьому можуть відігравати міжнародні партнери та фінансові організації.

Розподілена енергетика є перспективним напрямом для України, який може стати основою для сталого розвитку енергетичного сектору та підвищення енергонезалежності країни.

РОЗДІЛ 2. МАТЕМАТИЧНИЙ ОПИС МОДЕЛІ З ВИКОРИСТАННЯМ MATLAB

У цьому розділі наводиться загальний опис розподілу моделювання сонячної генерації з використанням Simulink у MatLab, поведінка фотоелементів при різних параметрах, таких як рівні сонячної радіації за сезон та температура навколишнього середовища. Більше того, у цьому розділі основна увага приділяється математичному опису сонячної радіації, нерівномірним змінам у споживанні сільського поселення за сезон та моделювання дизель-генератора.

2.1. Блок дизельної електростанції

Велику частину децентралізованої енергетики можуть становити ДЕС, які відповідають великій кількості жорстких вимог, що пред'являються до АСЕС. Широкий вибір ДЕС представлений на енергетичному ринку як вітчизняними, і зарубіжними виробниками.

Дизель-генератори широко застосовуються в гірничодобувній промисловості по всьому світу, забезпечуючи понад 70% необхідної енергопотужності для роботи важкого обладнання, такого як землерийні машини, бурильні установки, конвеєри та крани. Незалежно від того, йдеться про видобуток газу, вугілля, заліза чи дорогоцінних металів, дизельні генератори залишаються пріоритетним вибором завдяки своїй портативності та здатності ефективно працювати в віддалених і складних умовах видобутку.

Широкомасштабне застосування дизельних електростанцій пояснюється великою кількістю їх незаперечних переваг перед іншими способами електропостачання споживача:

- ✓ Відносно високий коефіцієнт корисної дії (ККД) до 35–40%.
- ✓ Швидкість запуску дизель-агрегату від одиниць до десятків секунд (залежно від номінальної потужності) та, відповідно, висока маневреність.
- ✓ Наявність автоматизованого технологічного процесу, що визначає можливість тривалого оперування без технічного обслуговування.

- ✓ Невелика питома витрата води або повітря для охолодження двигунів.
- ✓ Мінімальність та простота допоміжних систем технологічного процесу, що дозволяють обходитися малою кількістю обслуговуючого персоналу.
- ✓ Мала потреба у будівельних обсягах (до 1,5–2 м³/кВт), швидкоплинність будівництва споруд станції та монтажу основного генеруючого обладнання.
- ✓ Можливість блочно-модульного виконання ДЕС, що зводить до мінімуму будівельні роботи у місці встановлення.

Оснoву ДЕС складає дизельний двигун, що має ряд переваг у порівнянні з іншими типами двигунів внутрішнього згоряння: менша вартість та витрата палива, більший моторесурс, висока надійність, менш жорсткі вимоги до якості палива, відносно висока пожежна безпека. Для забезпечення стабільних вихідних електричних характеристик електроенергії, що виробляється, ДЕС містять у своєму складі автоматичну систему управління. Типову структурну схему загальнопромислової ДЕС представлено на рисунку 2.1.

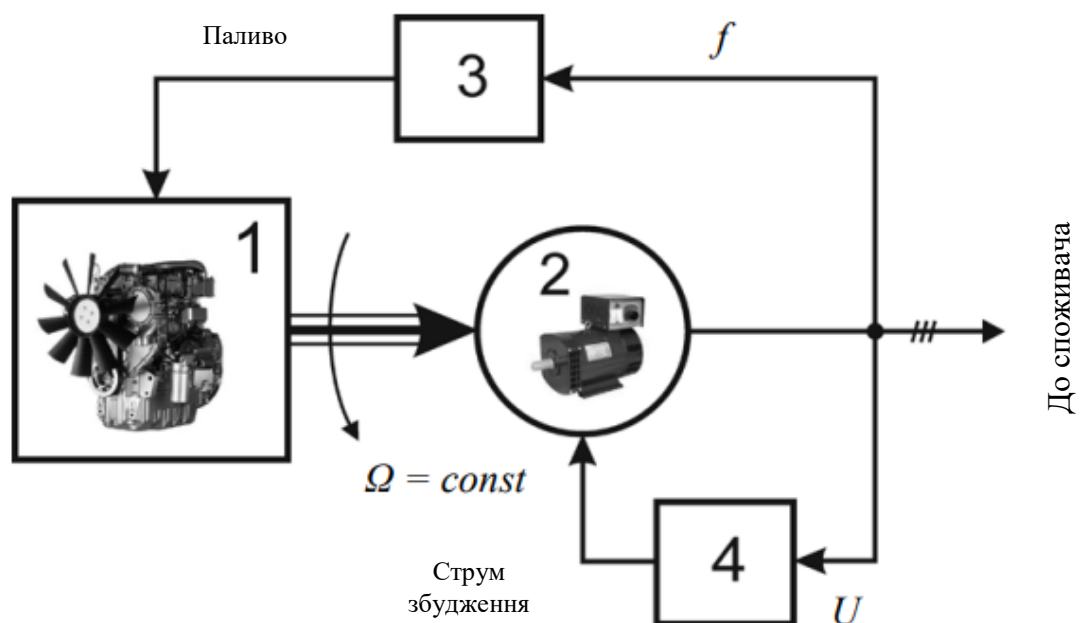


Рисунок 2.1 – Типова структурна схема ДЕС

1 – дизельний двигун; 2 – синхронний генератор; 3 – регулятор частоти обертання дизеля; 4 – регулятор вихідної напруги. У типовій класичній схемі ДЕС представлені дві системи автоматичного керування: система автоматичного керування частотою обертання дизеля (частотою вихідної напруги) та система автоматичного керування напругою на виході генератора. Призначення першої автоматичної системи – стабілізація частоти обертання дизеля, призначення другої – стабілізація напруги генератора. З огляду на описаний принцип роботи ДЕС, для математичного опису було прийнято рішення еквівалентувати ДЕС з регулюванням збудження синхронного генератора керованим джерелом напруги електрорушійної сили (ЕРС).

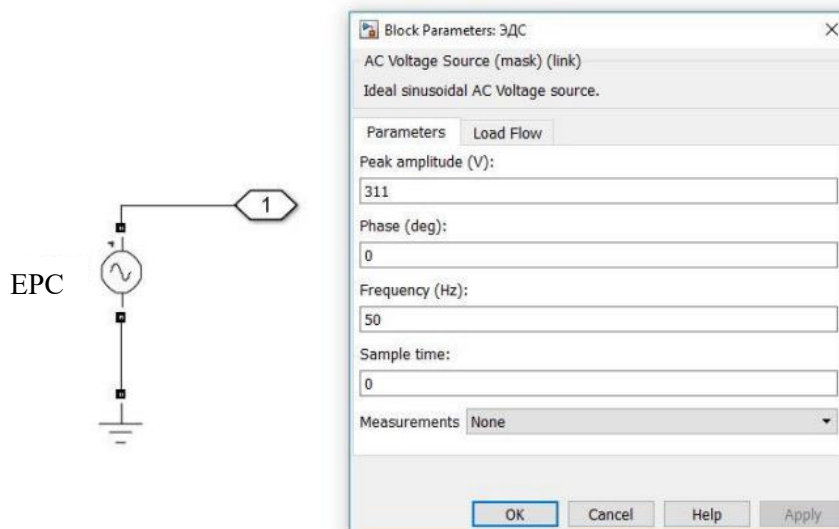


Рисунок 2.2 – Еквівалентований джерело керованої напруги ЕРС

Рисунок 2.2 демонструє параметри блоку ДЕС через керований джерело напруги ЕРС, де для поставлених умов математичного моделювання було обрано мережу напругою 0,4 кВ децентралізованого району. Амплітудна напруга матиме значення 311 В при промислової частоти 50 Гц в однофазному виконанні.

2.2. Блок сонячної електростанції

Принципово СЕС можуть бути двох типів: термодинамічні та фотоелектричні. Фотоелектричні станції використовують ефект прямого перетворення сонячного випромінювання на електроенергію, відкритий у 1839 році французьким фізиком Беккерелем. Пристрої, що перетворюють сонячну радіацію на електричний струм, називаються фотоелементами або сонячними елементами. Вони є джерелами ЕРС. Сонячні елементи генерують електричний струм у прямій залежності від добових, сезонних та випадкових змін опроміненості. Ефективність перетворення сонячної енергії залежить не тільки від ККД фотоелемента, а й від узгодженості динамічного навантаження у зовнішньому ланцюзі.

Фотоелементи в більшості випадків є кремнієвими напівпровідникові фотодіоди. При поглинанні напівпровідникового світла структурою енергія фотонів передається електронам матеріалу, що викликає появу вільних носіїв заряду. Носії заряду створюють потенційний градієнт в області р-n переходу, під впливом якого виникає електричний струм через електроприймачі. Типова величина різниці потенціалів – 0,5 В, щільність фотоструму – 200 А/м² при питомій потужності сонячного випромінювання 1 кВт/м².

Основна сфера застосування сонячних батарей зв'язується з освітлювальними системами, системами водопостачання, віддаленими станціями радіозв'язку, маяками, дорожніми знаками та космічними апаратами. Батарея сонячних елементів зазвичай є комбінацією з'єднаних паралельно модулів. Сонячна комірка, описана вище, – основний стандартний блок фотоелектричної системи. Як правило, розмір такого осередку - кілька квадратних міліметрів, а потужність, що знімається, - близько 1 Вт. Для отримання більшої потужності кілька таких осередків пов'язують у послідовно-паралельні схеми та розміщують на панелі (модулі) розміром кілька квадратних дециметрів. Сонячні панелі або батареї являють собою групи з декількох модулів, електрично пов'язаних у послідовно-паралельні комбінації для отримання необхідної потужності та напруги



Рисунок 2.3 – Зовнішній вигляд монокристалічного сонячного осередку

В даний час розвиток технологій та науки відбувається дуже швидко. На ринку існує три основні типи сонячних панелей: монокристалічна, полікристалічна та тонкоплівкова технологія. Глибокий техніко-економічний аналіз всіх типів наведено у таблиці В1. Для процесу моделювання ми вибираємо монокристалічні сонячні панелі, оскільки ці панелі використовують у поточних проектах. Крім того, монокристалічна конструкція має такі переваги:

1. Монокристалічні панелі мають найвищі показники ефективності. ККД монокристалічних сонячних панелей зазвичай становлять 15-20%. Сьогодні SunPower виготовляє сонячні панелі з найвищою ефективністю на ринку США. Серія-Х забезпечує ефективність перетворення панелей до 22,2% [25].

2. Монокристалічні кремнієві сонячні панелі є економічно ефективними. Бо ці сонячні панелі забезпечують найвищі вихідні потужності, вони також вимагають найменшої кількості простору проти будь-якими іншими типами. Монокристалічні сонячні батареї виробляють у чотири рази більше електроенергії в порівняно з тонкоплівковими панелями.

3. Монокристалічні сонячні панелі служать найдовше. Більшість виробників сонячних батарей надають 25 років гарантії на монокристалічні сонячні батареї.

4. Вони мають тенденцію працювати ефективніше, ніж аналогічні номінальні полікристалічні сонячні панелі в умовах низької освітленості.

Для аналізу гібридної роботи СЕС із ДЕС на навантаження створено математична модель у програмі Simulink програми MatLab, показана на рисунку 2.4. Для моделювання перехідних процесів використовувалась бібліотека SimPowerSystems. Модель СЕС створена на основі апроксимованих характеристик фотоелектричного генератора та спрощених математичних функцій, що представлено у вигляді блоку субсистеми Function of solar panel power.

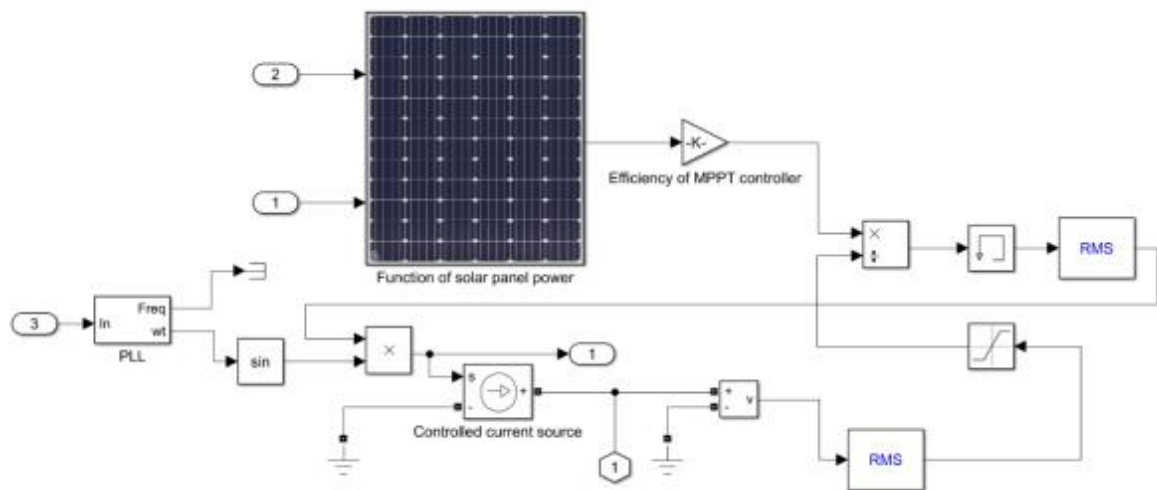


Рисунок 2.4 – Алгоритм роботи сонячної станції у програмі MatLab

ФЕС еквівалентується джерелом струму в блоці Controlled current source, який може підключатися до різних точок мережі. Фотопанелі, що входять до складу СЕС, передають потужність струму, що генерується, через мережевий інвертор. Сучасні інвертори з функціями відстеження максимальної точки Maximum Power Point Tracking (ТММ) за своїми вихідними характеристиками також можуть замінюватися джерелом струму блоку «Controlled current source». Вплив сонячного контролера враховано у блоці «Efficiency of MPPT controller». Спільна паралельна робота двох джерел струму ДЕС та СЕС забезпечується за рахунок блоку фазового автопідстроювання частоти або ФАПЧ (Phase Lock Loop) «PLL». Це система автоматичного регулювання, що

підлаштовує фазу керованого джерела струму (СЕС) так, щоб вона була дорівнює фазі опорного сигналу (ДЕС). Регулювання здійснюється завдяки наявності негативного зворотного зв'язку.

Головними факторами, що впливають на електричне виконання сонячних панелей, є:

1. Інтенсивність сонячного проміння.
2. Кут падіння сонячних променів.
3. Розмір навантаження.
4. Робоча температура.

Для висунутих умов моделювання в даній роботі було прийнято рішення спрощення та апроксимування функції роботи сонячної панелі.

Фактори, що описані вище, матимуть такий вигляд:

Інтенсивність сонячного проміння. Величина світлового потоку максимальна у ясний сонячний день. За наявності невеликої хмарності світловий потік зменшується прямо пропорційно зменшенню інтенсивності сонячного випромінювання. Вольт-амперна характеристика зсувається вниз за зниження інтенсивності сонячного випромінювання (рисунок 2.5)

Вплив температури на вихідні параметри сонячного модуля. З зростанням температури струм короткого замикання збільшується, а напруга холостого ходу зменшується. Доведено, що підвищення робочої температури осередки на 1°C призводить до зниження потужності, що видається, на 0,45%. Бо збільшення струму набагато менше зменшення напруги, при великих температурах осередок генерує меншу потужність. Енергетична Характеристика комірки для двох різних температур показано рисунку 2.5.

Як видно, доступна потужність на виході за більш низької температури більше. Таким чином, нижча температура вигідніша для роботи фотоелектричного осередку.

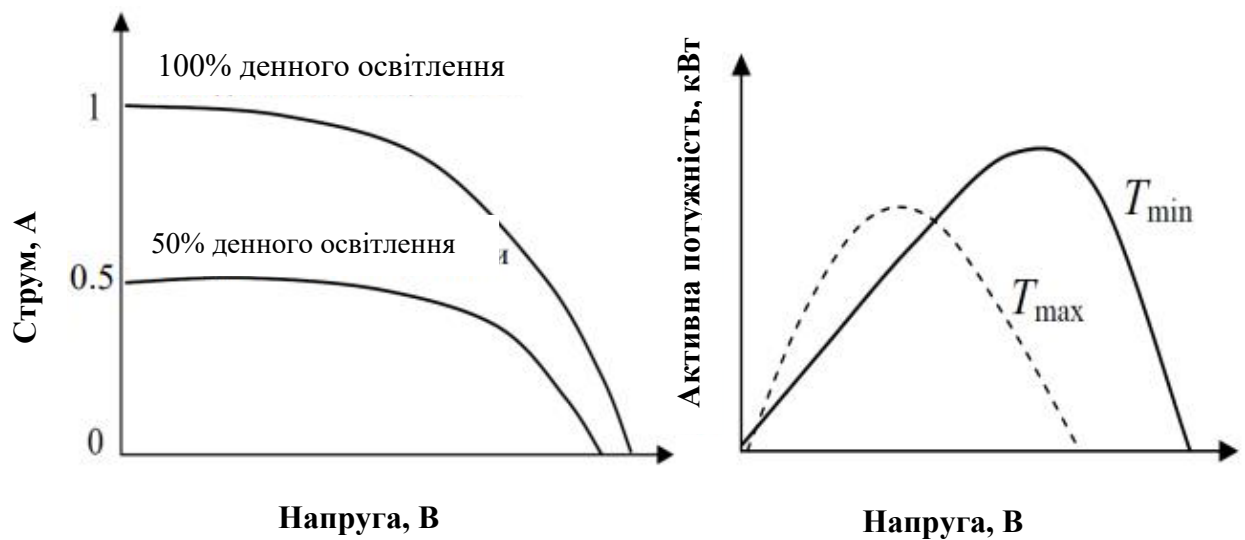


Рисунок 2.5 – Вольт-амперна характеристика (ліворуч) та вплив температури (праворуч) на вихідні параметри сонячного елемента

Таким чином, блок-субсистема «Function of solar panel power» описує аналітичний вираз впливу температури навколишнього середовища і величини інтенсивності сонячного випромінювання, при розташуванні фотопанелі перпендикулярно променям, що падають.

Рівняння функції генерації потужності від сонячної панелі за двома вхідними параметрами температури навколишнього середовища та інтенсивності сонячного випромінювання представлена нижче.

$$P_{sp} = \frac{C_f \cdot N_{sp} \cdot G \cdot \ln(10^6 \cdot G)}{T_{sp}} \quad (2.1.)$$

де N_{sp} – кількість сонячних панелей;

C_f – постійний коефіцієнт параметрів в панелі сонячних батарей;

G – поточний рівень сонячної інсоляції, Вт/м²;

T_{sp} – поточна температура сонячної панелі.

Блок сонячної радіації та температури навколишнього середовища Сонячна радіація є невичерпним, потужним та екологічно чистим джерелом енергії. У багатьох країнах світу використання сонячної радіації для

господарських потреб набуває все більшого розмаху, інтересу до цієї проблемі постійно зростає як з боку потенційних споживачів сонячної енергії, і з боку науково-дослідних організацій.

Незважаючи на всю привабливість сонячної радіації як джерела енергії, її використання для суспільних потреб на деякій частині території країни обмежено кліматичними особливостями та низьким рівнем інсоляції. При цьому основними стримуючими факторами є порівняно невелика кількість жарких та сонячних днів на рік, і навіть нестабільність надходження теплоти протягом дня.

Величина первинної сонячної енергії, яка доступна для перетворення ФЕС, визначається інтенсивністю сумарного сонячного випромінювання в місці її встановлення, і залежить від географічних координат розташування ФЕС, просторової орієнтації сонячної панелі, а також від зовнішніх метеорологічних факторів: температури повітря, рівня хмарності, коефіцієнта відбиття земної поверхні.

Більшість метеорологічних факторів мають стохастичну природу. В даний час при проектуванні ФЕС переважне поширення набули імовірнісні (статистичні) методи розрахунку радіаційних характеристик, які використовують як вихідних даних спеціальні кліматичні довідники або електронні бази, складені за результатами багаторічних метеорологічних спостережень.

В основу розрахунку даної роботи покладено методику, що дозволяє визначити погодинний надходження сонячної радіації на похилу площину запропонованої Лю та Джорданом. При обчисленні сонячної радіації, що надходить на якусь похилу площину, приймають у увагу три складові радіаційного балансу

$$Q_{\text{нахил}} = S_{\text{нахил}} + D_{\text{нахил}} + R_{\text{нахил}} \quad (2.2.)$$

де $Q_{\text{нахил}}$ – сумарна сонячна радіація, яка падає на нахилену поверхню, Вт/м²;

$S_{\text{нахил}}$ – пряме сонячне випромінювання, яка падає на нахилену поверхню, Вт/м²;

$D_{\text{нахил}}$ - розсіяна сонячна енергія, що падає на похилу поверхню, Вт/м²;

$R_{\text{нахил}}$ - випромінювання, відбите від Землі, Вт/м² (значенням можна знехтувати).

Значення $S_{\text{нахил}}$ знаходять залежно від:

$$S_{\text{нахил}} = S_{\text{опт}} \cdot \cos\theta \quad (2.3)$$

де $S_{\text{опт}}$ – пряме сонячне випромінювання на ортогональні промені площина, Вт/м².

$$S_{\text{опт}} = \frac{S_0 \cdot \sin\alpha}{\sin\alpha \cdot c} \quad (2.4)$$

де S_0 – сонячна постійна, 1395 Вт/м²;

c – величина, яка характеризує ступінь прозорості атмосфери.

Косинус кута падіння прямого сонячного випромінювання на будь-яку площину в залежності (2.3) визначають наступним чином:

$$\cos\theta = \sin\delta \cdot \sin\varphi \cdot \cos\lambda - \sin\delta \cdot \sin\varphi \cdot \cos\gamma + \cos\delta \cdot \cos\varphi \cdot \cos\lambda \cdot \cos\omega + \cos\delta \cdot \sin\varphi \cdot \sin\lambda \cdot \cos\gamma \cdot \cos\omega + \cos\delta \cdot \sin\lambda \cdot \sin\gamma \cdot \sin\omega \quad (2.5)$$

де φ - географічна широта місцевості, рад;

δ - відмінювання Сонця, рад;

λ - кут нахилу площини до горизонту, рад;

γ - азимутний кут площини, рад;

ω - годинний кут, рад.

$$\delta = 0,41 \cdot \sin(360 \cdot \frac{284+N}{365}) \quad (2.6)$$

де N - порядковий номер дня на рік, що відраховується від 1 січня.

Синус кута α знаходять за формулою:

$$\sin\alpha = \sin\varphi \cdot \sin\delta \cdot \cos\varphi \cdot \cos\delta \cdot \cos\omega \quad (2.7)$$

Розсіяну сонячну радіацію, що надходить на похилий площину визначають за формулою:

$$D_{\text{нахил}} = D_{\text{горинт}} \cdot [0,55 + 4,34 \cdot \cos\theta + 0,313 \cdot (\cos\theta^2)] \quad (2.8)$$

де $D_{\text{горинт}}$ - потік розсіяної сонячної енергії (Вт/м²) на горизонтальну площину визначається за залежністю:

$$D_{\text{горинт}} = \frac{1}{3} \cdot (S_0 - S_{\text{опт}}) \cdot \sin\alpha \quad (2.9)$$

Розсіяна сонячна радіація, відбита від Землі:

$$D_{\text{землі}} = 0,47 \cdot A_{\text{землі}} \cdot (S_{\text{нахил}} - D_{\text{гориз}}) \quad (2.10)$$

де $A_{\text{землі}}$ – альбедо Землі.

Альбедо Землі – інтегральне ставлення у частках одиницю відбитого від Землі по всіх напрямках потоку сонячної енергії до потоку, що впав на поверхню, що відбиває Землі

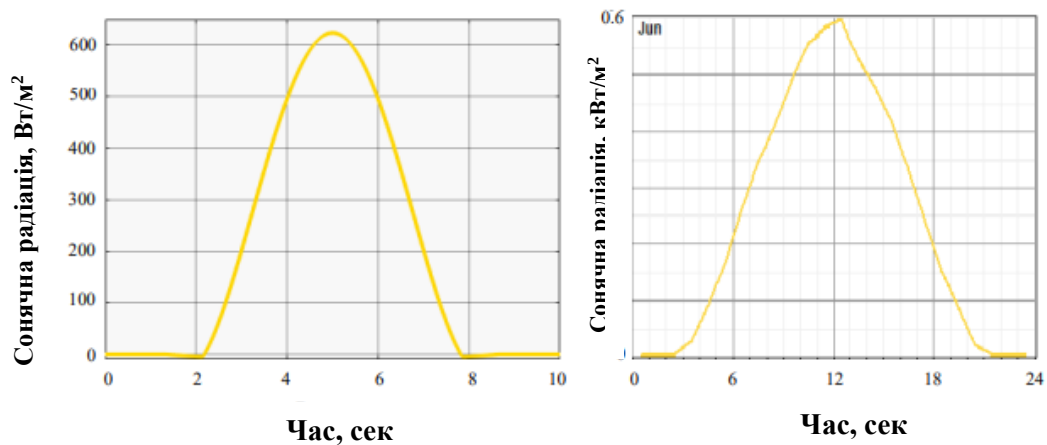


Рисунок 2.6 – Графіки сонячної радіації у червні Homer Energy (праворуч) та побудований блок (ліворуч)

Модель виконана у вигляді підсистеми, що складається з восьми основних функціональних блоків, що забезпечують вирішення системи рівнянь (3)-(11). Створений блок (див. Малюнок 26) дозволяє визначити поточні значення величини сонячної радіації, що приходить, у будь-який день року у випадковому географічному розташування панелі для довільно орієнтованої поверхні. Для оцінки прийнятності створеного блоку на релевантність даних, що модулюються, результати моделювання повинні порівнюватися з програмним забезпеченням, яке вже давно використовується в науково-дослідних і суспільних цілях. І тут це буде Homer Energy.

Необхідно відзначити, що Homer Energy використовує дані спостережень Національного управління з аеронавтики та дослідження космічного простору (NASA), період спостережень яких проводився з 1983 по 2004 року. Як ми можемо помітити, для обраної щоденної величини сонячної радіації у червні, створений блок має приблизно ті самі результати, що й Homer Energy.

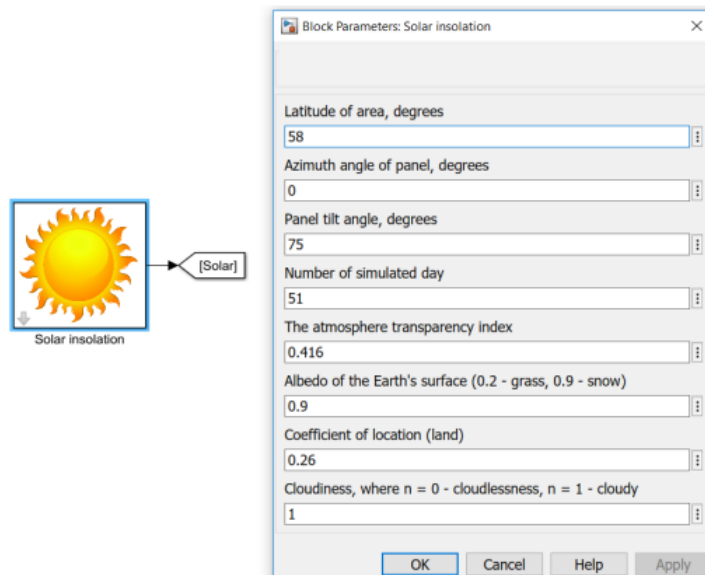


Рисунок 2.7 – Субсистема блоку сонячної радіації в MatLab

Модель дозволяє визначати поточні значення величини сонячної радіації для будь-якого дня року в довільному географічному місці розміщення ФЕП на довільно орієнтовані поверхні.

Домінуюче впливом геть енергетичні характеристики фотоелектричних перетворювачів також надає величина температура довкілля. Для ФЕС, що розташовані у високих північних широтах, зовнішні метеорологічні чинники можуть істотно впливати на продуктивність сонячної батареї та їх бажано враховувати. Найбільш просто визначаються середньомісячні та середньодобові значення температури навколишнього повітря, які є незалежними величинами від параметрів проектованої електроустановки. Вихідними для їх визначення є статистичні дані метеорологічних спостережень, які можна отримати з архівів метеорологічних сайтів та кліматичних довідників.

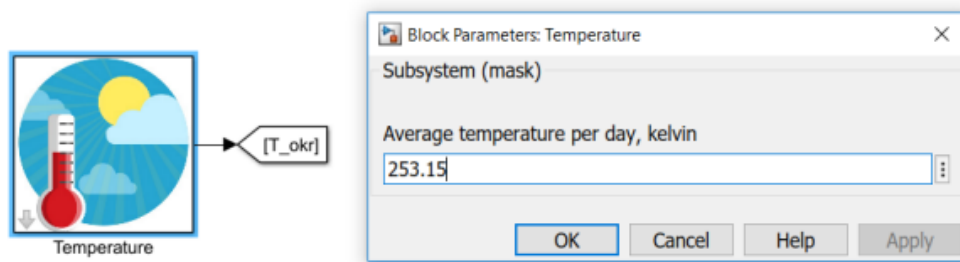


Рисунок 2.8 – Субсистема блоку температури навколишнього середовища
MatLab

Результати моделювання показали, що розроблені блоки працюють із задовільною точністю

2.3. Блок споживачів та ліній електропередавання

Від електричних мереж у сільських районах зазвичай живиться велика кількість різноманітних споживачів електричної енергії, під якими розуміють приймач або групу приймачів електричної енергії, об'єднаних технологічним процесом та розміщених на певній території. Електроприймачем, своєю чергою, називають апарат, агрегат чи механізм, призначений для перетворення електричної енергії на енергію іншого виду.

У віддалених децентралізованих сільських районах знаходять такі споживачі електричної енергії:

- ✓ Житлові будинки робітників та службовців у населених пунктах, фермерські господарства.
- ✓ Об'єкти соціального значення: лікарні, школи, клуби, магазини, дитячі садки тощо.
- ✓ Дрібні підприємства виробництв із переробки природних ресурсів та сільськогосподарської продукції.

Електричне навантаження в децентралізованих об'єктах – величина, що безперервно змінюється: одні споживачі включаються, інші відключаються протягом дня. Потужність, що споживається включеними електроприймачами, також зменшується або збільшується зі зміною завантаження робочих машин, що приводяться в дію. Крім того, з часом

загальне електричне навантаження безперервно збільшується, оскільки тенденція електрифікації сільськогосподарського виробництва та побуту сільського населення постійно зростає.

Для моделювання різних типів електричних навантажень децентралізованих об'єктів сільської місцевості показники величин визначають за нормативними типовими графіками реальних електричних навантажень, дані яких були отримані в ході статистичних спостережень періоду від 5 до 10 років. Для цілей даної роботи зручні добові графіки навантаження за тривалістю. Базовою моделлю електричного навантаження служив типовий графік активного та реактивного навантаження сільських житлових будинків та ін., типовий для автономних споживачів.

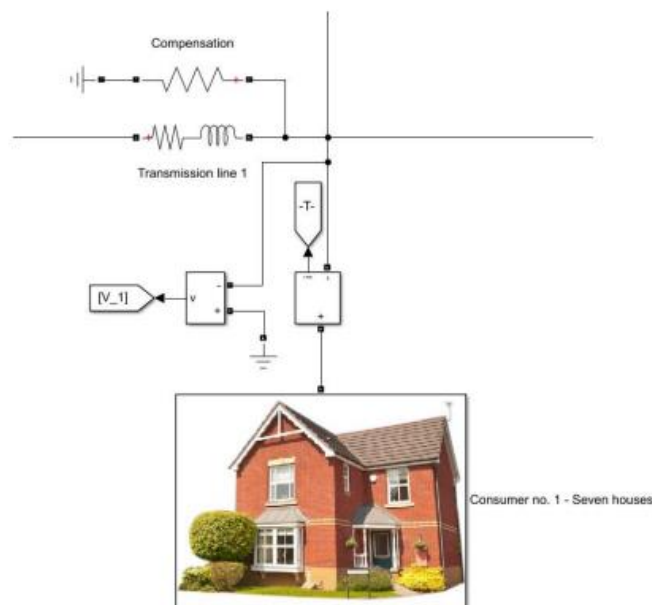


Рисунок 2.9 – Субсистема блоку споживача та лінії електропередачі в MatLab

Модель споживача побудована з урахуванням керованих ключів відповідно до поділом тимчасових інтервалів протягом дня: ранок, день, вечір, ніч з величиною, що комутується, активно-індуктивних опорів ділянок ланцюга.

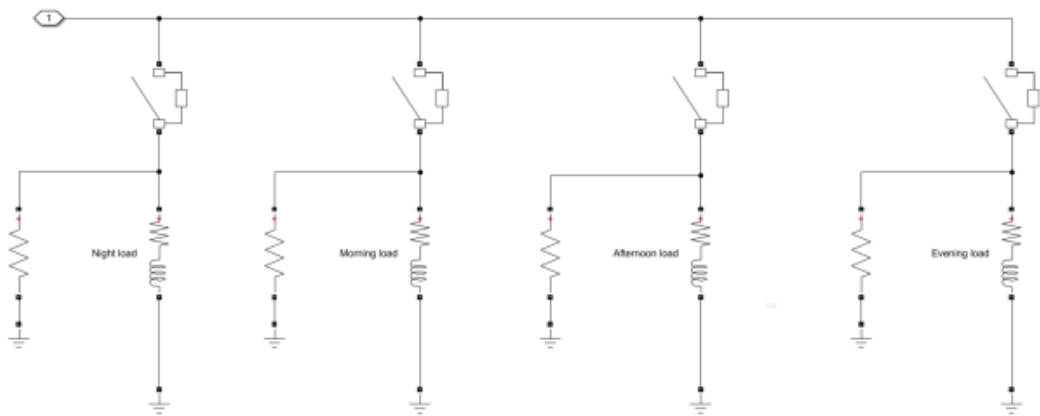


Рисунок 2.10 – Блок комутації добових фаз навантажень у MatLab

Нижче наведено результати розрахунків, агреговані у вигляді добових графіків електричних навантажень, села Харківської області. Це сільське поселення складається з двох груп житлових будинків з різним рівнем споживання електроенергії (перший блок із семи будинків, другий блок із восьми будинків), будівлі початкової школи, магазину та адміністративної будівлі. Градація кольору діаграм навантаження ділить години добових фаз протягом дня споживання електричної енергії, що моделюється.

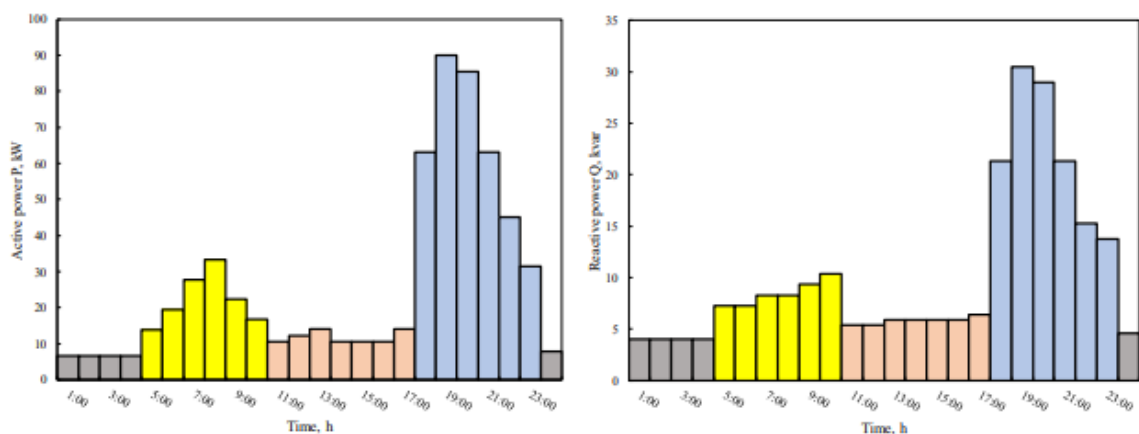


Рисунок 2.11 – Залежність споживання активної та реактивної потужності села за зиму

Як показано на рисунку 2.11, о 19:00 ми можемо спостерігати максимум споживання активної та реактивної потужності в зимовий час. В селі

використовуються дві ДЕС з номінальною потужністю 30 та 60 кВт відповідно. Сірий колір відображає нічне споживання, жовтий – ранковий споживання, персиковий колір – день, а синій – вечірнє.

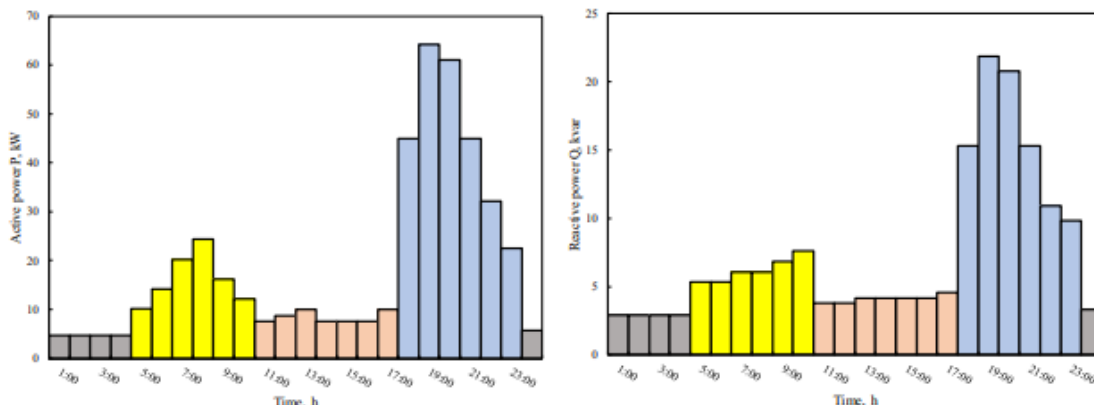


Рисунок 2.12 – Залежність споживання активної та реактивної потужності села за літо

Ця робота фокусує дослідження системи електропостачання для умов літнього сезону, яка є доцільною, оскільки зимова інсоляція в центральній частині (55-58 ° північної широти) в 15 разів менше, ніж влітку. Величина літньої інсоляції визначає створення СЕС, яка буде ефективна виключно влітку. Взимку зі збільшенням споживання енергії та зниженням інсоляції, роль СЕС значно знижується та мало впливає електричний режим системи. Отримані умови сприяють створенню математичної моделі СЕС із розподіленою генерацією ФЕС.

Споживачі підключаються через секції ліній живлення з активно-індуктивними параметрами. Довжина ліній передачі обмежена максимально допустимим відхиленням напруги при навантаженні в кінці лінії щодо номінального значення. У Державному стандарті граничне значення будь-якого відхилення трохи більше 10% . Таким чином, довжина лінії буде залежати від відомих факторів, таких як питомий опір лінії і величина навантаження, що передається. Розрахунок опору п'яти секцій магістральної ЛЕП з напругою 0,4 кВ представлений у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Перетворення опорів ліній електропередавання

Номер секції	Параметри		
	Довжина, м	R , Ом	L , Гн
1	200	0,17	$2,7 \cdot 10^{-4}$
2	10	0,0085	$1,3 \cdot 10^{-5}$
3	10	0,0085	$1,3 \cdot 10^{-5}$
4	25	0,0213	$3,3 \cdot 10^{-5}$
5	50	0,0425	$6,6 \cdot 10^{-5}$

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 2:

Для розділу «Математичний опис моделі з використанням MATLAB» можна зазначити наступне.

Використання MATLAB для побудови математичної моделі дозволяє значно спростити процес розробки й аналізу складних систем. Завдяки вбудованим функціям і бібліотекам можна швидко виконувати обчислення та візуалізувати результати.

MATLAB надає можливість автоматизувати чисельні розрахунки, що суттєво знижує ймовірність помилок у порівнянні з ручними обчисленнями. Це дозволяє отримувати точніші результати та спрощує процес оптимізації моделей.

Платформа дозволяє легко змінювати параметри математичної моделі, що дає можливість досліджувати різні сценарії та проводити численні експерименти для аналізу поведінки системи.

MATLAB пропонує потужні засоби для графічного відображення результатів моделювання, що допомагає краще зрозуміти складні процеси та полегшує інтерпретацію даних. MATLAB підтримує інтеграцію з іншими програмними середовищами та мовами програмування, що розширює його можливості при розв'язанні задач, пов'язаних з аналізом даних та оптимізацією.

Таким чином, використання MATLAB для математичного опису моделей є ефективним інструментом для проведення досліджень і розробки інженерних рішень, забезпечуючи точність, зручність і високу швидкість обробки даних.

РОЗДІЛ 3. ОЦІНКА ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ

3.1. Підвищення якості електричної енергії

3.1.1 Блок-схема СЕС із розподіленою системою ФЕС

Мнемосхема електропостачання СЕС із розподіленою системою ФЕС представлена на рисунку 3.1. ДЕС та ФЕС з'єднані паралельно з подачею на навантаження. Необхідно провести ряд математичних розрахунків для коригування моделі та отримання найточніших результатів з погляду індикаторів електроенергії. Процес моделювання буде поділено на дві групи обчислень:

1. Єдина ФЕС без розподілу по мережі.
2. Розподілене монтажне виконання ФЕС уздовж мережі.

Частка переривчастої електроенергії у загальному енергетичному балансі гібридної системи електропостачання зазвичай становить щонайменше 50%. Навантаження на ДЕС збільшується із зменшенням встановленої потужності установок із відновлюваної енергетики. Збільшення тривалості режимів генерації відновлюваного енергоресурсу, недостатнє для поточного охоплення навантаження визначає доцільність режимів паралельної роботи гібридної силової установки. Важливо помітити, що мережевий інвертор може працювати паралельно лише з досить потужною мережею електропостачання. В АСЕС така енергосистема створюється ДЕС. Провідні виробники сонячних інверторів не рекомендують зменшувати поточну завантаженість ДЕС у гібридних системах менш як до 40–50% щодо потужності повної генерації. Це обмеження ґрунтується на умовах стабільності системи електроживлення.



Рисунок 3.1 – Блок-схема автономно-гібридної системи електроживлення з фотоелектричним джерелом

Гібридна система електропостачання на рисунку 3.2 має наступні переваги: як мережні, і автономні інвертори можуть застосовуватися навіть з мінімальним набором опцій та представлені на ринку ВДЕ у різних варіантах від численних виробників; батареї завжди повністю заряджені та використовуються у буферному режимі лише у випадку збоїв мережі. Така система рекомендується використовувати в системах електропостачання, де електрика споживається переважно під час денного світла, а відключення електромережі є рідкісними та короткими. Ця система має лише один недолік: виробництво сонячної енергії припиняється, коли відбуваються збої мережі.

Вдень мережний інвертор забезпечує живлення для всіх споживачів. Надлишкова енергія відправляється у загальну мережу лише у випадках, коли споживання менше, ніж генерація ФЕС, тоді як енергія сонця також використовується заряду батарей. Ефективність мережевих інверторів становить понад 90%, що забезпечує добрі енергетичні характеристики всієї системи електроживлення.

3.1.2 Регулювання сонячної електростанції

Річне споживання електроенергії, за розрахунковими даними, у децентралізованому селі становить 195,1 МВт·год/рік, де передбачається, що кількість членів сім'ї, які проживають у житлових будинках, становить від двох до п'яти людина. Тому запропонована модель системи живлення має забезпечувати це навантаження вибраним співвідношенням потужності між джерелами.

Для цього випадку моделювання необхідно знати ряд сонячних панелей, які будуть використовуватися для покращення якості рівня напруги, зниження витрат палива та зменшення втрат потужності в лініях передачі. Відповідно до описаного принципу режиму роботи мережевого інвертора, обмежена встановлена потужність ФЕС має становити не менше 50% від основного джерела електроенергії в СЕС. Це обмеження у встановленій потужності має бути взято від основного джерела енергії у селі. Таким чином, встановлена потужність ФЕС становить 40% від 76 кВт ДЕС, де кінцеве значення становить 30,4 кВт.

На основі встановленої потужності ФЕС, ми можемо обчислити ряд необхідних сонячних панелей. Для моделювання було вибрано монокристалічні сонячні панелі TSM-200 [26], які мають такі параметри:

Таблиця 3.1 – Параметри сонячної панелі TSM-200

Параметр	Значення
Номінальна потужність ($P_{\text{ном}}$)	200 Вт
Номінальна напруга ($U_{\text{ном}}$)	24 В
Напруга холостого ходу ($U_{\text{х.х.}}$)	43,2 В
Струм короткого замикання ($I_{\text{к.з.}}$)	6,22 А
Струм точки максимальної потужності ($I_{\text{макс.}}$)	5,56 А
Номінальна температура роботи комірки	-40...+85°C
Розміри	1580x808x40 мм ²
Вага	17, 3 кг
Тип	Монокристалічна

Для цього випадку кількість сонячних панелей буде описуватися рівнянням:

$$N = \frac{P_{\text{СП}}}{P_{\text{СП}}^{\text{ном}}} = \frac{30,4}{0,2} = 152 \quad (3.1)$$

Також необхідно визначити оптимальне значення кута зони прийому сонячної панелі. Для проведення розрахунків краще використовувати відомі математичні програмні пакети, наприклад Simulink в MatLab. Є кілька можливих випадків орієнтації сонячних панелей під час їхньої роботи:

1. Орієнтація за допомогою датчиків та систем стеження. Ці системи перпендикулярні потоку падаючого випромінювання. У цьому випадку параметри відстеження можливі як для двох осей (азимут та нахил), так і для однієї осі (нахилу).

2. Програмні алгоритми обертання сонячних панелей, залежно від розташування сонця за допомогою спеціальних приводів. В цьому випадку варіанти повороту можливі як по двох осях (азимуту та нахил), так і по однієї осі (нахилу).

3. Дискретно-сезонна зміна кута нахилу панелі. У цьому варіанті по азимуту панелі спрямовані на південь.

4. Фіксоване положення панелі як по куту нахилу, так і по азимуту на весь період роботи.

Для моделювання пропонується використати третій варіант. Третій варіант має нижчу енергоефективність, ніж перша чи друга, але легко реалізувати. Він зазвичай використовується на невеликих електростанціях (наприклад, у селах) або коли сонячні панелі інтегровані безпосередньо у структуру будівлі. Слід зазначити, що орієнтація по азимуту на південь не може бути виконана дуже точно (з точністю до кількох градусів). Як показали дослідники, зміна азимуту на 15° знижує надходження сонячної радіації на поверхню на 5%.

Зазвичай сонячні панелі розташовуються під кутом нахилу, що дорівнює широті області з південною орієнтацією. Якщо кількість сонячних панелей дозволяє здійснювати сезонні зміни нахилу з прийнятною робочою силою, слід враховувати цю особливість. Можливість використання ФЕС не тільки прямого сонячного випромінювання, а й дифузного дозволяє використовувати СЕС між 55-58 ° північної широти.

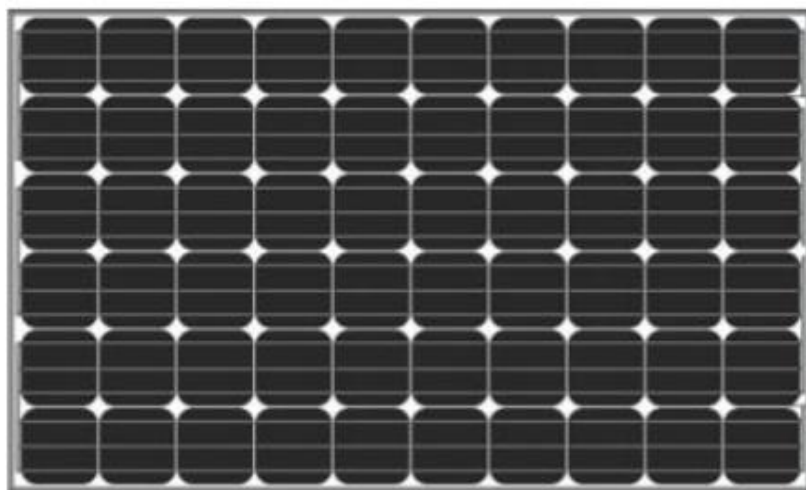


Рисунок 3.3 – Сонячна панель TSM-200 [26]

Таким чином, використовуючи описаний варіант, можна налаштувати кут нахилу приймальної поверхні сонячної панелі протягом типового дня року в середніх умовах хмари для аналізованого сезону. Результати розрахунків оптимального кута нахилу сонячних панелей та азимутальної орієнтації наведено у наступній таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Результати орієнтації сонячних панелей за сезон

Сезон	Кут нахилу	Азимутна орієнтація
Зима	75 ⁰	Південь, 0 ⁰
Весна	30 ⁰	Південь, 0 ⁰
Літо	30 ⁰	Південь, 0 ⁰
Осінь	75 ⁰	Південь, 0 ⁰

3.1.3 Інвертор

Інвертор – це пристрій, який перетворює постійний струм на змінний струм із заданими параметрами (напруга, частота). Крім того, як інтелектуальна система, він контролює роботу всієї енергетичної системи. SMA Solar Technology AG є однією з провідних світових компаній у галузі розробки, виробництва та продажу енергетичного обладнання та пристроїв для будівництва різних систем електропостачання.

Технології SMA, розроблені з використанням найновіших досягнень у галузі електроніки, дозволяють максимально ефективно використовувати автономні, мережеві та резервні енергосистеми на основі як традиційних, так і ВДЕ. Як технологічний лідер, SMA Solar Technology розробляє та виробляє високопродуктивні інвертори потужністю від 2 до 1000 кВт для установок будь-якого розміру, всіх класів потужності та специфікацій. Основною діяльністю SMA є розробка та виробництво інверторів. Інвертор є технічно найважливішим компонентом будь-якої енергосистеми, в якій використовуються генераторні установки постійного струму, такі як сонячна панель, вітрогенератор, ДЕС та інші. SMA пропонує безліч моделей інверторів, які можна розділити на три важливі характеристики: потужність, режим постійного струму та топологія схеми. Використовувана потужність інвертора знаходиться в діапазоні від 1600 Вт до кількох МВт. Номінальна потужність може становити від 3 до 6 кВт для енергетичних систем приватного сектора, від 10 до 20 кВт комерційних установок ФЕС на дахах підприємств або побутових будівель та 500 до 800 кВт для СЕС.

Важливою технічною характеристикою інверторів є метод перемикання постійного струму, який визначає можливі варіанти підключення фотоелектричних установок до інвертора. Ця особливість викликана тим, що у багатьох СЕС сонячний модуль може містити кілька масивів панелей, які мають різне освітлення, різний тип і, відповідно, різні вихідні показники. Для максимального використання сонячної енергії SMA розробила спеціальні багатоканальні інвертори.

Залежно від температури та інтенсивності падаючого випромінювання завжди існує точна кореляція між силою електричного струму та напругою, що дозволяє СЕС генерувати максимальну потужність. Це також називається максимальною точкою живлення. Оскільки температура та інтенсивність падаючого випромінювання постійно змінюються (наприклад, завдяки хмарам), система управління інвертором повинна безперервно контролювати максимальну точку живлення, щоб модулі ФЕС виробляли максимально можливу кількість електричної енергії. Для цього використовується програма MPPT. Багатоканальні інвертори мають два або більше каналів введення, кожен з яких має свій власний трекер. Особливий інтерес має масив сонячних панелей з різними поверхнями, які спрямовані по-різному або частково затінені. Незважаючи на більш високу вихідну потужність, основні інвертори мають лише один трекер для максимального пошуку потужності. Вони особливо підходять для великомасштабної СЕС із однорідним набором сонячних панелей. Відповідно до конкретного алгоритму роботи, у цьому випадку було прийнято рішення використовувати мережевий інвертор. SMA Sunny Mini Central – це сонячний інвертор із високоефективними сонячними перетворювачами енергії з ефективністю до 98%. Цей інвертор ідеально підходить для створення сонячних енергетичних систем середньої потужності (від 15 кВт і більше). Передові технічні рішення, а також найкраще співвідношення ціна-продуктивність дозволяють вбудованим перетворювачам Sunny Mini Central бути ідеальними пристроями для середніх та великих сонячних установок, а невелика градація потужності забезпечує гнучкість конструкції та дозволяє використовувати точну конфігураційну систему. SMA Sunny Mini Central інвертори також чудово підходять для створення автономних енергосистем.

Інвертори Sunny Mini Central у поєднанні з контролером заряду дозволяють створювати автономну мережу змінного струму з батареями, що відповідає найвищим стандартам якості. У системах, заснованих на сонячних Sunny Mini Central інверторах, генератори та споживачі електроенергії

інтегровані в мережу рівною мірою. Системи ФЕС, ВЕС, ДЕС та мікро-ГЕС можуть бути підключені на стороні змінного струму 220 В так само, як і звичайні споживачі.



Рисунок 3.4 – Електрична схема автономної системи електроживлення

Multicluster Box – це компонент багато кластерної технології SMA для систем з автономними електричними мережами. Multicluster Box є основним розподільником змінного струму, до якого можна підключити до дванадцяти трифазних кластерів. Кожен кластер складається із двох пристроїв того ж типу Sunny Mini Central, з'єднаних паралельно на стороні постійного струму. BatFuse захищає кабелі акумулятора.

Sunny Mini Central підтримує паралельну роботу до чотирьох пристроїв на одній фазі або трьох пристроїв на трьох фазах без додаткових пристроїв. Інвертор дозволяє створювати автономні системи живлення потужністю від 15

кВт. Наведений інвертор має набір важливих параметрів, які будуть прийняті для майбутніх розрахунків. Надана інформація оформлена у наступній таблиці 3.3.

Таблиця 3.3. - Параметри інвертора Sunny Mini Central 10000TL-10

Параметр	Значення
Номінальна частота	50 Гц
Номінальна напруга мережі	220 (180-260) В
Номінальна потужність	10 кВт
Максимальна вхідна напруга	333-500 В (DC)
ККД	98%
Номінальний діапазон робочих температур	-25...+60°C
Габарити	468x613x242 мм
Вага	35 кг
Трифазне виконання/паралельне підключення в однофазному виконанні	так/так

Вибір інверторів ґрунтується на потужності ФЕС. ФЕС має встановлену потужність 30,4 кВт із низкою сонячних панелей у кількості 152 штуки. Це означає, що з урахуванням встановленої потужності Sunny Mini Central 10000TL-10 10 кВт, це рівняння описуватиметься рядом інверторів:

$$N = \frac{P_{\text{ФЕС}}}{P_{\text{ном}}^{\text{інв}}} = \frac{30,4}{10} \approx 3 \quad (3.2.)$$

Виробники регулюють напругу підключених сонячних панелей, тому максимально допустима вхідна напруга, зазначена в технічних даних інвертора, повинна відповідати напрузі холостого ходу ланцюга сонячної панелі або сумі напруги холостого ходу ланцюга групи послідовно підключених сонячних панелей із запасом не менше 20%.

Резервний запас пояснюється такими умовами:

1. Вхідна напруга, вказана виробником, може бути завищена.

2. Коли сонячна активність висока, напруга холостого ходу ланцюга сонячної панелі може бути вищою, ніж зазначено виробником.

$$U_{max}^{СП} = 1,2 \cdot U_{х.х.} \cdot N_{посл} \leq U_{max}^{iHB} \quad (3.2.)$$

де $U_{х.х.}$ – напруга холостого ходу ланцюга сонячної панелі;

$N_{посл}$ – кількість сонячних панелей, які з'єднані послідовно;

U_{max}^{iHB} – вхідна напруга для сонячних панелей.

Згідно з правилом паралельного та послідовного з'єднання елементів електричних ланцюгів, ряд сонячних панелей повинен задовольняти рівняння (3.2). Як було описано вище, кількість інверторів становить три. Це означає, що кожної фази трифазної автономної системи електроживлення буде один інвертор. Кожен інвертор включатиме вимогу рівняння (3.2). Таким чином, сонячні панелі будуть пов'язані з таким чином:

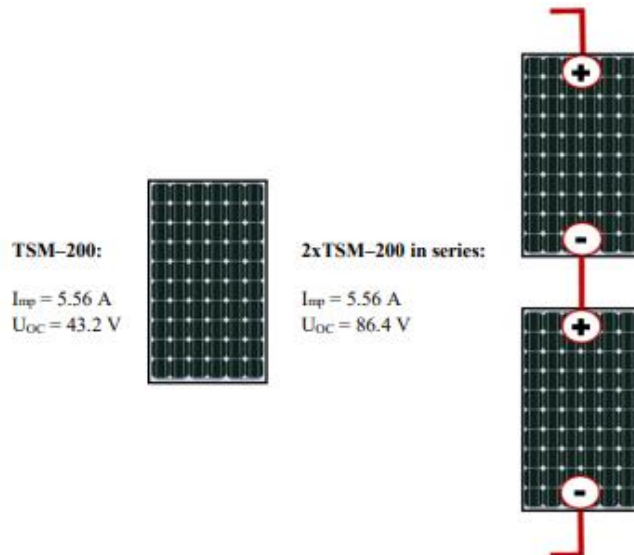


Рисунок 3.5 – Електрична схема підключення сонячних панелей

На підставі рисунку 3.5 порядок підключення сонячних панелей буде наступним: дві панелі послідовно з'єднані у двадцять шість блоків паралельних масивів. Цей масив складатиметься з п'ятдесяти двох сонячних панелей із одним інвертором. Той же принцип буде для частини інверторів, що

залишилася. Слід зазначити, що кількість сонячних панелей має бути збільшено до 156 для симетричної структури масиву.

$$U_{\text{вих}}^{\text{СП}} = 1,2 \cdot 43,2 \cdot 2 = 103,2 \text{ В} \leq 230 \text{ В} \quad (3.3.)$$

Як бачимо, вимога рівняння (3.3) виконується. Таким чином, ми використовуємо 156 сонячних панелей із інверторами SMA Sunny Mini Central.

3.1.4. Акумуляторні батареї

Віддалені системи електроживлення з ФЕС використовуються там, де немає централізованої мережі електропостачання. Щоб забезпечити електроенергію в темний час доби або під час періодів відсутності сонячного світла, потрібна акумуляторна батарея, що перезаряджається.

Основними умовами вибору таких пристроїв є:

1. Стійкість до циклічної роботи.
2. Здатність витримувати глибокий розряд.
3. Низький саморозряд.
4. Стійкість до порушення умов зарядки та розрядки.
5. Довговічність.
6. Простота обслуговування.

Важливим параметром малих СЕС є компактність та герметичність. Ці вимоги повністю задовольняються акумуляторними батареями, які виготовлені з використанням технологій «dryfit» або рекомбінації з використанням абсорбуючого електроліту (AGM). Вони характеризуються відсутністю експлуатаційних витрат та перекривають діапазон потужностей 1–12 000 А·год. Гази, які виробляються під час заряджання, не залишають акумулятор, тому електроліт не споживається і, отже, обслуговування не потрібне.

Експлуатація акумуляторних батарей із глибоким розрядом призводить до необхідності їхньої частої заміни. Ціни та технічне обслуговування таких

систем значно зростають. Глибина розрядки акумуляторних батарей сонячних системах, як правило, обмежена на рівні 30-40%, що досягається відключенням навантаження або збільшенням ємності акумулятора.

Тому, для управління процесом зарядки, сонячна електростанція повинна включати контролери заряду і розряду.

В батареях AGM використовується скловолоконний мат, насичений сірчаною кислотою. Батареї AGM іноді називають сухими батареями, тому що скловолоконний мат насичений сірчаною кислотою тільки на 95%, в якому немає надлишкової рідини. Акумулятор AGM чистий, наприклад, при транспортуванні, немає необхідності дотримуватись вимог для небезпечних матеріалів. Вони чудово підходять для АСЕС, вони можуть працювати у досить складних умовах і не текти навіть у разі пошкодження. Їхнім основним недоліком у порівнянні з рідинними батареями є висока вартість (вони коштують у 2–3 рази більше).

Щоб визначити кількість акумуляторних батарей, необхідно розрахувати надмірну енергію під час вироблення електроенергії через ФЕС. Перевищення виробництва електроенергії від ФЕС щодо споживання відбувається протягом усіх сезонів, але тільки весна та літо мають яскраво виражене перевищення. Грунтуючись на методиці розрахунок, необхідно розглянути сонячний сезон за один модульований рік. Модуляція MatLab показує, що весна має максимум інсоляції через відсутність хмарності протягом сезону. Перевищення енергії генерації за весняний сезон становить 141,1 кВт·год/добу.

Розрахунок ємності блоку акумуляторних батарей з урахуванням допустимої глибини розряду (блок складається з чотирьох батарей, підключених послідовно) визначається за виразом:

$$W_{\text{АКБ}} = U_{\text{НОМ}}^{\text{АКБ}} \cdot C_{\text{НОМ}}^{\text{АКБ}} \cdot k_p \quad (3.4)$$

$U_{\text{НОМ}}^{\text{АКБ}}$ - номінальна напруга акумуляторної батареї, В;

$C_{\text{НОМ}}^{\text{АКБ}}$ - номінальна ємність акумулятора, А·год;

k_p - обмеження глибини розряду акумуляторної батареї не менше 40%.

Для моделювання була вибрано батарею Delta DTM 12250 L, яка має такі параметри.

Таблиця 3.4 – Параметри акумулятора Delta DTM 12250 L

Параметр	Значення
Номінальна ємність	250 А·год
Номінальна напруга	12 В
Строк служби	10 років
Величина саморозряду	3% протягом місяця
Максимальний струм заряду	75 А
Максимальний струм розряду	1250 А
Номінальний діапазон робочих температур	-25...+60°C
Габарити	520x269x227 мм
Вага	74 кг
Тип	AGM

Згідно з рівнянням (3.4), максимальна накопичена енергія з обмеженням 40% складе 4,8 кВт·год для однієї батареї Delta DTM 12250 L.

Після цього зауваження, ми можемо звести обчислення до визначення кількості блоків відповідно до наступного рівняння:

$$N_{\text{блок}} = \frac{W_{\text{АКБ}}^{\text{зверх}}}{W_{\text{АКБ}}} = \frac{141,1}{4,8} = 29,39 \approx 30$$

На підставі рисунку 3.5 порядок підключення акумуляторних батарей буде таким самим, як і для сонячних батарей. Чотири батареї послідовно з'єднані у тридцять блоків паралельних масивів. Один масив буде складатися із сорока батарей з одним інвертором. Той же принцип буде для решти інверторів. Нарешті, кількість акумуляторних батарей становитиме 120 штук.

3.1.5 Дизельна електрична станція

Відповідно до інформації, дизель-генератори є дуже популярним варіантом не тільки для автономного живлення, але й для широкого спектру інших випадків: аварійне джерело електропостачання, важлива складова гібридних систем. Цей спектр призводить до широко представленого ринку різних постачальників ДЕС, що мають різні варіанти встановленої потужності та електроніки, що підключається. Дизель-генератори виготовляються у відкритому або закритому контейнері і можуть встановлюватись на різні ділянки з різними умовами експлуатації.

Було прийнято рішення забезпечити поселення двома новими одиницями дизель-генераторів. Вони можуть покривати необхідне навантаження, де два з них становлять по 16 кВт (один у резерві) і вже встановлений 60 кВт відповідно. Згідно з інформацією з першого розділу, село має дизельний генератор потужністю 30 кВт із незадовільним станом роботи. Два дизельні генератори потужністю 16 кВт будуть встановлені замість 30 кВт. Ця заміна, заснована на інтеграції нових джерел (ФЕС та акумуляторних батарей), веде до збільшення навантаження дизельного генератора. Це означає, що оптимальне співвідношення навантаження дизельного генератора складатиме від 40% до 80%, на відміну від старого дизельного генератора потужністю 30 кВт, який завантажується з ВДЕ менш ніж на 30%.

Представлений дизельний генератор має низку важливих параметрів, які будуть прийняті для майбутніх розрахунків економічних вигод. Ця інформація оформлена в наступній таблиці.

Таблиця 3.5 - Параметри ДЕС АД-16-T400-P1

Параметр	Значення
Номінальна потужність	16 кВт
Оперативний резерв	18 кВт
Вихідний струм	3-фазний/400 В/50 Гц
Витрати палива (75% завантаження)	5,2 л/год

Об'єм паливного баку	200 л
Автономний режим роботи	38,6 годин
Номінальний діапазон робочих температур	-25...+60°C
Габарити	1810x1020x1550 мм
Вага	950 кг
Питомі витрати палива (100% завантаження)	220 г/кВт · год

Як показано в таблиці 3.4 для гібридної системи цей дизель-генератор відповідає всім вимогам. Співвідношення навантаження становить 40–80%, і ми можемо використовувати цей генератор для моделювання. Він працюватиме для всього діапазону ефективно. Дизель-генератор – це джерело енергії для поселення, що легко регулюється. Однак у разі, якщо навантаження збільшиться, знадобиться нове обладнання, оскільки існуючий генератор працюватиме в умовах, близьких до номінальної потужності більшу частину часу.

Загальна контрольна ціна дизель-генераторів становитиме близько 14 610 доларів США (для резерву та основної ДЕС). Ця ціна буде використовуватися далі для розрахунку інвестиційних витрат.

3.2. Результати техніко-економічного аналізу

Відхилення напруги не повинні перевищувати 10% рівня, встановленого Державним стандартом [27]. Коли ДЕС використовується без ФЕС, ми виявляємо, що рівень напруги в кінці лінії передачі зменшується на 6% та 5% у зимовий та літній час відповідно.

Додаткове джерело живлення у вигляді ФЕС допомагає перерозподіляти електроенергію між ДЕС та ФЕС. Відповідно до цієї дії, результатом є зміна поточного значення напруги на різних ділянках лінії передачі. Ця інтеграція зменшує втрати потужності у провідниках та забезпечує більшу стабільність напруги у точках підключення споживачів електроенергії.

Результат відхилення напруги в автономній системі з ФЕС та без ФЕС підсумовано у таблиці нижче:

Таблиця 3.6 – Результати скорочення відхилень напруги

Фаза дня, що моделюється	ОЕС			
	Зимове відхилення, %		Літнє відхилення, %	
	з ФЕС	без ФЕС	з ФЕС	без ФЕС
Ніч	1,82	1,82	1,36	1,36
Ранок	0,45	5,91	0,45	4,55
День	0,45	2,73	0,45	2,27
Вечір	1,36	14,09	0,91	11,82

Необхідно додати ще один результат розподіленого монтажного виконання ФЕС на всій довжині лінії електропередачі. Ця інтеграція полягає з кількох невеликих ФЕС з певною кількістю сонячних панелей. Кількість сонячних панелей була прийнята на основі пропорційної величини споживання кожного навантаження. Коли напруга подається, в лінії електропередачі тече ненульовий струм, який прямо пропорційний споживаній потужності поселення у певний час.

Всередині лінії передачі є постійне електричне поле, яке приводить у рух заряди вздовж провідника. Електричне поле провідника (лінії передачі) завжди спрямовано на зменшується потенціал, або можна казати, що електричне поле – це мінус градієнта потенціалу. Результати моделювання показали, що чим ближче до джерела напруги, тим більше потенціал провідної поверхні. Відповідний варіант з розподіленим монтажним виконанням ФЕС уздовж лінії передачі у вигляді малих станцій показав практично самі результати, як і за єдиної ФЭС.

Цей варіант вимагає більшої кількості обладнання та може бути виправданий лише з позитивним економічним обґрунтуванням.

Результати показали, що використання потужності від єдиної ФЕС із акумуляторними батареями на величині половини номінального

навантаження системи зменшить падіння напруги наприкінці лінії на 4–10%. Це досягається підключенням ФЕС на відстань від ДЕС, яке не становить менше половини загальної довжини лінії електропередавання. Значно скорочується також величина втрат. Це скорочення за кожен сезон наводиться у наступній таблиці 3.7.

Таблиця 3.7 – Результати скорочення втрат електроенергії у лінії

Сезон	Скорочення, %
Зима	-7,8
Весна	-4,1
Літо	-2,8
Осінь	-5,4

Ефективність використання ФЕС в СЕС без систем зберігання енергії суттєво обмежена умовами роботи мережевих інверторів. Щоб стабілізувати напругу в енергосистемі та зменшити втрати електроенергії, рекомендується використовувати ФЕС із системами зберігання енергії та підключати їх ближче до кінця лінії розподілу або до точки підключення найпотужнішого споживача. Потужність генерації ФЕС обмежена половиною максимальної потужності споживання електроенергії.

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 3:

В розділі проведено оцінку техніко-економічних параметрів із фокусом на підвищення якості електричної енергії та результати техніко-економічного аналізу запропонованих заходів.

Запропоновані технічні заходи дозволили значно покращити якість електричної енергії, що виражається у зниженні рівня гармонічних спотворень, підвищенні стабільності напруги та покращенні коефіцієнта потужності. Це призвело до зменшення енергетичних втрат, підвищення ефективності використання обладнання та зменшення впливу на навколишнє середовище.

Проведений техніко-економічний аналіз показав, що запропоновані заходи мають позитивний економічний ефект. Покращення якості електроенергії сприяє зниженню витрат на обслуговування обладнання, зменшенню простоїв через аварійні відключення та продовженню терміну експлуатації електротехнічного обладнання. Економічний ефект реалізації заходів підтверджується скороченням витрат на ремонт, модернізацію та заміну обладнання, а також зниженням штрафів за перевищення допустимих рівнів технічних параметрів електромережі.

Таким чином, проведений аналіз підтверджує доцільність впровадження заходів, спрямованих на підвищення якості електричної енергії, з огляду на їхні позитивні техніко-економічні наслідки для підприємства або енергетичної системи в цілому.

ВИСНОВКИ Й РЕКОМЕНДАЦІЇ:

Потенціал розвитку розподіленої енергетики в Україні: Україна має значні можливості для розвитку розподіленої енергетики завдяки доступу до різноманітних відновлюваних джерел, таких як сонячна, вітрова, гідроенергія та біомаса. Це сприяє диверсифікації енергетичних ресурсів і підвищенню енергетичної безпеки країни.

Роль у зменшенні імпортозалежності включає активне використання розподіленої енергетики може зменшити залежність від імпортних викопних палив, що особливо важливо в умовах політичної та економічної нестабільності. Розвиток локальних енергетичних потужностей сприятиме більшій автономії регіонів.

Переваги для сталого розвитку та екології - розподілена енергетика відіграє важливу роль у зниженні викидів парникових газів і покращенні екологічної ситуації. Використання відновлюваних джерел енергії допомагає зменшити негативний вплив на довкілля, сприяючи досягненню цілей сталого розвитку.

Можливості для економічного зростання та створення робочих місць - розвиток розподіленої енергетики стимулює місцеву економіку, створюючи нові робочі місця, особливо в сільських і віддалених районах. Інвестиції в цю галузь сприяють розвитку інфраструктури і підвищують якість життя населення.

Технічні та регуляторні виклики - попри значний потенціал, впровадження розподіленої енергетики стикається з певними труднощами, такими як технічна інтеграція в загальну енергосистему, потреба в оновленні мереж та необхідність адаптації законодавства для підтримки децентралізованих джерел енергії.

Інвестиційні перспективи - для подальшого розвитку розподіленої енергетики потрібні значні інвестиції в модернізацію інфраструктури, створення нових об'єктів і відновлення пошкоджених потужностей. Важливу

роль у цьому можуть відігравати міжнародні партнери та фінансові організації.

Розподілена енергетика є перспективним напрямом для України, який може стати основою для сталого розвитку енергетичного сектору та підвищення енергонезалежності країни.

Для розділу «Математичний опис моделі з використанням MATLAB» можна зазначити наступне.

Використання MATLAB для побудови математичної моделі дозволяє значно спростити процес розробки й аналізу складних систем. Завдяки вбудованим функціям і бібліотекам можна швидко виконувати обчислення та візуалізувати результати.

MATLAB надає можливість автоматизувати чисельні розрахунки, що суттєво знижує ймовірність помилок у порівнянні з ручними обчисленнями. Це дозволяє отримувати точніші результати та спрощує процес оптимізації моделей.

Платформа дозволяє легко змінювати параметри математичної моделі, що дає можливість досліджувати різні сценарії та проводити численні експерименти для аналізу поведінки системи.

MATLAB пропонує потужні засоби для графічного відображення результатів моделювання, що допомагає краще зрозуміти складні процеси та полегшує інтерпретацію даних. MATLAB підтримує інтеграцію з іншими програмними середовищами та мовами програмування, що розширює його можливості при розв'язанні задач, пов'язаних з аналізом даних та оптимізацією.

Таким чином, використання MATLAB для математичного опису моделей є ефективним інструментом для проведення досліджень і розробки інженерних рішень, забезпечуючи точність, зручність і високу швидкість обробки даних.

В розділі «Оцінка техніко-економічних параметрів» було проведено оцінку техніко-економічних параметрів із фокусом на підвищення якості

електричної енергії та результати техніко-економічного аналізу запропонованих заходів.

Запропоновані технічні заходи дозволили значно покращити якість електричної енергії, що виражається у зниженні рівня гармонічних спотворень, підвищенні стабільності напруги та покращенні коефіцієнта потужності. Це призвело до зменшення енергетичних втрат, підвищення ефективності використання обладнання та зменшення впливу на навколишнє середовище.

Проведений техніко-економічний аналіз показав, що запропоновані заходи мають позитивний економічний ефект. Покращення якості електроенергії сприяє зниженню витрат на обслуговування обладнання, зменшенню простоїв через аварійні відключення та продовженню терміну експлуатації електротехнічного обладнання. Економічний ефект реалізації заходів підтверджується скороченням витрат на ремонт, модернізацію та заміну обладнання, а також зниженням штрафів за перевищення допустимих рівнів технічних параметрів електромережі.

Таким чином, проведений аналіз підтверджує доцільність впровадження заходів, спрямованих на підвищення якості електричної енергії, з огляду на їхні позитивні техніко-економічні наслідки для підприємства або енергетичної системи в цілому.

СПИСОК ПОСИЛАЊЬ:

1. Lowder T., Zhou E., Tian T. Evolving Distributed Generation Support Mechanisms: Case Studies from United States, Germany, United Kingdom, and Australia. National Renewable Energy Laboratory (NREL) 2017. Technical report. Режим доступа: <https://www.nrel.gov/docs/fy17osti/67613.pdf>
2. Independent Statistics & Analysis, 2017. [Электронный ресурс]. U.S. Energy Information Administration. Electric Power. Режим доступа: https://www.eia.gov/electricity/monthly/epm_table_grapher.php?t=epmt_6_02_b
3. Cohen M.A., Kauzmann P.A., Callaway D.S. Economic Effect of Distributed PV Generation on California's Distribution System. Energy Institute at Haas, 2015. Режим доступа: <https://ei.haas.berkeley.edu/research/papers/WP260.pdf>
4. Hart D., Birson K. Deployment of Solar Photovoltaic Generation Capacity in the United States. Schar School of Policy and Government George Mason University, 2016. Режим доступа: <https://energy.gov/sites/prod/files/2017/01/f34/Deployment%20of%20Solar%20Photovoltaic%20Generation%20Capacity%20in%20the%20United%20States.pdf>
5. The Washington Post, 2017. Mapping how the United States generates its electricity. Режим доступа: https://www.washingtonpost.com/graphics/national/powerplants/?utm_term=.5a41d6c60a94
6. Lowder T., Zhou E., Tian T. Evolving Distributed Generation Support Mechanisms: Case Studies from United States, Germany, United Kingdom, and Australia. National Renewable Energy Laboratory (NREL) 2017. Technical report. Режим доступа: <https://www.nrel.gov/docs/fy17osti/67613.pdf>
7. Wirth H. Recent Facts about Photovoltaics in Germany. Fraunhofer ISE, 2018. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/en/documents/publications/studies/recent-facts-about-photovoltaics-in-germany.pdf>

8. Volkmar M. High Penetration PV: Experiences in Germany and technical solutions. SMA Solar Technology AG. Режим доступа: http://ieapvps.org/index.php?id=153&eID=dam_frontend_push&docID=1492

9. Bayer E. Report on the German power system. 1.0. Study commissioned by Agora Energiewende, 2015. Режим доступа: https://www.agoraenergiewende.de/fileadmin/downloads/publikationen/CountryProfiles/Agora_CP_Germany_web.pdf

10. Fraunhofer ISE. Net installed electricity generation capacity in Germany. Режим доступа: https://www.energycharts.de/power_inst.htm?year=all&period=annual&type=power_inst

11. Ales R. Electro-Energy Sector in Czech Republic: Present Situation, Opportunities and Threats. 4Liberty.eu, Review no.2, 2015. Режим доступа: <http://4liberty.eu/electro-energy-sector-in-czech-republic-present-situation-opportunities-and-threats/>

12. Šúri M., Cebecauer T., Skoczek A., Fantik J. Analysis of PV power generation in the Czech Electricity Transmission System ČEPS. 26th European Photovoltaics Solar Energy Conference. Hamburg, Germany, 2011. Режим доступа: https://www.researchgate.net/publication/266595054_ANALYSIS_OF_PV_POWER_GENERATION_IN_THE_CZECH_ELECTRICITY_TRANSMISSION_SYSTEM_CEPS

13. Šúri M., Cebecauer T., Skoczek A., Fantik J. Analysis of PV power generation in the Czech Electricity Transmission System ČEPS. 26th European Photovoltaics Solar Energy Conference. Hamburg, Germany, 2011. Режим доступа: https://www.researchgate.net/publication/266595054_ANALYSIS_OF_PV_POWER_GENERATION_IN_THE_CZECH_ELECTRICITY_TRANSMISSION_SYSTEM_CEPS

14. Hofierka J., Kaóuk J., Gally M. The Spatial distribution of photovoltaic power plants in relation to solar resource potential: the case of the Czech Republic and Slovakia. Moravian Geographical Reports, 2013. Режим доступу:

https://www.geonika.cz/EN/research/ENMGRClanky/2014_2_HOFIERKA.pdf

15. Yeung P., Dai A., Wu T. Renewable Energy in China. Transiting to a Low Carbon Economy. Hong Kong: Asian Insights Office, DBS Research, 2016.

16. International Energy Agency (IEA). [Електронний ресурс]. Prospects for Distributed Energy Systems in China. France: IEA Publications, 2017. Режим доступу:

<https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/ProspectsforDistributedEnergySystemsinChina.pdf>

17. SOLARGIS. [Електронний ресурс]. Solar resource maps of China 2017. Режим доступу: <https://solargis.com/maps-and-gis-data/download/china> [Дата звернення: 08.08.2018]

18. NRDC. [Електронний ресурс]. China Climate & Energy Map 2017. Режим доступу: <http://www.chinaenergymap.org/>

19. Ip D., Chui S. China Solar Sector. Initiation: a more powerful future for solar. Daiwa Capital Markets, 2015. Режим доступу: http://asiaresearch.daiwacm.com/eg/cgi-bin/files/China_Solar_Sector_151029.pdf [Дата звернення: 08.08.2018]

20. International Energy Agency (IEA). [Електронний ресурс]. Prospects for Distributed Energy Systems in China. France: IEA Publications, 2017. Режим доступу:

<https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/ProspectsforDistributedEnergySystemsinChina.pdf>

21. Відроджувані джерела енергії / За заг. ред. С.О. Кудрі. – Київ: Інститут відроджуваної енергетики НАНУ, 2020. – 392 с.

22. Особливості комбінованих енергосистем з відроджуваними джерелами енергії: монографія / М. П. Кузнецов. — Київ: ІВЕ, 2022. — 142 с.

23. [Потенціал | Держенергоефективності України \(sae.gov.ua\)](http://sae.gov.ua)
24. [Альтернативна енергетика - UkraineInvest](http://ukraineinvest.gov.ua)
25. Green Sarawak. WordPress. [Електронний ресурс]. Photovoltaic – Harvesting the Power of the Sun, 2017. Режим доступу: <https://greensarawak.com/p hotovoltaic-harvesting-the-power-of-the-sun>
26. MAP Sin Energy 12/24/48/220. [Електронний ресурс]. Technical characteristics of the solar panel TSM 200, 2017. Режим доступу: <http://www.invertor.ru/zzz/item/white fe mono 200 24>
27. Характеристики напруги електропостачання в електричних мережах загальної призначеності. ДСТУ EN 50160:201. 2014.