

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

Інститут (факультет) _____ **ННІТІ ім. акад. І.С. Гулого**
Кафедра _____ **Електропостачання та енергоменеджменту**

«До захисту в ЕК»
Директор інституту
_____ **Сергій БЛАЖЕНКО**
(підпис) (ім'я та прізвище)

«__» ____ грудня ____ 2025 р.

«До захисту допущено»
Завідувач кафедри
_____ **Сергій БАЛЮТА**
(підпис) (ім'я та прізвище)

«__» ____ грудня ____ 2025 р.

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТРА**

зі спеціальності _____ **141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»**

(код та назва спеціальності)

освітньо-професійної програми _____ **«Електротехнічні системи електроспоживання»**

на тему: «Підвищення ефективності та надійності процесів розподілу електричної енергії в комплексі відновлюваних джерел енергії»

Виконав: здобувач 2 курсу, групи ЕЛ-2-6М

_____ **Дзигун Євгеній Анатолійович**
(прізвище, ім'я, по батькові повністю)

_____ (підпис)

Керівник _____ **Чорний Юрій Аркадійович**
(прізвище, ім'я та по батькові повністю)

_____ (підпис)

Консультанти _____
(ім'я та прізвище)

_____ (підпис)

Рецензент _____ **Наталія ІВАЩЕНКО**
(ім'я та прізвище)

_____ (підпис)

Я як здобувач(ка) Національного університету харчових технологій розумію і підтримую політику університету з академічної доброчесності. Я не надавав(-ла) і не одержував(-ла) недозволеної допомоги під час підготовки цієї роботи. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

Здобувач _____
(підпис)

Київ – 2025 р.

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Інститут (факультет) Навчально - науковий інженерно - технічний інститут ім. акад. І. С. Гулого

Кафедра Електропостачання та енергоменеджменту

Освітній ступінь магістр

Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
(код і назва)

Освітньо-професійна програма «Електротехнічні системи електроспоживання»
(назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач

кафедри ЕПЕМ

/Сергій БАЛЮТА/

“17” вересня 2025 року

З А В Д А Н Н Я

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА

Дзигуну Євгенію Анатолійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Підвищення ефективності та надійності процесів розподілу електричної енергії в комплексі відновлюваних джерел енергії».

керівник роботи Чорний Юрій Аркадвійович, к.т.н., доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від “ 17 вересня 2025 року № 712-кс

2. Строк подання здобувачем роботи 10 грудня 2025 року

3. Вихідні дані до роботи Види автономних систем електропостачання та їх характеристики; тенденції розвитку поновлювальних джерел енергії; приклад розрахунку ефективності автономних джерел; собівартість енергетичних ресурсів.

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Аналіз сучасного стану автономних систем електропостачання, 2. Методологія розрахунку ефективності функціонування систем електропостачання. 3. Застосування дискретного програмування для оптимізації автономних систем ЕП.

5. Перелік графічного матеріалу

Презентація - 12 слайдів.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання _____ 17 вересня 2025 р. _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів виконання кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Отримання завдання на дипломний проект	10.10.2025р	
2	Вступ	12.10.2025р	
3	Способи реалізації комбінованих автономних систем ЕП за участю поновлювальних джерел енергії.	18.10.2025р	
4	Світові тенденції та загрози розвитку відновлювальних джерел енергії.	23.10.2025р	
5	Можливості на шляху використання потенціалу альтернативних джерел енергії	28.10.2025р	
6	Фактори, що впливають на ціну генерації електричної енергії	05.11.2025р	
7	Аналіз річної генерації електричної енергії	10.11.2025р	
8	Установки на базі традиційних джерел енергії.	15.11.2025р	
9	Установки на відновлюваних джерелах енергії.	20.11.2025р	
10	Оптимізація процесів вироблення електроенергії за допомогою створення комбінованої системи електропостачання	25.11.2025р	
11	Практичне застосування дискретного програмування для оптимізації функціонування комбінованих автономних систем електропостачання.	30.11.2025р	
12	Висновки	03.12.2025р	
13	Список літератури	04.12.2025р	
14	Здача дипломного проекту на перевірку	05.12.2025р	

Здобувач

_____ (підпис)

Дзигун Є. А.

_____ (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

_____ (підпис)

Чорний Ю.А.

_____ (прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Дзигун Євгеній . Підвищення ефективності та надійності процесів розподілу електричної енергії в комплексі відновлюваних джерел енергії

Національний Університет Харчових Технологій

Київ 2025

141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Метою роботи є розробка науково-технічних передумов побудови автономних джерел енергії системи електропостачання із заданими функціональними властивостями враховуючи характер електропостачання і закономірності вартісних характеристик для підвищення надійності та ефективності автономного електропостачання. Підвищення енергетичної ефективності автономних систем електропостачання за умови використання відновлюваних джерел енергії.

Ключові слова: відновлювальні джерела енергії, централізоване електропостачання, сонячні електричні установки.

Abstract

Dzyhun Yevhenii. Increasing the efficiency and reliability of electricity distribution processes in the renewable energy complex

National University of Food Technologies, Kyiv – 2025

141 "Power Engineering, Electrical Engineering, and Electromechanics"

The purpose of the work is to develop scientific and technical prerequisites for building autonomous energy sources for the power supply system with specified functional properties, taking into account the nature of the power supply and the regularities of cost characteristics to increase the reliability and efficiency of autonomous power supply. Increasing the energy efficiency of autonomous power supply systems using renewable energy sources.

Keywords: renewable energy sources, centralized power supply, solar power plants.

Зміст

Вступ.	7
1. АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ТА НАПРЯМКИ РОЗВИТКУ АВТОНОМНИХ СИСТЕМ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ	12
1.1. Способи реалізації комбінованих автономних систем електропостачання за участю поновлювальних джерел енергії.	12
1.2. Світові тенденції та загрози розвитку відновлювальних джерел енергії.	20
1.3. Можливості та бар'єри на шляху використання потенціалу альтернативних джерел енергії.	34
2. МЕТОДОЛОГІЯ РОЗРАХУНКУ РІВНЯ ЕІЕКТИВНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ АВТОНОМНИХ СИСТЕМ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ.	42
2.1 Фактори, що впливають на ціну генерації електричної енергії.	42
2.1.1 Централізоване електропостачання.	42
2.1.2 Дизельні електричні станції.	46
2.1.3 Вітроелектрогенеруючі установки.	47
2.1.4 Сонячні електричні установки.	48
2.2 Аналіз річної генерації електричної енергії виходячи із затрат на кожну кВт*год.	50
2.2.1 Установки на базі традиційних джерел енергії.	51
2.2.2 Установки на відновлюваних джерелах енергії.	51
2.2.3 Вартість електричної енергії виробленої на різних видах електростанцій.	53
2.3 Оптимізація процесів вироблення електроенергії за допомогою створення комбінованої системи електропостачання.	54
2.3.1 Критерії розробки математичної моделі оптимізації вироблення електроенергії комплексною електроенергетичною системою. ...	55

3. ПРАКТИЧНЕ ЗАСТОСУВАННЯ ДИСКРЕТНОГО ПРОГРАМУВАННЯ ДЛЯ ОПТИМІЗАЦІЇ ФУНКЦІОНУВАННЯ КОМБІНОВАНИХ АВТОНОМНИХ СИСТЕМ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ.	58
3.1 Аналіз вхідних даних отриманих за допомогою опитувальних листів.	58
3.2 Аналітичний етап.	65
4. ПРОПОЗИЦІЇ ПО ВПРОВАДЖЕННЮ РЕЗУЛЬТАТІВ ДИСЕРТАЦІЙНОЇ РОБОТИ.	69
4.1 Опис ідеї по впровадженню.	69
Висновки.	73
Літературні джерела.	76

ВСТУП

Актуальність теми. На теперішній час у світі відбуваються значні зміни у підходах до формування енергетичної політики держав: здійснюється перехід від застарілої моделі функціонування енергетичного сектору, в якому домінують великі виробники, викопне паливо, неефективні мережі, недосконала конкуренція на ринках природного газу, електроенергії, вугілля - до нової моделі, в якій створюється більш конкурентне середовище, вирівнюються можливості для розвитку й мінімізуються домінування одного з видів виробництва енергії або джерел та шляхів постачання палива. Разом з цим віддається перевага підвищенню енергоефективності й використанню енергії з альтернативних та відновлювальних джерел. Зазвичай при цьому враховуються та впроваджуються заходи із підвищення надійності функціонування енергосистем, а також, як результат, зменшення шкідливих викидів в атмосферу та адаптації до змін клімату.

Наразі це ставить перед Україною нові економічні та технологічні виклики, для того щоб бути ваговим гравцем на енергетичному ринку в континентальній Європі. Але водночас відкриває нові можливості для пошуку та впровадження інноваційних розробок у галузі видобутку, переробки викопних видів палива, виробництва, трансформації, постачання і споживання енергії, що зумовлює потребу у формуванні нової енергетичної політики держави.

Україна використовує для власних потреб різноманітні джерела енергії, такі як нафта, природний газ, вугілля, атомна і гідроенергія, енергія вітру і сонця тощо[16]. Вона є і в перспективі прагне залишатися одним із найбільших виробником вуглеводнів та надійним транзитером енергоресурсів, забезпечуючи безпечне і надійне їх постачання як власним споживачам, так і

споживачам суміжних ринків, а також вносить свій внесок в продовження економічного зростання і процвітання для українців. Проте сучасний стан

вітчизняної електроенергетики такий, що система централізованого електропостачання не в змозі забезпечити вимоги високотехнологічного обладнання щодо надійності електропостачання та якості електричної енергії. Перерви в електропостачанні складають близько 10% від загального часу технологічних процесів протягом року (проти 0,1% у розвинених країнах), а тривалість споживання неякісної електроенергії (особливо для сільських споживачів) складає близько 45% від загального часу роботи. Більша частина генеруючих активів та мереж енергопостачання зношена та неефективна. Переважна більшість блоків теплових електростанцій перевищили межу фізичного зношення й потребує ґрунтовної модернізації або заміни, більшість блоків атомних електростанцій наближається до межі проектного терміну експлуатації. Баланс потужності енергосистеми України характеризується дефіцитом регулюючих потужностей, що зумовлює нераціональне використання існуючих потужностей та високий рівень втрат. Неминуче скорочення споживання викопних ресурсів в якості органічного палива найближчим часом поставить першочерговим питанням використання інших джерел енергії, у тому числі відновлювальних джерел енергії (ВДЕ). Усі ці факти свідчать про те, що вітчизняна система електропостачання потребує докорінних змін. Одним із шляхів поліпшення ситуації пропонується здійснення децентралізації електропостачання. Водночас в останні роки, внаслідок змін цінової кон'юнктури, технологій та світових трендів, частка інших видів енергії у споживанні поступово зростає. Сьогодні є всі підстави очікувати їх подальшого зростання з відповідним зменшенням частки викопного палива в енергетичному балансі країни. Наявність в Україні усіх зазначених ресурсів, створення конкурентного ринкового середовища та умов до системного пресурсної бази атомної енергетики, модернізації генеруючих потужностей та заміщення сировинної бази альтернативними видами палива, подальша розвідка та видобуток вуглеводнів, у тому числі й нетрадиційних, а також більш ефективно

використання потенціалу в галузі відновлюваної енергії сприятимуть поступовому посиленню позиції України у раціональному виробництві.

Побудова та введення в експлуатацію нових електростанцій є тривалим процесом, тому першочерговим заходом є створення самодостатньої структури системи електропостачання та оптимального поєднання великих електростанцій і розподілених джерел електричної енергії окремих (груп) споживачів регіону з максимальною ефективністю їх спільного функціонування протягом тривалого часу за допомогою нових наукових методів.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дослідження, що представлені у роботі, виконувались на кафедрі електропостачання Національного університету НУХТ України.

Мета та завдання дослідження. Метою роботи є розробка науково-технічних передумов побудови автономних джерел енергії системи електропостачання із заданими функціональними властивостями враховуючи характер електропостачання і закономірності надійнісно-вартісних характеристик для підвищення надійності та ефективності автономного електропостачання. Підвищення енергетичної ефективності автономних систем електропостачання за умови використання відновлюваних джерел енергії.

Поставлена мета вимагає розв'язання таких задач:

- провести аналіз існуючих структур побудови автономних систем електропостачання, особливостей їх функціонування та взаємозв'язку з системою централізованого електропостачання
- довести можливість практичного застосування щодо функціонування комбінованої автономної системи електропостачання для оцінки енергоефективності з використанням генеруючих установок ВДЕ;

- запропонувати варіант оптимізованої структури автономної системи електропостачання, що підвищує енергетичну ефективність її функціонування і забезпечує надійне електропостачання груп споживачів.
- обґрунтувати техніко-економічні аспекти впровадження автономних систем електропостачання груп споживачів.

Об'єкт дослідження. Процеси функціонування комбінованих автономних систем електропостачання з різними джерелами енергії, інтегрованих у систему централізованого електропостачання.

Предмет дослідження. Методи оптимізації структури функціонування комбінованих систем електропостачання, процеси вироблення електричної енергії генеруючими установками шляхом використання альтернативних джерел енергії.

Методи дослідження. Проведені дослідження ґрунтуються на сучасних методах обчислювальної математики, прикладного статистичного аналізу, теорії надійності, системного аналізу та синтезу комплексних багатоагрегатних систем, аналізу інформації з використанням сучасних комп'ютерних технологій.

Наукова новизна результатів дослідження - застосовано системний підхід, комплексні дослідження функціонування комбінованих автономних електрогенеруючих установок, що дозволило розкрити напрямки підвищення надійності електропостачання та можливості до ефективного використання енергоресурсів- розроблено надійнісно-вартісну оптимізацію структур комбінованих автономних систем електропостачання з різними видами енергії, в основу якого покладено використання коефіцієнта готовності та собівартості електроенергії, одержаних на основі імітаційного моделювання, що дало змогу реалізувати задані функціональні властивості систем на основі аналізу економічної ефективності з урахуванням показників надійності. Практичне значення отриманих результатів полягає у можливості широкого

застосування отриманих результатів для комплексного розв'язання задач надійного та ефективного автономного електропостачання для різних груп споживачів. Розроблені рекомендації щодо визначення питомого електропостачання та критичної тривалості перерв електропостачання технологічних процесів харчової промисловості, а також рекомендації щодо оцінки показників надійності автономних систем електропостачання та методика техніко-економічного і надійнісно-функціонального обґрунтування об'єму автоматизації автономних систем електропостачання, що дозволяють реалізувати принципи побудови автономних систем електропостачання при розв'язанні прикладних задач електропостачання на етапі аванпроектуювання і використанні державним підприємством ДП НЕК «Укренерго», ТОВ «ДТЕК ЕНЕРГО», ТОВ «ДТЕК ЕСКО», ТОВ «ДТЕК WindPOWER», а також Науково - дослідний інститут автоматики та енергетики «Енергія» та Національний Університет харчових технологій зацікавлені в теоретичних, науково-методичних та практичних результатах дисертаційного дослідження.

1. АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ТА НАПРЯМКИ РОЗВИТКУ АВТОНОМНИХ СИСТЕМ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

1.1 Способи реалізації комбінованих автономних систем електропостачання за участю поновлювальних джерел енергії

На теперішній час у світі відбуваються значні зміни у підходах до формування енергетичної політики держав: здійснюється перехід від застарілої моделі функціонування енергетичного сектору, в якому домінують великі виробники, викопне паливо, неефективні мережі, недосконала конкуренція на ринках природного газу, електроенергії, вугілля - до нової моделі, в якій створюється більш конкурентне середовище, вирівнюються можливості для розвитку й мінімізуються домінування одного з видів виробництва енергії або джерел та шляхів постачання палива. Разом з цим віддається перевага підвищенню енергоефективності й використанню енергії з альтернативних та відновлювальних джерел. Зазвичай при цьому враховуються та впроваджуються заходи із підвищення надійності функціонування енергосистем, а також, як результат, зменшення шкідливих викидів в атмосферу та адаптації до змін клімату.

Організація резервного електропостачання особливо актуальна в умовах сильного зносу загальних електромереж. У багатьох випадках, відключення електроенергії навіть на кілька годин може спричинити за собою величезні витрати. Якість електроенергії, яка виробляється автономними електрогенераторами, має параметри на рівні, а часом і кращі, ніж в централізованій мережі. Це особливо важливо при використанні їх як джерел енергії для об'єктів, оснащених обладнанням, чутливим до якості електроенергії.

Ступінь участі електрообладнання відновлюваної енергетики в електрифікації об'єкта залежить від багатьох факторів, серед яких найважливішими є: енергетичний потенціал ВДЕ і його зміна в часі, потреби об'єкта в потужності і енергії, вимоги до надійності електропостачання, економічні показники. Залежно від цих та інших чинників вибирається склад і структура автономної системи електропостачання об'єкту.

По складу сучасні енергетичні установки для автономного електропостачання можуть бути побудовані на основі автономних вітрових і сонячних електростанцій або на основі спільного використання електроустановок відновлюваної енергетики та дизельних електростанцій. Варіант з дизельною генерацією може бути реалізований з використанням ДЕС в якості резервного джерела живлення, або для спільної роботи з електроустановками відновлюваної енергетики на загальне навантаження [2].

Змінний характер графіків електроспоживання та енергетичного потенціалу відновлюваних джерел енергії, автономна система електропостачання потребує додати до основного обладнання пристрій накопичення електричної енергії. Узагальнена структура автономних сонячних та вітрових електростанцій наведена на рисунку 1.1.

Дана схема живиться від акумуляторної батареї через автономний інвертор. Потужність накопичувача інвертора підбирається під пікову потужність навантаження. Середня потужність навантаження на конкретному часовому інтервалі визначається позитивним енергетичним балансом накопичувача, коли його енергія, отримана від ВДЕ, перевищує енергію віддану в навантаження (з урахуванням коефіцієнтів корисної дії і раціональних режимів роботи енергетичного обладнання, в першу чергу акумуляторних батарей). Баластове навантаження приймає можливі надлишки електроенергії, що не споживається в поточний часовий інтервал акумуляторною батареєю та навантаженням. [3].

На даний час, забезпечити неперервне електропостачання потужних споживачів тільки за рахунок відновлюваних джерел енергії немає можливості: істотні добові зміни потенціалу вітру і сонячного випромінювання, які зазвичай не відповідають сезонним змінам графіків енергоспоживання.

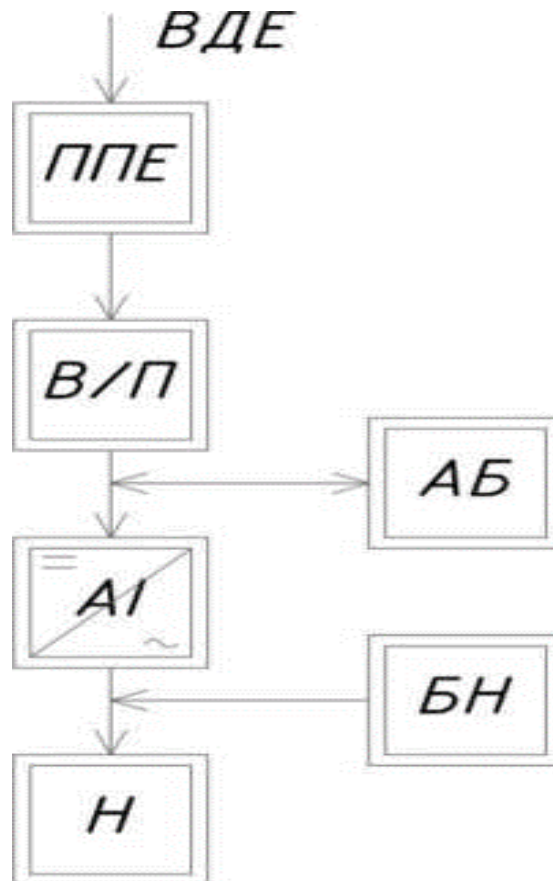


Рисунок 1.1 - Автономне електропостачання з використанням ВДЕ

ВДЕ - відновлюване джерело енергії;

ППЕ - перетворювач первинного енергоресурси

В/П - випрямляч або перетворювач електроенергії;

А Б - акумуляторна батарея;

АІ - автономний інвертор;

Н - навантаження;

БН - баластне навантаження.

Поєднання сталого джерела електроенергії (ДЕС) і нестабільного поновлюваного дозволяє побудувати універсальні енергетичні комплекси з високими техніко-економічними характеристиками, що надійно забезпечують електропостачання різних децентралізованих об'єктів [3].

Можливість відключення ДЕС в періоди високих значень потенціалу відновлюваних енергоресурсів досягається ускладненням складу гібридного енергетичного комплексу і алгоритмів управління його елементами.

Узагальнена схема гібридної системи електропостачання даного типу приведена на рис.1.2.

В період високого потенціалу ВДЕ, дизельний генератор відключається. Коливання споживання електроенергії та генерації від ВДЕ згладжуються запасом енергії в акумуляторах ДБЖ, що дозволяє зменшити кількість запусків ДЕС.

В режимі роздільної роботи ППЕ відновлюваного енергоджерела повинен мати відносно велику встановлену потужність. Відповідно, миттєва потужність вітрової або сонячної електростанції може істотно перевищувати номінальне навантаження. Для утилізації надлишкової електроенергії передбачається використання баластного навантаження БН.

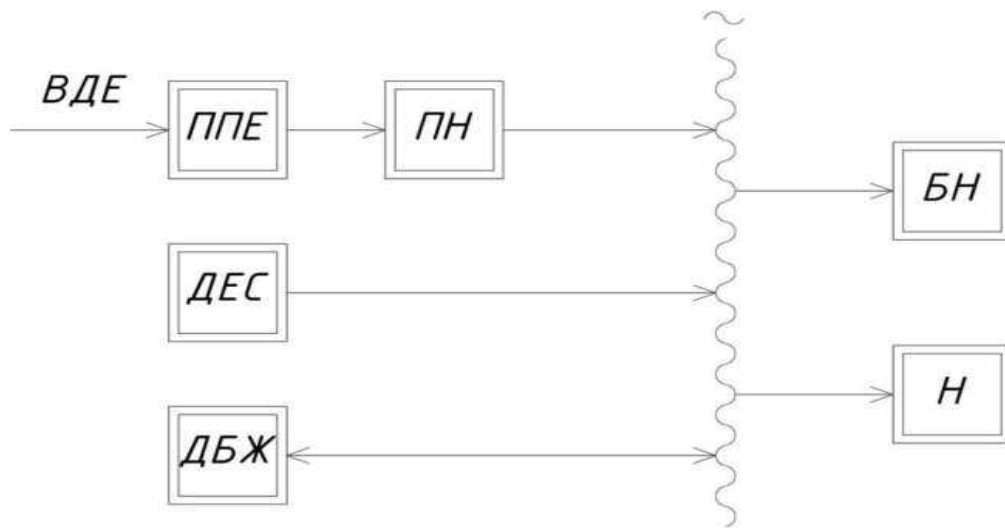


Рисунок 1.2 - Гібридний енергетичний комплекс з дублюючої ДЕС.

ВДЕ - відновлюване джерело енергії;

ДЕС - дизельна електростанція;

ППЕ - перетворювач первинного енергоресурси;

ПН - перетворювач напруги;

ДБЖ - джерело безперебійного живлення;

Н - навантаження;

БН - баластне навантаження.

Частка «зеленої» електроенергії в загальному енергетичному балансі даної системи електропостачання, зазвичай, становить не менше 50%.

При менших встановлених потужностях установок відновлюваної енергетики збільшується навантаження на дизельну генерацію. Зростання відносної тривалості режимів генерації перетворювачу первинного енергоресурсу, ВДЕ недостатньої для поточного покриття навантаження, визначає доцільність режимів паралельної роботи паливного і поновлюваного компонента гібридної системи електропостачання. Реалізація такого роду режиму вимагає додаткового ускладнення алгоритмів управління

енергетичного комплексу введенням в його склад відповідного обладнання: універсального інвертора, здатного працювати автономно і паралельно з електричною мережею, пристрою синхронізації [4].

Структура таких комплексів показана на рис.1.3.

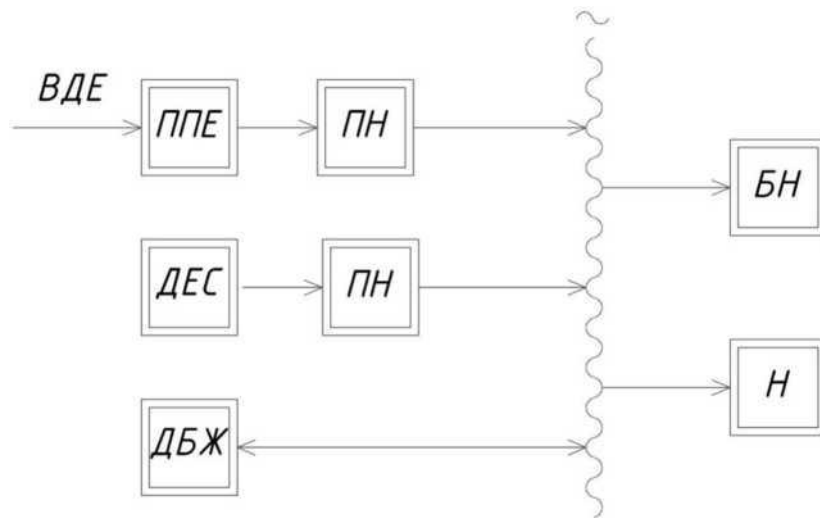


Рисунок 1.3 - Гібридний енергетичний комплекс з шиною змінного струму і інверторною ДЕС

ВДЕ - відновлюване джерело енергії;

ДЕС - дизельна електростанція;

ППЕ - перетворювач первинного енергоресурсу

ПН - перетворювач напруги;

ДБЖ - джерело безперебійного живлення;

Н - навантаження;

БН - Баластне навантаження.

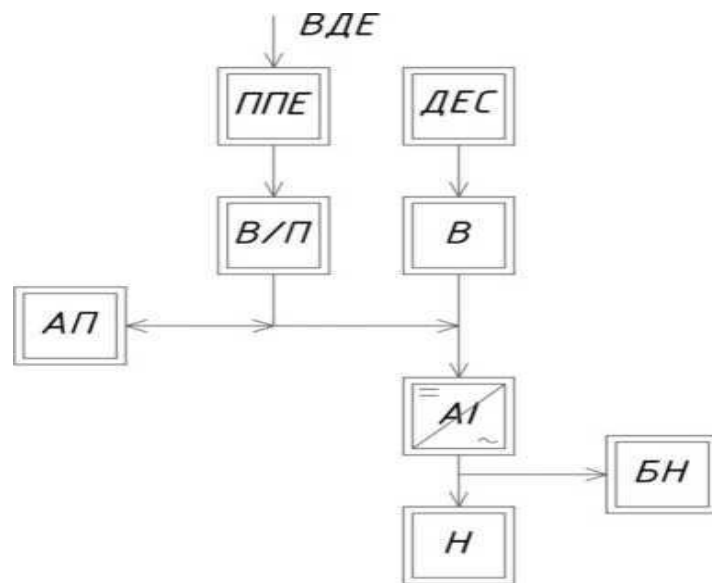


Рисунок 1.4 - Гібридний енергетичний комплекс з шиною постійного струму.

ВДЕ - відновлюване джерело енергії;

ДЕС - дизельна електростанція;

ППЕ - перетворювач первинного енергоресурси

Н - навантаження;

БН - баластне навантаження;

В/П - випрямляч або перетворювач електроенергії;

В - випрямляч напруги;

АП - акумулюючий пристрій;

АІ - автономний інвертор.

Зазвичай, в якості перетворювача напруги (надалі - ПН) в таких системах використовуються випрямно-інверторні перетворювачі частоти. Такі ж

перетворювачі входять до складу сучасних вітроелектростанцій. Ця обставина, а також генерація електроенергії фотоелектричними модулями постійного струму, визначають можливість об'єднання енергоджерел гібридної системи на шині постійного струму (рис.1.4).

Переваги використання шини змінного струму проявляються при побудові системи розподіленої генерації, що зазвичай має місце при інтеграції енергоустановок ВДЕ в існуючі системи електропостачання [5].

Спільна робота в автономній системі електропостачання ДЕС і установок відновлюваної енергетики найбільш раціонально описується як робота вітро- та фотоелектростанції на електричну мережу, утворену дизельною електростанцією. ДЕС в цьому випадку розглядається як основне джерело електроенергії, а участь в генерації відновлюваних джерел електроенергії дозволяє зекономити значну частину палива [6].

Умовами стійкості та надійності системи електропостачання визначаються співвідношеннями потужностей ДЕС і мережевих інверторів фото- або вітроелектростанцій, такими, щоб миттєва потужність не перевищувала 40-50% потужності ДЕС. Структура такого комплексу наведена на рис.1.5.

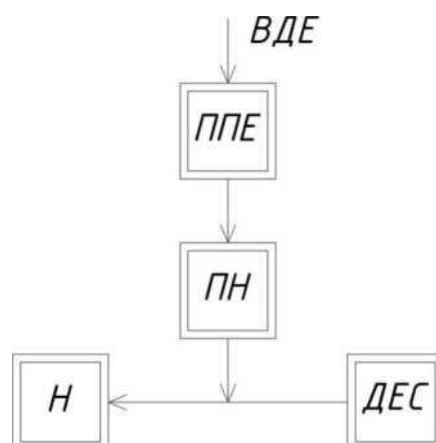


Рисунок 1.5 - Гібридний енергетичний комплекс з постійно діючою ДЕС

ВДЕ - відновлюване джерело енергії;

ППЕ - перетворювач первинного енергоресурси

ДЕС - дизельна електростанція;

ПН - перетворювач напруги;

Н - навантаження.

Перевагою подібних комплексів є їх простота, що дозволяє знизити початкові капіталовкладення та зменшити частку обслуговування обладнання.

Невеликий обсяг заміщення дизельної генерації є основним недоліком подібних систем.

1.2 Світові тенденції та загрози розвитку відновлювальних джерел енергії

В даний час панівне становище на ринку генерації електроенергії займає централізована енергетика, що складається з великих електростанцій і розгалуженої мережі ліній електропередачі (ЛЕП).

Особливість централізованої енергетики полягає в зосередженні переважно поблизу таких енергоресурсів як кам'яне вугілля, мазут, нафта, потужні річки і т.д. Однак найчастіше великі споживачі електричної енергії розташовуються далеко від джерел енергії, що передбачає наявність ЛЕП різної протяжності. Транспортування електричної енергії на далекі відстані тягне за собою неминучі її втрати.

Україна є типовим прикладом країни з уже розвиненою системою централізованого електропостачання та одночасно має істотну потребу в децентралізованих джерелах енергії.

Відокремлені мережі мають ряд незаперечних переваг, таких як:

- низькі втрати через малу віддаленість споживачів від джерела;

- розвантаження існуючих ліній з усіма наслідками, що впливають плюсами;
- підвищення надійності електропостачання за рахунок збільшення кількості джерел.

Найбільшого поширення децентралізовані системи електропостачання отримали для забезпечення електричною енергією наступних груп споживачів:

- індивідуальні споживачі невеликої потужності від одиниць до десятків кВт котеджі і заміські будинки, метеостанції, вежі стільникового зв'язку, польові об'єкти і експедиції, фермерські господарства, прикордонні, радарні і навігаційні пости і т.д.;
- групові непромислові споживачі встановленою потужністю від десятків до сотень кВт - окремі великі житлові будівлі та мікрорайони, різні об'єкти соціальної сфери, торгові підприємства і установи охорони здоров'я, села, селища малоповерхової забудови і т. д.;
- промислові підприємства з встановленою потужністю від сотень до тисяч кВт.

Треба відзначити, що загальноприйнятого терміна «мала енергетика» в даний час немає. В електроенергетиці до малих електростанцій прийнято відносити електростанції потужністю до 30 МВт з агрегатами одиничною потужністю до 10 МВт.

Одним з найбільш перспективних напрямків підвищення енергетичної ефективності локальних систем електропостачання є використання в енергетичному балансі регіонів відновлюваних джерел енергії і оптимізація режимів роботи основного енергетичного обладнання.

У загальному випадку системи децентралізованого електропостачання на базі ВДЕ в залежності від типу використання первинного енергоносія можна розділити на групи:

- вітроелектричних установки;
- фотоелектричні модулі;
- малі гідроелектростанції;
- геотермальні станції;
- теплові електростанції (когенераційні і тригенераційні системи), в якості первинного палива використовують енергію біомаси та / або викопне паливо.

Уряди різних держав (Німеччина, США, Швеція, Норвегія, Данія) приділяють велику увагу підвищенню енергетичної ефективності та інвестиційної привабливості проектів з відновлюваними джерелами енергії, що дозволило вивести альтернативну енергетику на передовий рівень, демонструючи свої незаперечні переваги в генерації електричної енергії.

Стан ВДЕ в країнах, що розвиваються обумовлено необхідністю електрифікації автономних споживачів. Найчастіше саме в цих країнах сприятливі кліматичні умови для впровадження енергетичних установок на базі ВДЕ (Китай, Африканські держави, Латинська Америка і ін.).

Управління енергетичної інформації США опублікувало енергетичну статистику за 2017 рік. Згідно з нею, сонячна енергетика, включаючи фотоелектричні і теплові (CSP) станції, збільшила виробництво електричної енергії на 40,5% у порівнянні з минулим 2016 роком.

Фотоелектрична генерація (основний сегмент сонячної енергетики) зросла на 43,4%. Обсяги виробництва електроенергії на основі сонця склали 77 ТВт*год, що відповідає 1,92% сумарного виробництва електроенергії в країні.

Вітроенергетика США виробила 254 ТВт*год електроенергії, на 12% більше, ніж у 2016 році. Сонце і вітер спільно виробили 8,2% електроенергії, загалом більше, ніж дала гідроенергетика. За 2016 рік їх доля склала 6,9%.

У будь-якому випадку - це значні обсяги енергії (енергетика США виробляє у 4 рази більше електроенергії, ніж російська).

До того ж важливо оцінити динаміку росту. Якщо у 2015 році доля сонячної енергії становила менше 1%, то на теперішній час вона майже подвоїлась. А в чотирьох штатах США - Каліфорнії, Гавайї, Невада і Вермонт сонячна енергетика виробила більше 10% електроенергії, а Каліфорнія - 15%.

Треба відмітити, що виробництво електроенергії в цілому по країні скоротилось на 1,5%, генерація на основі викопного палива - на 5,3%, а доля вугілля вперше впала нижче 30%.. При цьому виробництво електроенергії газовими електростанціями скоротилось за рік на 7,7% (хоча електростанцій з використання в якості палива газу будується достатньо. як індивідуальні споживачі невеликої потужності від одиниць до десятків кВт

- котеджі і заміські будинки, метеостанції, вежі стільникового зв'язку, польові об'єкти і експедиції, фермерські господарства, прикордонні, радарні і навігаційні пости і т.д.;
- групові непромислові споживачі встановленою потужністю від десятків до сотень кВт - окремі великі житлові будівлі та мікрорайони, різні об'єкти соціальної сфери, торгові підприємства і установи охорони здоров'я, села, селища малоповерхової забудови і т. д.;
- промислові підприємства з встановленою потужністю від сотень до тисяч кВт.

Треба відзначити, що загальноприйнятого терміна «мала енергетика» в даний час немає. В електроенергетиці до малих електростанцій прийнято відносити електростанції потужністю до 30 МВт з агрегатами одиничною потужністю до 10 МВт.

Одним з найбільш перспективних напрямків підвищення енергетичної ефективності локальних систем електропостачання є використання в енергетичному балансі регіонів відновлюваних джерел енергії і оптимізація режимів роботи основного енергетичного обладнання.

У загальному випадку системи децентралізованого електропостачання на базі ВДЕ в залежності від типу використання первинного енергоносія можна розділити на групи:

- вітроелектричних установки;
- фотоелектричні модулі;
- малі гідроелектростанції;
- геотермальні станції;
- теплові електростанції (когенераційні і тригенераційні системи), в якості первинного палива використовують енергію біомаси та / або викопне паливо.

Уряди різних держав (Німеччина, США, Швеція, Норвегія, Данія) приділяють велику увагу підвищенню енергетичної ефективності та інвестиційної привабливості проектів з відновлюваними джерелами енергії, що дозволило вивести альтернативну енергетику на передовий рівень, демонструючи свої незаперечні переваги в генерації електричної енергії.

Стан ВДЕ в країнах, що розвиваються обумовлено необхідністю електрифікації автономних споживачів. Найчастіше саме в цих країнах сприятливі кліматичні умови для впровадження енергетичних установок на базі ВДЕ (Китай, Африканські держави, Латинська Америка і ін.).

Управління енергетичної інформації США опублікувало енергетичну статистику за 2017 рік. Згідно з нею, сонячна енергетика, включаючи фотоелектричні і теплові (CSP) станції, збільшила виробництво електричної енергії на 40,5% у порівнянні з 2016 роком.

Фотоелектрична генерація (основний сегмент сонячної енергетики) зросла на 43,4%. Обсяги виробництва електроенергії на основі сонця склали 77 ТВт*год, що відповідає 1,92% сумарного виробництва електроенергії в країні.

Вітроенергетика США виробила 254 ТВт*год електроенергії, на 12% більше, ніж у 2016 році. Сонце і вітер спільно виробили 8,2% електроенергії, загалом більше, ніж дала гідроенергетика. За 2016 рік їх доля склала 6,9%.

У будь-якому випадку - це значні обсяги енергії (енергетика США виробляє у 4 рази більше електроенергії, ніж російська).

До того ж важливо оцінити динаміку росту. Якщо у 2015 році доля сонячної енергії становила менше 1%, то на теперішній час вона майже подвоїлась. А в чотирьох штатах США - Каліфорнії, Гавайї, Невада і Вермонт сонячна енергетика виробила більше 10% електроенергії, а Каліфорнія - 15%.

Треба відмітити, що виробництво електроенергії в цілому по країні скоротилось на 1,5%, генерація на основі викопного палива - на 5,3%, а доля вугілля вперше впала нижче 30%.. При цьому виробництво електроенергії газовими електростанціями скоротилось за рік на 7,7% (хоча електростанцій з використання в якості палива газу будується достатньо. як і видобування газу теж).

Всього безвуглецеві джерела (у тому числі атомна енергетика) виробили спільно 37,5% електроенергії від загальної кількості, при цьому вироблення мирного атому залишилось на попередньому рівні.

На прикладі свіжої американської статистики видно, що приріст сучасної економіки не обов'язково пов'язаний з ростом споживання енергії та відходів. За оцінками фахівців економіка США виросла на 2,3%, а споживання електроенергії впало на 1,5%. Також прогнозується, що у порівнянні з 2016 роком обсяги викидів CO₂ в атмосферу залишаться на тому ж рівні, або навіть дещо скоротяться. [7]

Аналізуючи статистичні дані щодо росту встановленої потужності ФВ - систем у Німеччині, починаючи з 2001 року і за весь період 2001-2016р.р., відслідковується тенденція зростання потужності ФВ- систем: різкий стрибок у 2008-2012 роках і практично абсолютний штиль, починаючи з 2014 року. У 2016 році приріст встановленої потужності склав всього 1ГВт, а сумарна встановлена потужність склала 40,5ГВт, тобто відбулася практично повна зупинка зростання.

Аналогічна картина відбувалася і з сумарною згенерованою електричною потужністю ФВ - систем по роках (2001-2016). Усього ж у 2016 році ФВ Німеччини дала біля 21% електроенергії з усіх відновлювальних джерел енергії (далі - ВДЕ). Сумарно, починаючи з 2001 року, ФВ згенерувала 218,9 ТВт*год.

На сьогодні тенденції в сонячній енергетиці Іспанії вкрай схожі з Німеччиною: короткий пік зростання встановленої потужності, який швидко затухає при зниженні тарифу, крім цього 2015 рік показав зниження встановленої потужності. Тим не менш треба відмітити, що сонячна електроенергетика переживає стадію стагнації. І це одна із найбільш сонячних європейських країн.

До речі, схожа картина і ситуація ще в одній сусідній країні - Португалії.

В ній у 2015 році відбулося падіння встановленої потужності по відношенню до минулого року наполовину (63 МВт в 2015 році проти 110 МВт у 2014 р.)

Також стагнація росту встановленої потужності спостерігається в таких країнах, як Бельгія, Нідерланди, Таїланд, Ізраїль. Інші країни можна розділити умовно на 2 групи.

Перша - у них сонячна енергетика не отримала промислового розвитку. У цій групі перебувають Швеція, Норвегія, Мексика.

Друга - у них доля сонячної енергетики коливається від 0,1% до 1 %, вона не грає суттєвої ролі в енергетиці країн і все ще перебуває на передпіковому етапі зростання, що відповідає 2006-2009 рокам у Німеччині. До неї

відносяться США, Китай, Індія, Туреччина, Франція, Південна Корея, Японія. Саме розвиток у цих країнах дозволяє говорити про зростання встановленої потужності у світовому масштабі (у першу чергу за рахунок Китаю).

За 2017 рік в Бельгії було встановлено 264 МВт сонячних електростанцій, що на 50% більше, ніж у 2016 році. Такі попередні дані опубліковано місцевою асоціацією відновлювальної енергетики APERE.

Цифри річного приросту далекі від рекордних показників початку 2010 року, коли у країні було введено привабливі для інвесторів система зелених тарифів та інші сприятливі умови. У 2011 році річний приріст навіть перевищив 1 ГВт.

Асоціація вважає, що приріст у минулому році у значній мірі обумовлений зниженням вартості обладнання. Самими активними інвесторами в сонячну генерацію виступили громадяни країни - 86% побудованого обсягу припадає на покрівельні електростанції одиничною потужністю до 10КВт.

Встановлена потужність фотоелектричної сонячної енергетики Бельгії наприкінці 2017 року досягла 3,816ГВт, що становить в середньому 336 Вт на кожного мешканця.

Португалія. В ній у 2015 році відбулося падіння встановленої потужності по відношенню до минулого року наполовину (63 МВт в 2015 році проти 110 МВт у 2014р.)

Також стагнація росту встановленої потужності спостерігається в таких країнах, як Бельгія, Нідерланди, Таїланд, Ізраїль. Інші країни можна розділити умовно на 2 групи.

Перша - у них сонячна енергетика не отримала промислового розвитку. У цій групі перебувають Швеція, Норвегія, Мексика.

Друга - у них доля сонячної енергетики коливається від 0,1% до 1 %, вона не грає суттєвої ролі в енергетиці країн і все ще перебуває на передпіковому етапі зростання, що відповідає 2006-2009 рокам у Німеччині. До неї відносяться США, Китай, Індія, Туреччина, Франція, Південна Корея, Японія. Саме розвиток у цих країнах дозволяє говорити про зростання встановленої потужності у світовому масштабі (у першу чергу за рахунок Китаю).

За 2017 рік в Бельгії було встановлено 264 МВт сонячних електростанцій, що на 50% більше, ніж у 2016 році. Такі попередні дані опубліковано місцевою асоціацією відновлювальної енергетики APERE.

Цифри річного приросту далекі від рекордних показників початку 2010 року, коли у країні було введено привабливі для інвесторів система зелених тарифів та інші сприятливі умови. У 2011 році річний приріст навіть перевищив 1 ГВт.

Асоціація вважає, що приріст у минулому році у значній мірі обумовлений зниженням вартості обладнання. Самими активними інвесторами в сонячну генерацію виступили громадяни країни - 86% побудованого обсягу припадає на покрівельні електростанції одиничною потужністю до 10КВт.

Встановлена потужність фотоелектричної сонячної енергетики Бельгії наприкінці 2017 року досягла 3,816ГВт, що становить в середньому 336 Вт на кожного мешканця.

У 2017 році бельгійська сонячна енергетика виробила 3,2ТВт*год електроенергії, що становить близько 4 % від спожитої країною енергії, а це 81,2 ТВт*год.

Відновлювальна енергетика в цілому виробила 18% електроенергії.

До 2040 року встановлена потужність сонячної енергії Бельгії має вирости до 18ГВт. Теперішній обсяг сонячної енергії Бельгії з населенням 11 млн. чол. в 2,1 рази перевищив цільовий показник розвитку галузі Росії до 2024р. (а це 1.8 ГВт).

За результатами опублікованих попередніх даних щодо розвитку сонячної енергетики за 2017 рік у Нідерландах було побудовано 700 МВт сонячних електростанцій. Це рекордний річний приріст за всю її історію. Встановлена потужність досягла 2,75 ГВт. (для порівняння: у Росії сонячна енергетика має зрости до 1,76% тільки у 2024 році).

У 2016 році в Нідерландах було побудовано 534МВт, у 2015р. - 467МВт.

Частка сонячної енергії у загальному споживанні електроенергії зросла до 1,75%, тоді як у 2015 році вона становила всього менше 1%.

Структура виробництва відновлювальної електроенергетики в Нідерландах показує про значний приріст генерації на основі вітру і сонця і зниження частки генерації на основі біомаси.

Нідерланди поки що відстають від сусідньої Бельгії в плані розвитку сонячної енергетики, але найближчими 1-2 роками ситуація має змінитися. Очікується, що у 2018 році Нідерланди можуть стати «гігаватним ринком», тобто за рік у країні буде введено в експлуатацію більше 1 ГВт сонячних електростанцій.

Європейська асоціація вітроенергетики Wind Europe опублікувало щорічну доповідь, в якій відображено статистичні дані не тільки по стану справ у своїй галузі, але й в електроенергетиці ЄС в цілому «Wind in power 2016 European statistics».

Основний висновок, який можна зробити із зазначеного документу, є те, що відновлювальна енергетика уже не «ніша» і не «альтернатива», а базова, основна енергетика. Справа в тому, що генеруючи потужності в інших

секторах електроенергетики ЄС вже декілька років підряд практично не будуються.

У 2014-2015 роках 100% чистого приросту потужності в європейській енергетиці припало на ВДЕ (чистий приріст - це різниця між побудованими і виведеними потужностями).

У 2016 році відновлювальна енергетика - це 96% чистого приросту, оскільки в газовій генерації було побудовано 3115МВт, а виведено 2256МВт. Навіть, якщо взяти весь сімнадцятирічний період (2000-2016р.р.), то виявиться, що вітряна і сонячна енергетика посідають відповідно перше і друге місця по показнику чистого приросту.

Європейська вітроенергетика у 2016 році виробила майже 300ТВт-год електроенергії, або 10,4% європейського споживання (за обсягами виробництва вітроенергетика все ще перебуває на 5-му місці серед усіх способів генерації).

У минулому році 44% усіх нових потужностей у вітряній енергетиці припало на Німеччину (5443МВт), далі йде Франція (1561МВт).

У Франції, Нідерландах, Фінляндії, Ірландії і Литві було встановлено рекордні за всю історію потужності у вітроенергетиці.

У Данії доля вітру у споживанні електроенергії склала 36,8%, в Ірландії - 27%, у Португалії - 24,7%, в Іспанії - 19%, Німеччині -16% . []

Таким чином можна ще раз підкреслити те, що відбувається зростання частки вітрових електростанцій і відновлювальних джерел енергії в цілому у виробництві електроенергії ЄС. [16]

Відповідно до Закону України «Про альтернативні джерела енергії» альтернативні джерела енергії - відновлювані джерела енергії, до яких відноситься енергія сонця, вітру, геотермальна енергія, енергія хвиль і

припливів, гідроенергія, енергія біомаси, газу з органічних відходів, газу каналізаційно-очисних станцій, біогазів, та вторинні енергетичні ресурси, до яких відноситься доменний і коксовий газ, газ метан дегазації вугільних родовищ, перетворення скидного енергопотенціалу технологічних процесів [12].

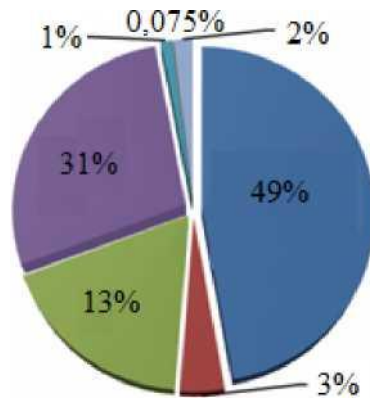
Дисбаланс у розвитку енергетичного комплексу, орієнтованого на централізоване електро- і теплопостачання і значне (більше 40%) виробництво енергії на АЕС; вимогами до скорочення викидів парникових газів, збільшенням вартості первинної енергії, дефіцит і поступове виснаження паливно-енергетичних ресурсів, призводить до необхідності використання енергії альтернативних джерел в економіці країни. Використання альтернативних джерел енергії набуло особливої актуальності в умовах поширення концепції її сталого розвитку [13]. Поняття стійкого розвитку було вперше запропоновано в 1987 році в звіті Комісії з питань навколишнього середовища і розвитку Організації Об'єднаних націй. Основні цілі концепції сформульовані в міжнародних документах і програмах, розроблених під егідою ООН, і стосуються широкого спектру проблем, які охоплюють економічні, громадські та екологічні сфери діяльності [14].

В умовах України за допомогою вітроустановок можливим є використання 15 - 19% річного об'єму енергії вітру, що проходить крізь перетин поверхні вітроколеса. Середньорічна кількість сонячного випромінювання, що потрапляє на 1м² поверхні, на території України коливається від 1070кВт*год./м²

Щорічно на територію України надходить 720 млрд МВт.*год. сонячної енергії, що дорівнює 88 400 млн тон у. п. Це значно перевищує сучасне споживання енергії нашою країною.

В даний час частка ВДЕ в структурі генерації енергії України становить 0,075% (рис 1.14). Енергетична стратегія України до 2035 року передбачає

збільшення на 25% використання ВДЕ. Найбільший розвиток очікується в використанні енергії вітру і сонця [16].



- Вугілля і торфу
- Нафта
- Природний газ
- Атомна енергія
- Гідроелектросенергія
- Енергія сонця та впру
- Біопаливо та відходи

Рисунок 1.14 - Структура споживання первинної енергії в Україні в 2025 році

У 2025 році була прийнята оновлена Енергетична стратегія України до 2035 року [16], в якій враховані сучасні тенденції світового розвитку енергетичної галузі. Пріоритетними напрямками Енергостратегії є наступні:

Стимулювання будівництва СЕС та ВЕС, сприяння створенню системи прогнозування генерації електроенергії:

- уведення в експлуатацію нових агрегатів ГЕС та ГАЕС (за умови підтвердження екологічної безпеки проектів;
- збільшення використання біомаси у генерації електро- та теплоенергії;
- стимулювання генерації електроенергії малопотужними установками ВДЕ;
- забезпечення реалізації проектів з децентралізації енергопостачання на місцевому рівні (на основі використання відновлюваної енергетики, «розумних мереж», підвищення енергоефективності);
- створення умов для формування системи з логістичного забезпечення та інфраструктури для збирання біологічної сировини та подальшого її транспортування;
- вивчення можливості та, за доцільністю, впровадження використання акумуляторів для балансування енергетичної системи, у тому числі з метою нівелювання нерівномірної роботи генеруючих потужностей ВДЕ;

удосконалення механізму стимулювання виробництва енергетичного устаткування в Україні.

Відповідно до даного документа прогноз технічно досяжного використання потенціалу ВДЕ в 2030 році складе 12,6% всієї встановленої потужності або 8 ГВт (14 ГВт з урахуванням ГЕС), а обсяг генерації - 14 ТВт • год (28 ТВт • год з урахуванням ГЕС) [16].

Використання альтернативних джерел, як у всьому світі, так і в Україні має ряд очевидних переваг у порівнянні з традиційними ресурсами:

- використання ВДЕ дозволяє знизити рівень викидів в атмосферу і забруднення навколишнього середовища, зменшити витрати на переробку відходів енергетичних об'єктів;
- відновлювані джерела невичерпні;
- терміни окупності будівництва енергетичних об'єктів з використанням ВДЕ коротше, ніж у електростанцій на викопному паливі;
- витрати на забезпечення енергією децентралізованих споживачів і регіонів менше;
- використання ВДЕ пов'язане з розвитком наукомістких галузей з мультиплікативним економічним ефектом;
- ВДЕ ближче до споживача, що зменшує витрати на транспортування.

Однак поряд з перерахованими вище перевагами використання ВДЕ існує низка завдань, які суттєво гальмують процес.

Для ефективного розвитку ВДЕ необхідні нормативні правові акти, що стимулюють використання ВДЕ і забезпечують на практиці вільний доступ їх виробників до електричних мереж.

У енергії, виробленої з використанням альтернативних джерел висока собівартість, високі інвестиційні ризики і початкові капітальні витрати, що робить такі проект менш привабливими та рентабельними для інвесторів.

До того ж очевидна добова, сезонна і погодна нестабільність генерації електроенергії з ВДЕ, менша потужність тепло- і електростанцій, недостатній розвиток машинобудування і технологічної бази для виробництва устаткування, неготовність автопарку до масового переходу на біопаливо, схильність електроенергетичних мереж до централізованого постачання і великим одиничним потужностям [18].

1.2 Можливості та бар'єри на шляху використання потенціалу альтернативних джерел енергії

Глобальні тенденції розвитку енергетики Декарбонізація енергетики набуває більшого впливу з точки зору запобігання зміні клімату, що впливає на формування балансу енергогенеруючих потужностей. Прийняття Паризької кліматичної угоди ставить перед міжнародною спільнотою завдання щодо покладання на себе нових цілей протидії змінам клімату та інтенсифікації зусиль, у тому числі Україною.

Важливу роль у виконанні цього завдання будуть відігравати ядерна енергетика, гідроенергетика, вітрова енергетика та інші ВДЕ, що викидають найменшу кількість викидів парникових газів. Вирішенню проблеми декарбонізації енергетичного сектору сприятиме, зокрема, незмінна позиція України щодо доцільності використання ядерної енергії.

Україна розглядає атомну енергетику як одне з найбільш економічно ефективних низьковуглецевих джерел енергії. Подальший розвиток ядерного енергетичного сектору на період до 2035 року прогнозується виходячи з того, що частка атомної генерації в загальному обсязі виробництва електроенергії зростатиме.

Револьюційні технологічні новації очікуються у сфері транспорту. Попереду - в найближчі десятиліття - очікується прогресуюча відмова від двигунів внутрішнього згоряння вуглеводнів та заміна значної частини таких транспортних засобів на рухомий склад, що використовуватиме беземісійні електричні двигуни та екологічно чисті водневі двигуни.

Отже, зростаюча конкуренція на світових енергетичних ринках та стрімкий науково-технічний прогрес у розвитку ВДЕ та альтернативних видів палива розширюють для України можливості щодо вибору джерел і шляхів постачання первинних енергетичних ресурсів, оптимізації енергетичного міксу та, в перспективі, зменшення викидів парникових газів.

Передбачається стаке розширення використання всіх видів відновлюваної енергетики, яка стане одним з інструментів гарантування енергетичної безпеки держави. У коротко- та середньостроковому горизонті (до 2025 р.) НЕС прогнозує зростання частки відновлюваної енергетики до рівня 12% від ЗППЕ та не менше 25% - до 2035 р. (включаючи всі гідроенергуючі потужності та термальну енергію). Вітрова та сонячна енергетика. За умови подальшого здешевлення ВДЕ їх економічно обґрунтований потенціал буде зростати.

При цьому розширення використання відновлюваної енергетики безпосередньо у споживача не підпадає під обмеження енергосистеми і формує перспективу динамічного розвитку на місцевому рівні. Державна політика має бути орієнтована на стимулювання первинної ініціативи приватних гравців ринку. Має стимулюватися також розвиток децентралізованої відновлюваної енергетики (наприклад, фотоелектричні системи та сонячні колектори на дахах житлових будинків тощо), потенціал якої оцінюється у ~5% споживання електроенергії населенням.

Зростатиме частка сектору електроенергетичної галузі, який використовує тверду біомасу та біогаз як енергоресурс, що зумовлюватиметься як відносною сталістю виробництва (за наявності ресурсної бази), так і тенденцією до формування локальних генеруючих потужностей. Перевага віддаватиметься одночасному виробництву теплової та електричної енергії в когенераційних установках і заміщенню вуглеводневих видів палива. Гідроенергетика. Гідроенергетика відіграє важливу роль у стійкості ОЕС України, оскільки забезпечує енергетичну систему високоманевровими потужностями в регулюванні добових графіків навантаження з покриттям пікової частини та заповненням нічних провалів, а також виконує функцію аварійного резерву потужності. До 2025р. необхідно завершити реконструкцію існуючих потужностей ГЕС та будівництво нових агрегатів ГЕС та ГАЕС, що дозволить зберегти у структурі генерації

найбільш економічні та маневрові з них, а також збільшити їх потужність. Основні заходи з реалізації стратегічних цілей у секторі ВДЕ:

- проведення стабільної та прогнозованої політики щодо стимулювання будівництва СЕС та ВЕС;
- проведення міжнародних комунікаційних кампаній для заохочення входу на ринок ВДЕ України міжнародних стратегічних та фінансових інвесторів;
- будівництво та введення 5 ГВт потужностей ВДЕ (окрім ГЕС великої потужності) ;
- збільшення використання біомаси у генерації електро- та теплоенергії шляхом: о стимулювання використання біомаси як палива на підприємствах, де біомаса є залишковим продуктом; о інформування про можливості використання біомаси як палива в індивідуальному теплопостачанні; о сприяння створенню конкурентних ринків біомаси. Система управління
- Виключення політичного впливу на діяльність державних компаній, повна імплементація провідних стандартів корпоративного управління (наприклад, принципів ОЕСР);
- розподіл функцій і повноважень органів влади з регулювання кожного з енергетичних ринків відповідно до вимог Третього енергетичного пакету;
- впровадження сучасних практик корпоративного управління державними енергетичними компаніями;
- запровадження на рівні суб'єктів господарювання практики аналізу та реагування на загрози роботі енергетичних об'єктів (contingency planning);
- децентралізація владних повноважень, передача ресурсів і відповідальності за функціонування житлово-комунальної сфери та комунальної енергетики на місцевий рівень;

- сприяння децентралізації систем енергозабезпечення, використання
- забезпечення відкриття для споживачів структури тарифів на природний газ, електроенергію, теплову енергію, їх транспортування. [стратегія]

Міжнародний досвід використання і розвитку альтернативної енергетики свідчить про необхідність підтримки проектів з використанням ВДЕ з боку державних, регіональних органів влади та диктує ефективні методи енергопостачання, що забезпечує наступні переваги [19]:

Розглянемо бар'єри, які не дозволяють реалізувати існуючий технічний потенціал проектів альтернативної енергетики. Такі перешкоди можна умовно поділити на такі групи:

- законодавчі;
- економічні;
- науково-технічні;
- інформаційні;
- психологічні.

Законодавчі бар'єри використання ВДЕ полягають у відсутності єдиного законодавства в сфері альтернативної енергетики, тільки ряд законодавчих актів, пов'язаних з малою енергетикою, реалізацією Кіотського протоколу. Крім того відсутні затверджені державні цілі та пріоритети розвитку ВДЕ. Також не існує нормативних підзаконних актів, які б забезпечували на практиці вільний доступ незалежних виробників до електричних мереж енергосистем. Бар'єром є недостатній розвиток діючих механізмів стимулювання розвитку використання ВДЕ (податкові пільги, субсидії, компенсації, зобов'язання, пільгове кредитування і т.п.). Просування традиційної паливної та ядерної енергетики; при порівнянні традиційних та

альтернативних джерел енергії не враховується екологічна складова вартості енергії, вартість утилізації та переробки відходів виробництва енергії [19].

Державне втручання у формування цін на енергоресурси і монополістична структура енергоринку є основними економічними бар'єрами на шляху переходу України до використання ВДЕ. Державний контроль цін на енергоносії і, як результат, встановлення цін нижче ринкових, які частіше за все не відображають середньострокові і довгострокові витрати на виробництво енергії, є значним бар'єром для залучення інвестицій в модернізацію та нарощування потужностей альтернативної енергетики [20]. Також, перешкодами є низька платоспроможність населення і підприємств та недостатність стимулів для вкладення коштів в даний вид генерації.

Науково-технічний бар'єр розвитку потенціалу ВДЕ проявляється у відсутності, для деяких видів енергії, готових рішень для систем електропостачання, низький рівень стандартизації і сертифікації обладнання, недостатньому обсязі науково-технічних і технологічних розробок і невисокому рівні знань про інноваційні технології в даній сфері [21].

Ще один бар'єр на шляху використання нових видів палива - психологічний. Інформаційним бар'єром є слабка інформованість населення, керівників і громадськості про можливості ВДЕ. Відсутність широко поставленої пропаганди по радіо, телебаченню і в пресі про можливості і переваги ВДЕ, відсутність відомостей про позитивні приклади використання [19].

Проблеми енергопостачання з використанням альтернативних джерел енергії неодноразово досліджувалися в науковій літературі [20, 21]. Одні автори розглядають питання впровадження технологій альтернативної енергетики з техніко технологічної точки зору, інші досліджують економічну складову процесу енергопостачання.

Проблемам удосконалення функціонування систем електропостачання, зокрема надійності та ефективності електропостачання присвячені глибокі теоретичні дослідження відомих вчених-електроенергетиків: І.О.Будзка, В.М.Синькова, І.І. Мартиненка, В.В. Овчарова, В.В Тисленка, М.С. Левина, Т.Б. Ліщинської, П.І. Савченка, В.В. Козирського та інших.

Дослідженню автономних систем електропостачання та їх елементів, розробці науково-технічних передумов використання поновлювальних джерел у малій електроенергетиці присвячені роботи А.К. Шидловського, А.В. Праховника, В.А Атрощенко, В.Я. Жуйкова, С.О. Кудрі, В.Ф. Резцова, Ю.К. Розанова, В.С. Руденка, О.В. Григораша та інших.

В роботі [38] стверджується, що з огляду на великий потенціал в сфері ВДЕ, для ефективного використання енергії альтернативних джерел в Україні необхідним є дотримання низки основних завдань, що сприятиме створенню ефективних механізмів реалізації проектів, а саме нормативно-правового, економічного, методичного, інформаційного, кадрового і організаційного поля забезпечення. У той самий час ускладненість розвитку проектів з використанням ВДЕ слугує відсутність науково обґрунтованих рекомендацій і системності підходів до процесу вибору структури енергопостачання регіонів.

У зв'язку з цим, питання удосконалення методичного забезпечення розробки та впровадження проектів альтернативної енергетики, а також завдання оцінки ризиків використання ВДЕ на ТЕС є пріоритетним і дуже перспективним для України.

Не менш важливим питанням, пов'язаним з енергопостачанням регіонів з використанням потенціалу ВДЕ, є скорочення шкоди, що завдається навколишньому середовищу в процесі генерації енергії, яка має комплексний характер: забруднення води, повітря, ґрунтів. Очевидно, що одним з

кардинальних способів вирішення екологічних проблем енергетичної сфери є скорочення використання традиційних ресурсів і перехід на ВДЕ.

Перспективи подальшого дослідження припускають розробку нових і вдосконалення існуючих моделей вибору структури енергопостачання, методик вибору пріоритетних технологій генерації енергії, Планування структури енергопостачання регіонів з використанням ВДЕ можливо за умови застосування структурованого, комплексного підходу для оцінювання проектів альтернативної енергетики.

Висновки до розділу

На сьогоднішній день використання енергії сонця та вітру стали основними видами відновлювальних джерел енергії. За існуючими оцінками, економічний потенціал ВДЕ має дуже великі перспективи для розвитку та впровадження на території України. Основною перешкодою є залежність від існуючих економічних умов; вартості, наявності та якості запасів корисних копалин паливно-енергетичних ресурсів; регіональних особливостей і т.д. Відновлювана енергетика здатна зробити значний вклад у вирішення проблем підвищення надійності електропостачання споживачів та сприятиме децентралізації системи ОЕС України.

+Найбільш перспективним варіантом побудови комбінованих автономних систем електропостачання є впровадження проектів з комбінації централізованого електропостачання разом з вітро- та фотоелектричними генеруючими установками.

2. МЕТОДОЛОГІЯ РОЗРАХУНКУ РІВНЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ АВТОНОМНИХ СИСТЕМ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

2.1 Фактори, що впливають на ціну генерації електричної енергії

Зниження вартості затрат за умовну одиницю енергії грає фундаментальне значення в оптимізації споживання електричної енергії. Досягти цього можна за допомогою встановлення власних генераторних потужностей, затрати яких значно менші, ніж ті, що встановлені на ринку електроенергії України.

Для визначення величини затрат на вироблення 1 кВтгод електричної енергії різнотипними джерелами електропостачання, в тому числі ОЕС, необхідно розглянути всі фактори, що впливатимуть на дані затрати.

Фактори, що характеризують оптимальність використання різнотипних джерел енергії (нетрадиційних, відновлюваних):

- якість електричної енергії від комбінованої системи електропостачання;
- собівартість електричної енергії від різних елементів комбінованої системи електропостачання;
- можливість управління системою в часі для повного забезпечення споживачів необхідною потужністю.

2.1.1 Централізоване електропостачання

Ціна на електричну енергію від мережі централізованого електропостачання постійно підвищується та залежать від багатьох факторів, наприклад, від цін на первинні енергоносії, сезонної зміни структури виробництва електроенергії. Розглянемо ціни без ПДВ за останні роки. Для цього побудуємо графік цін за 2024 та 2025 роки:

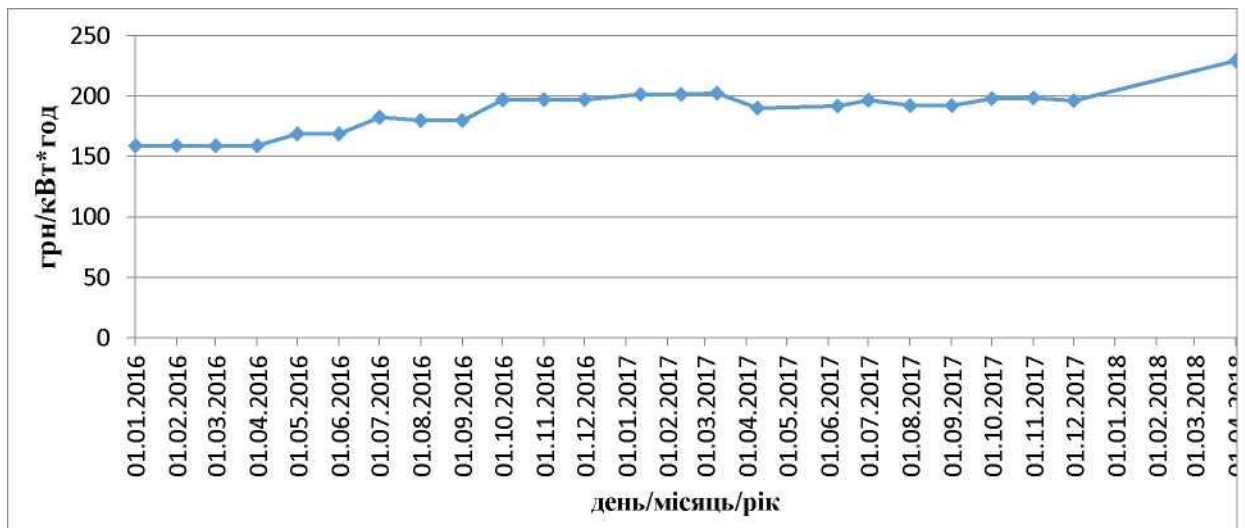


Рисунок 2.1 - Графік зміни ціни електричної енергії для споживачів (крім населення) по 2-му класу напруги, без ПДВ [54].

Постійне зростання цін на електроенергію, що спостерігається на рисунку 2.1, де видно, що тарифна сітка має лінійний характер, тому приймаємо цей факт за базове значення для подальших розрахунків з прогнозуванням подальшого росту тарифу.

Ціна за використану електричну енергію від централізованого електропостачання також залежить від обраного тарифу для розрахунків з електропостачальною компанією.

В Україні функціонує гнучка система тарифів [56]. Основним є одноставочний тариф. При наявності відповідних приладів обліку споживачі мають можливість розраховуватися за спожиту енергію по зонах доби. Крім того, фіксується договірна величина електричної потужності протягом розрахункового періоду в години контролю максимуму навантаження енергосистеми. Різниця перевищення договірної величини електроспоживання оплачується за регульованим тарифом відповідно до договору.

При дефіциті потужності, незалежно від обраного споживачем тарифу, енергопостачальною організацією встановлюються обмеження по потужності, так званими лімітами.

Система тарифів на електроенергію, що застосовується в Україні, стимулює споживача до управління режимами електроспоживання або навантаження.

Для потужних споживачів тарифи узгоджуються в рамках певних умов між енергопостачальною організацією та споживачем. При цьому виходять переважно із ціни за потужність, а загальна ціна складається що платиться за спожиту енергію, а також із ціни за потужність, що, як правило, визначається як використана й підтверджена вимірами потужність. Потужність розраховується на рік або на місяць.

Ціна потужності може визначатися і на основі замовленої потужності. При цьому передбачаються особливі надбавки на величину потужності, що перевищила замовлену.

Представимо SWOT аналіз систем тарифів для скляної промисловості в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 - SWOT-аналіз систем тарифів

<u>Одноставочні тарифи</u>				
<u>Тип тарифної системи</u>	<u>Сильні сторони</u>	<u>Слабкі сторони</u>	<u>Можливості</u>	<u>Загрози</u>
1	2	3	4	5
1) за приєднаним навантаженням $C=P_{\text{пр}} \cdot a$ $C=M_{\text{пр}}C$	<u>Простота розрахунку.</u> <u>Немає необхідності в пристроях обліку.</u>	<u>Неможливість оцінки реального споживання.</u> <u>Не стимулює споживача зменшувати навантаження в години максимуму</u>	<u>Не потрібні пристрої обліку. Придатний для тимчасового обліку.</u>	<u>Перевитрата енергії (зловживання). Не використовується в дефіцитних енергосистемах.</u>
2) прогресивний чи прямий за лічильником $C'=W'-b$	<u>Простота обліку і розрахунку за електричну енергію.</u>	<u>Не враховує максимум споживання і тарифні зони доби. Відсутність впливу на графік споживання і максимальну потужність.</u>	<u>Придатний для дрібних споживачів. Простота контролю і обмеження споживання по лічильнику.</u>	<u>При великій максимальній потужності негативний внесок в пік енергосистеми. Не використовується в дефіцитних енергосистемах.</u>

Продовження табл. 2.1

1	2	3	4	5
<u>3) регресивний чи ступеневий за лічильником</u> $W1 < W < W2 \quad C = W - b_1$ $W2 < W < W3 \quad C = W b$ $W3 < W < W4 \quad C = W b$ 1.1 $b_1 > b_2 > b_3$ 1.2 $b_1 < b_2 < b_3$	<u>Можливість ефективного впливу на об'єми споживання. Стимулює високе споживання.</u>	<u>Відсутність впливу на графік споживання і максимальну потужність. Не враховує часові зони. Складність визначення зон</u>	<u>Використання при надлишку електроенергії в системі. Регулювання споживання.</u>	<u>Не враховує максимальну потужність. Не можна застосовувати в дефіцитній енергосистемі.</u>
<u>4) диференційований за лічильником</u> $C = b_1 \wedge W1 + b_2 \wedge (W2 - W1) + \dots + b_n \wedge (Wn - W_{n-1})$	<u>Можливість ефективного впливу на обсяг споживання. Стимулює раціональне електровикористання. Доцільний для великих споживачів.</u>	<u>Відсутність впливу на графік споживання і максимальну потужність. Не враховує часові зони. Складність приладів.</u>	<u>Можливість керування попитом на електроенергію.</u>	<u>Не враховує максимальну потужність.</u>
<u>5) диференційований за періодами часу</u> $C = b_1 - W_1 + b_2 - W_2 + b_3 - W_3$	<u>Участь споживача у вирівнюванні графіка навантаження. Об'єктивність відображення витрат на генерацію.</u>	<u>Складність систем обліку.</u>	<u>Згладжування нерівномірності добового графіка. Використання для великих споживачів.</u>	<u>Незацікавленість споживачів в запровадженні.</u>

2.1.2 Дизельні електричні станції.

На вироблення 1 кВтгод електричної енергії дизельною електростанцією впливають такі фактори:

1. Вартість обладнання дизельної установки. Для установок потужністю більше 30 кВт вартість дизель-генеруючої станції складає приблизно 200-500 \$/кВт. Ціни взяті середньоринкові по Україні.
2. Термін експлуатації установки (20-25 років).
3. Вартість обслуговування та ремонту. До вартості установки включено вартість обслуговування та заміни необхідних комплектуючих за рахунок сервісного договору. Вартість обслуговування приймаємо на рівні 10% від вартості обладнання.
4. Витрата масла на 1 кВтгод та його вартість. Витрата масла складає 0,25-1,5 г/кВтгод, що майже не впливає на ціну виробленої енергії дизельною установкою. Отже вартість витраченого масла складає 0,05 грн/ кВтто, в тому числі можливі затрати на обслуговування.
5. Витрата палива на 1 кВтгод та його вартість. Витрата палива лежить в межах від 0,15 до 0,3 л/кВтгод, і чим більша номінальна потужність установки, тим менша витрата палива.

Вартість дизельного пального в Україні в останні роки має постійний зростаючий характер, через те, що паливно-горючі матеріали є товарами заміниками (бензин, дизель, газ). Тому ціни можна прогнозувати виходячи зі зміни цін на один з цих товарів-замінників.

Приведемо ріст ціни за 1 літр дизельного пального за період 01.17-01.18 на рисунку 2.2. З рисунку видно, що ціни на дизельне пальне мають лінійну залежність і постійно зростають, тому можна з вірогідністю 95%

стверджувати, що в майбутньому вартість даного виду палива буде тільки зростати.

2.1.3 Вітроелектрогенеруючі установки

Фактори, що впливатимуть на формування грошових затрат на вироблення 1 кВтгод електричної енергії вітровою електроустановкою:

1. Вартість вітроелектрогенеруючої установки. Кількість, а отже і вартість акумуляторів буде залежати від режиму використання їх накопиченої енергії, та процесу їх зарядки. Для нашого випадку, оскільки енергія постійно виробляється і споживається, вартість акумуляторних батарей може скласти 30% від вартості ВЕУ.

2. Швидкість вітрового потоку притаманна місцевості, в якій встановлена ВЕУ.

Для аналізу даного потенціалу вітру розглянемо усереднений графік швидкості вітру для Запорізької області за 2017 рік за годинами доби (рисунок 2.3).

3. Термін експлуатації ВЕУ та її допоміжного обладнання. Термін експлуатації ВЕУ складає 25-30 років, а акумуляторних батарей 10-15 років.

4. Вартість обслуговування ВЕУ. Питомі річні експлуатаційні затрати складають до 2 % від вартості основного обладнання. [58].

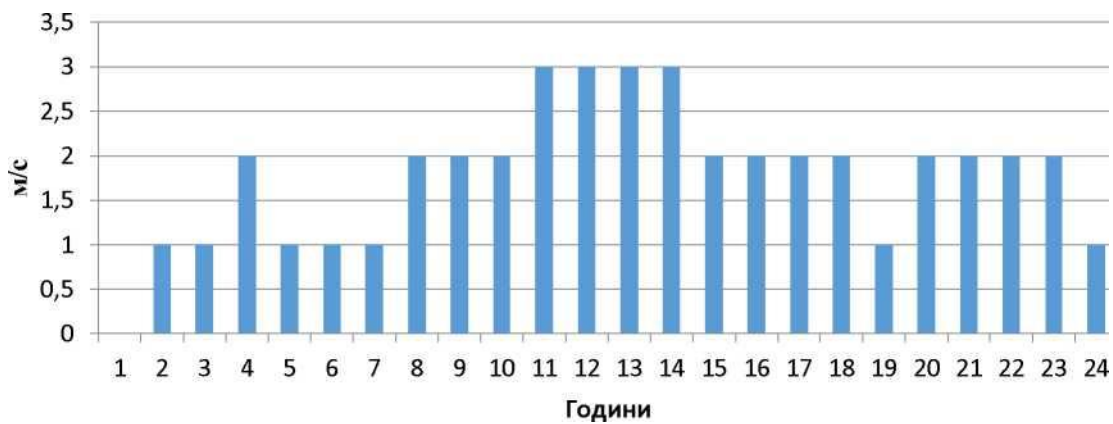


Рисунок 2.3 - Графік усередненої швидкості вітру в залежності від години доби, для Запорізької області

2.1.4 Сонячні електричні установки.

Фактори що впливатимуть на величину затрат на вироблення 1 кВтгод електричної енергії сонячною електроустановкою:

1. Вартість основного та допоміжного обладнання сонячних електростанцій.

Ціна на фотоелектричний модуль дуже різноманітна, що пояснюється різними виробниками, технічними характеристиками, номінальною потужністю, допоміжними властивостями елементів модулю, властивостями його покриття та іншим.

Для дослідження оберемо фотоелектричний модуль потужність 160 Вт, та напругою 24 В, ціни якого змінюються в межах: 600-1200\$ (ABI-SOLAR SR- P636140 /24V).

Вартість такого допоміжного обладнання, як контролер заряду, акумуляторні батареї, інвертор та затрати на монтаж залежать в першу чергу від сумарної потужності фотоелектричних модулів. Монтажні роботи, пусконаладжувальні роботи та інші витрати складають додатково 40-70% від вартості основного обладнання.

2. Величина сонячної радіації, що залежить від місцевості, в якій встановлена СЕУ.

Для прикладу, представимо кількість сонячної енергії на 1 м² поверхні для Запорізької області, по місяцям на рисунку 2.4.

Кількість сонячної радіації на 1 м² поверхні, для Запорізької області.

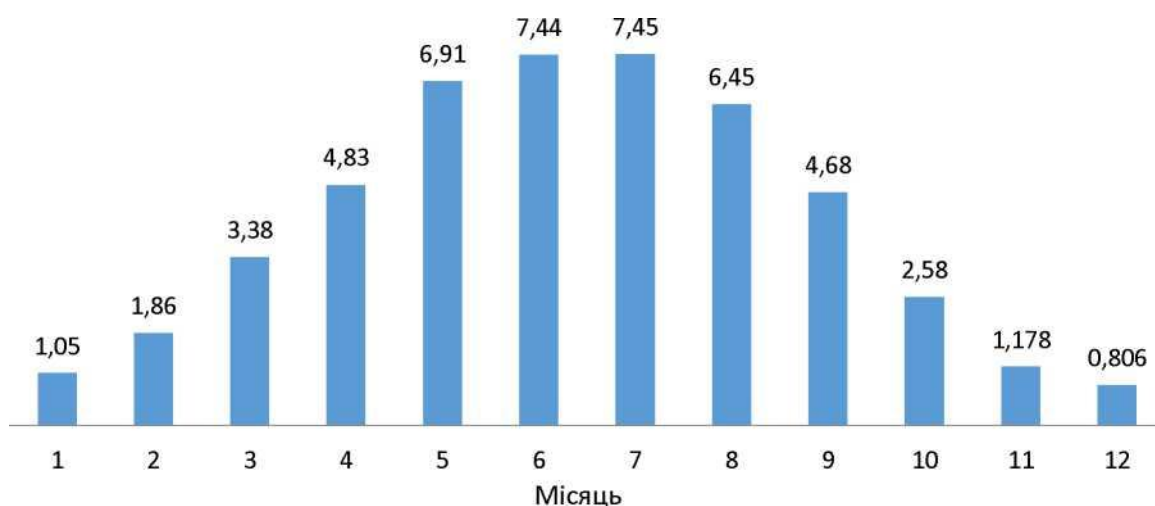


Рисунок 2.4 - Залежність кількості сонячної радіації, що потрапляє на 1 м² поверхні, протягом року (12-ти місяців)

4. Вартість обслуґ3. Термін експлуатації СЕУ. Термін служби акумуляторних батарей 10-15 років, контролеру за овування та ремонту СЕУ. Великих затрат на обслуговування СЕУ не потребують при правильній експлуатації та монтажу системи. Прийmemo питомі річні експлуатаційні затрати рівними 2% від величини основних фондів системи.

2.2 Аналіз річної генерації електричної енергії виходячи із затрат на кожну кВт*год

2.2.1 Установки на базі традиційних джерел енергії.

Вартість 1 кВтгод електричної енергії виробленої дизель генератором представимо у вигляді формули:

$$C_{\text{у}} = C_{\text{т}} - W^{+} c_{\text{о}} + c_{\text{п}} q, \quad (2.1)$$

де $C_{\text{у}}$ - питомі затрати на закупівлю генеруючої установки (за 1 кВт встановленої потужності);

$C_{\text{т}}$ - термін експлуатації установки;

W - кількість виробленої електричної енергії одиницею встановленої потужності установки за усереднений рік;

$c_{\text{о}}$ - питома вартість обслуговування установки;

$c_{\text{п}}$ - вартість одиниці палива що використовується установкою;

q - питома витрата палива (на 1 кВтгод електричної енергії).

Величина виробленої електричної енергії установкою за рік залежить від кількості годин роботи установки, отже доцільно провести аналіз залежності вартості 1 кВтгод від даного параметру.

Для дизель-генераторної установки вартість генерації 1 кВтгод в залежності від усередненого значення годин роботи, за день на повну потужність, відобразимо на рисунку 2.5. [55]

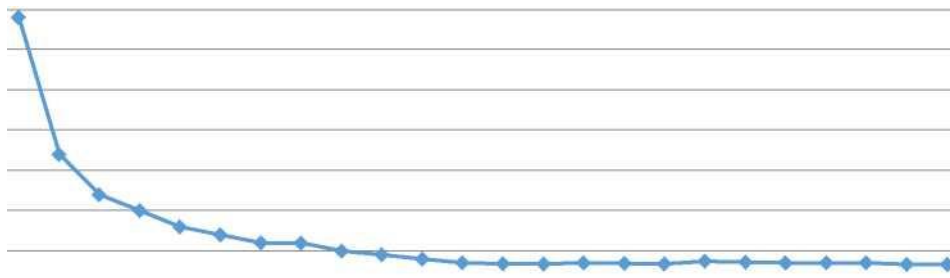


Рисунок 2.5 - Графік вартості генерації 1 кВттод ДЕС в залежності від усередненого значення годин роботи, за день на повну потужність

2.2.2 Установки на відновлюваних джерелах енергії.

У світі вартість електроенергії від відновлюваних джерел енергії (ВДЕ), виробленої на різних видах електростанцій знаходиться в середньому на рівні традиційних електростанцій; із загального ряду випадає фотоенергетика, де вартість електроенергії в 4-5 разів вища, однак спостерігається стійке зниження вартості електроенергії від ВДЕ, в тому числі і на фотоелементах, яка, відповідно прогнозів, наблизиться до вартості електроенергії від інших видів за 5-10 років [58].

При виконанні прогнозів розвитку енергетики на основі ВДЕ необхідно враховувати не тільки тенденцію до зниження вартості електроенергії виробленої за допомогою даного джерела енергії, але й підвищення вартості при генеруванні на традиційних електростанціях. За прогнозами, вартість електроенергії виробленої за рахунок ВДЕ, повинна знизитися з 8,5 цент/кВттод у 2000 році, до 5,5 цент/кВттод у 2050 році. Очікується, що за цей же період вартість електроенергії від електростанцій зі спалюванням палива збільшиться з нинішніх 3,2 до 4,5-7,0 цент/кВттод у 2050 році з урахуванням зростання цін на паливо. Таким чином, вихід вартості електроенергії, що виробляється за рахунок ВДЕ та на звичайних теплових електростанціях, на один рівень забезпечить можливість широкого

У світі вартість електроенергії від відновлюваних джерел енергії (ВДЕ), виробленої на різних видах електростанцій знаходиться в середньому на рівні традиційних електростанцій; із загального ряду випадає фотоенергетика, де вартість електроенергії в 4-5 разів вища, однак спостерігається стійке зниження вартості електроенергії від ВДЕ, в тому числі і на фотоелементах, яка, відповідно прогнозів, наблизиться до вартості електроенергії від інших видів за 5-10 років [58].

При виконанні прогнозів розвитку енергетики на основі ВДЕ необхідно враховувати не тільки тенденцію до зниження вартості електроенергії виробленої за допомогою даного джерела енергії, але й підвищення вартості при генеруванні на традиційних електростанціях. За прогнозами, вартість електроенергії виробленої за рахунок ВДЕ, повинна знизитися з 8,5 цент/кВтгод у 2000 році, до 5,5 цент/кВтгод у 2050 році. Очікується, що за цей же період вартість електроенергії від електростанцій зі спалюванням палива збільшиться з нинішніх 3,2 до 4,5-7,0 цент/кВтгод у 2050 році з урахуванням зростання цін на паливо. Таким чином, вихід вартості електроенергії, що виробляється за рахунок ВДЕ та на звичайних теплових електростанціях, на один рівень забезпечить можливість широкого використання ВДЕ в енергетиці різних країн [58].

2.2.3 Вартість електричної енергії виробленої на різних видах електростанцій

Мінімальна та максимальна вартість електроенергії, виробленої на мікро- та малих ГЕС, вже зараз нижча вартості електроенергії, виробленої традиційними енергосистемами; електроенергія, вироблена на ВЕС, практично знаходиться на рівні вартості електроенергії, генерованої на газотурбінних станціях з комбінованим циклом, що мають найвищі показники ефективності серед традиційних енергосистем. При порівнянні

вартості електроенергії, генерованої традиційними та відновлюваними енергосистемами видно, що енергосистеми на основі ВДЕ, крім сонячних, термодинамічних та фотоелектричних станцій, є цілком конкурентоспроможними вже зараз. Якщо прийняти до уваги тенденцію зниження вартості електроенергії від ВДЕ та підвищення вартості електроенергії на традиційних станціях, то можна прогнозувати значне зростання обсягів впровадження ВДЕ для виробництва електроенергії [58].

Для візуалізації світової вартості електричної енергії виробленої на різних видах палива, представимо рисунок 2.8.



Рисунок 2.8 - Середні значення мінімальної і максимальної вартості електроенергії на електростанціях на основі ВДЕ і різних видів палива: 1 - мікро- та малі ГЕС; 2 - ВЕС; 3 - геотермальні станції; 4 - ТЕС на відходах деревини; 5 - газифікація біомаси; 6 - газ звалищ; 7 - тверді побутові відходи; 8 - сонячні термодинамічні станції; 9 - фотоелектричні станції; 10 - ТЕС на вугіллі; 11 - екологічно чисті ТЕС; 12 - ТЕС на газі; 13 - газотурбінні з комбінованим циклом; 14 - атомні станції.

2.3 Оптимізація процесів вироблення електроенергії за допомогою створення комбінованої системи електропостачання

Створення оптимізаційних технологій на базі системи автоматичного контролю, управління виробленням електроенергії за допомогою різних генеруючих станцій та споживанням електроенергії різними технологічними процесами потребує розробки та використання в процесах управління відповідної математичної моделі [26].

Комплексна електроенергетична система об'єктів бюджетної сфери має можливість споживати електроенергію від:

- об'єднаної енергосистеми України (ОЕС);
- вітроенергетичної установки (ВЕУ) через накопичувачі електричної енергії;
- сонячної енергетичної установки (СЕУ) на базі акумулюючих накопичувачів енергії;
- дизельної електростанції (ДЕС);

Ці комплексні електроенергетичні системи можуть працювати у декількох режимах: паралельному, послідовному або послідовно-паралельних. При

паралельному режимі електроенергію виробляють одночасно всі вище перераховані установки. При послідовному режимі електроенергію виробляють поперемінно ВЕУ, СЕУ, ДЕС, у той час і споживання від системи централізованого електропостачання.

Створюючи алгоритми управління комбінованих систем електропостачання слід оптимізовувати технологічні процеси вироблення електроенергії ВЕУ, СЕУ, ДЕС та електроспоживанням від мережі,

перерозподіл між потужностями, акумулювання надлишкової енергії. Також слід застосовувати новітню автоматику, що дозволить оптимізувати режими роботи системи та обирати найвигідніше джерело енергії протягом всього часу експлуатації.

2.3.1 Критерії розробки математичної моделі оптимізації вироблення електроенергії комплексною електроенергетичною системою

Постановка задачі, до якої розроблюватиметься математична модель є дуже важливим етапом при даному дослідженні. Наша головна задача є розробка математичної моделі для оптимізації вироблення електричної енергії комплексною електроенергетичною системою.

Критерієм оптимізації в цьому разі можуть виступати різні фактори, наприклад:

- підвищення надійності електропостачання;
- зниження затрат на одиницю спожитої електроенергії;
- зниження сумарних затрат на енергоносії та електричну енергію;
- підвищення якості електрозабезпечення;
- визначення доцільності використання власних генеруючих потужностей та ін.

В даному дослідженні використаємо критерієм оптимізації зниження сумарних затрат на електричну енергію спожиту за певний період часу.

Як зазначалося вище, складовими комбінованої системи електропостачання є ВЕУ, СЕУ, ДЕС та централізоване електропостачання. Для побудови математичної моделі необхідно дослідити зв'язки між цими

елементами, внутрішні та зовнішні фактори, що впливають на функціонування системи.

Внутрішніми факторами системи визначимо такі параметри: функція перетворення енергії джерела в електричну енергію, максимальна потужність установки або конструктивний параметр, що характеризуватиме вихідну потужність та інше.

Зовнішніми факторами системи визначимо як контрольовані так і неконтрольовані подачі носія енергії котрий використовується установкою.

Основними економічними показниками системи визначимо питомі затрати на той чи інший ресурс системи.

Висновки до розділу

1. Вартість електричної енергії виробленої ДЕС залежить від об'єму виробленої електроенергії за час експлуатації станції. У вартість виробленої 1 кВтгод, входить питома вартість установки;
2. Вартість електричної енергії від ВЕУ та СЕУ на пряму залежить від регіону, де встановлені дані установки. Від цих факторів залежить час необхідний для генерації потужностей;
3. Ціна, що пропонується об'єднаною енергосистемою України на електричну енергію дещо більше за ціну вироблену ВЕУ, тому ціна на ВЕУ є цілком конкурентоспроможна, особливо при застосуванні зеленого, трьохзонного та спеціальних тарифів.
4. Вартість генерації електроенергії від ДЕС перевищує вартість її закупки від об'єднаної енергосистеми в години пік (при обраному

одноставочному трьохзонному диференційованому за періодами часу тарифі для розрахунків). При нормальних умовах дизельна електростанція не виробляє електричну енергію, а слугує як резервне джерело при перериванні постачання від ОЕС;

3. ПРАКТИЧНЕ ЗАСТОСУВАННЯ ДИСКРЕТНОГО ПРОГРАМУВАННЯ ДЛЯ ОПТИМІЗАЦІЇ ФУНКЦІОНУВАННЯ КОМБІНОВАНИХ АВТОНОМНИХ СИСТЕМ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

3.1 Аналіз вхідних даних отриманих за допомогою опитувальних листів.

Розглядається автономна система електропостачання невеликого району, що включає кілька поновлюваних джерел енергії: вітроенергетична установка, сонячна батарея та дизель-генератор в якості резервного джерела електроенергії. Не виключається також підключення споживачів до централізованої мережі. Споживачами є житлові будинки заміського типу, школа та дошкільний навчальний заклад. Споживачі мають можливість отримувати електроенергію від власних джерел або по лінії електропередачі 380 В від підстанції ТП-86 потужністю 320 кВА. Сумарне річне електроспоживання становить 119 525 кВт год.

В якості основних комп'ютерних програм для обробки емпіричних даних об'єкта дослідження використовуються пакети Microsoft Office Excel і ENSI EAB.

За основу взяті фактичні дані, що отримані з опитувальних листів, відправлених Замовнику і призначена для первинної статистичної обробки даних по електроспоживанню реально існуючого інфраструктурного об'єкта бюджетної сфери. Завдання полягає у визначенні такого рівня використання енергоресурсів, при якому сумарні енерговитрати досягають мінімального значення. Крім того, необхідно обґрунтувати параметри автономного енергокомплексу і оптимізувати структуру енергетичних потоків. Такі завдання вирішуються з використанням методів математичного моделювання, які є найбільш достовірними і обґрунтованими. Адекватність прийнятої моделі і дійсності можлива при досить глибокому вивченні закономірностей розвитку окремих факторів, що впливають на енергоспоживання.

Для моделювання і рішення економіко-математичних задач необхідно мати інформацію про енергоресурси, процесах виробництва, розподілу і споживання електричну, вітрова енергія - електричну і механічну. Системи з використанням енергії, а також нормативи і санітарно-гігієнічні вимоги [61].

При дослідженні питань, пов'язаних з оптимізацією структури енергетичних потоків, використовується системний підхід при виборі рішень, в якому об'єкт розглядається як складна система, що складається з безлічі елементів. і робота кожного елемента оптимізується з урахуванням його зв'язку з іншими елементами і впливу на роботу об'єкта в цілому. Рішення завдання оптимізації здійснюється за допомогою аналітичних та чисельних методів. Математична модель являє собою систему рівнянь і нерівностей, які відображають взаємозв'язки різних факторів в окремих елементах об'єкта і між елементами. Модель повинна відповідати вимогам змістовності з одного боку, і простоти опису з іншого.

При оптимізації структури енергетичних потоків автономного енергокомплексу одним з основних завдань є визначення такого рівня використання енергоресурсів, при якому питомі енерговитрати досягають мінімуму. При цьому враховуються необхідні в кожному конкретному випадку обмеження і дотримуються всі умови порівнянності при порівнянні різних варіантів енергопостачання і енерговикористання [62].

Використання нетрадиційних поновлювальних джерел енергії може розглядатися як самостійна частина загальної системи електропостачання. При цьому слід враховувати, що сонячна енергія (при існуючих умовах і технічному рішенні) може виробляти нетрадиційних відновлюваних джерел енергії виключають елементи, пов'язані з видобутком, транспортуванням і переробкою органічного палива і відсутністю викидів в атмосферу. Крім того, знижується радіус транспортування енергії за рахунок відсутності живильних мереж.

До недоліків відноситься циклічний характер надходження енергії від ВЕУ і СЕС протягом року, сезону і доби. Отже, використання цих джерел енергії будуть накладати певні обмеження, пов'язані з нерівномірністю подачі енергії в часі. У зв'язку з цим необхідно вирішувати задачу при оптимальному співвідношенні між різними джерелами енергії при електропостачанні споживачів. В даному розділі наведено результати розрахунків. Було проведено розрахунок оптимальної структури автономної системи електропостачання на основі ВДЕ для впровадження в одному із проектів «ДТЕК ЕСКО» в Запорізькій області.

У складі програмного комплексу реалізований ряд функцій - визначення енергоефективності одиничної генеруючої установки відновлюваної енергетики; формування стійкої структури автономної системи електропостачання. Усі алгоритми розрахунків реалізовані в програмному продукті Microsoft Office з використанням баз даних у форматі електронних

таблиць Microsoft Excel з застосуванням сторонніх розрахунків за допомогою програмного забезпечення ENSI EAB та ENSI Profitability.

Вихідними даними, необхідними для реалізації алгоритму є: ефективність кожної генеруючої установки, тобто кількість електроенергії, що виробляється протягом року та електроспоживання будівлі або закладу, яке живиться від автономної системи електропостачання.

В якості вихідних даних про споживання електричної енергії споживачем було взято відомості про обсяги споживання одного дошкільного навчального закладу, школи та одного житлового будинку взятих для впровадження компанією ТОВ "ДТЕК ЕСКО" за період 2015-2017 роки. Обсяги фактичного середнього річного споживання електричної енергії наведено на рисунку 3.1.

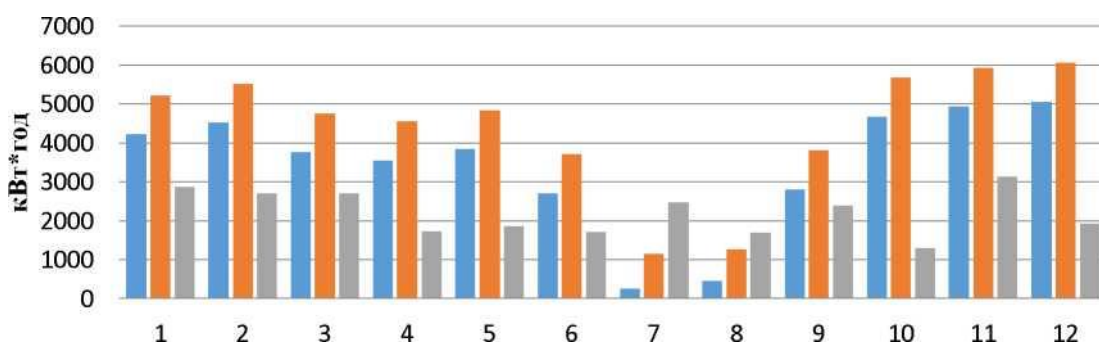


Рисунок 3.1 - Обсяги середнього річного споживання електроенергії об'єктами дослідження за 2015- 2017 р. (кВт*год)

На інформаційному етапі збираються дані про установки відновлюваної енергетики малої потужності (до 3 кВт) вітчизняного та зарубіжного виробництва для зіставлення наступних характеристик:

Для вітроустановок це: діаметр вітроколеса, профіль його лопастей; номінальна і максимальна потужності вітрогенератора, його номінальну напругу; початкова робоча швидкості; висота щогли і її тип; ККД вітроколеса, генератора, редуктора.

Для сонячних панелей: тип кристалів, номінальна потужність, напруга та струм на виході, спосіб встановлення, ККД.

Далі необхідно визначити досяжні обсяги генерації електричної енергії для кожної окремої установки відновлюваної енергетики протягом. При проведенні розрахунку було використано наступні методики:

- на основі методики викладеної в [52] для вітроустановок (дод.Д);
- на основі методики [53] для сонячних панелей (дод.Г).

Визначення обсягів генерації кожної установки відновлюваної енергетики проводиться на основі даних про погодні умови. Для виконання розрахунків було обрано наступні наступні погодні умови для міста Запоріжжя, Запорізької обл. (дод.Б):

- середньомісячний атмосферний тиск; середньомісячну швидкість вітру на висоті 10 м над поверхнею землі для пологих ландшафтів;
- середньомісячні швидкості вітру на висотах 50, 100, 150 і 300 м над поверхнею землі;
- середньомісячний відсоток часу швидкості вітру на висоті 50 метрів над поверхнею землі в заданому діапазоні;
- середньомісячний напрямок вітру на висоті 50 метрів над поверхнею землі;
- варіація статистичного коефіцієнта в залежності від швидкості вітру;
- середньомісячна температура повітря;
- рівень інсоляції на горизонтальну поверхню.

Початкові дані для розрахунку вітроустановок представлені на рис. 3.2-3.3 (дод.А).

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	Модель генератора	Намінальна потужність, (Вт)	Максимальна потужність	Початкова робоча швидкість вітру, м/с	Номінальна швидкість вітру, м/с	Висота мач	Діаметр ротора, м	
2	WE 1500 (Wind2)	1500	2600	2	10	12	3,4	
3	EuroWind2	2000	3000	2	9	9	3,2	
4	WE 3000 (Wind 4)	3000	5100	2	10	12	4,5	
5	Eurowind 5	5000	6400	2	10	12	6,4	
6	WE 8000 (Wind 10)	8000	13500	2	10	12	6,8	
7	EuroWind 10	10000	13000	2	10	12	8	
8	EuroWind 15	15000	21000	2,5	10	12	11	
9	EuroWind 20	20000	26500	2	12	18	10	
10	EuroWind 30	30000	35000	2,5	13	18	13	
11	EuroWind 50	50000	55000	3	13	18	18	

Рисунок 3.2 - Параметри вітроустановок.

Далі отримавши результати проводимо визначення швидкості вітру на різній висоті починаючи від 0,5м до 200м, на підставі методики для горизонтальних ВЕУ з щоглою довільної висоти. Наступним етапом є перерахунок діапазонів швидкості вітру по повторюваності для кожної ВЕУ (рисунок 3.4) (дод.Б)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1														
2														
3	Місяць	Січень	Лютий	Березень	Квітень	Травень	Червень	Липень	Серпень	Вересень	Жовтень	Листопад	Грудень	
4	Середньомісячна температура повітря на висоті 10 м над поверхню землі													
5	Температура повітря, (град С)	-3,3	-2,6	2	10,1	16,4	20,2	22,4	21,4	16,2	9,6	3,5	-1,1	
6	Густина повітря (кг/м3)	1,30116	1,29861	1,2714	1,212	1,12	1,11	1,1	1,01	1,14	1,16	1,2	1,266	
7	Середньомісячна швидкість вітру на висоті 10 м над поверхню землі													
8	Швидкість вітру, (м/с)	3,1	3	3,4	3	2,9	2,5	2,3	2,4	2,8	3	3,8	3,7	
9	Середньомісячний атмосферний тиск (кПа)													
10	Середнє значення за 25 років	102	102	102	101	102	102	103	103	102	104	103	102	
11														
12														
13	Сумарна інсоляція на горизонтальну поверхню протягом місяця(кВт*год/м²)													
14		Січень	Лютий	Березень	Квітень	Травень	Червень	Липень	Серпень	Вересень	Жовтень	Листопад	Грудень	РІК
15	Інсоляція, кВт/м²/д	1,65	1,66	3,28	4,83	6,91	7,44	7,45	6,45	4,68	2,58	1,178	0,806	48,61

Рисунок 3.3 - Середньомісячні швидкість вітру, температура, атмосферний тиск для м. Запоріжжя.

	J	K	L	M
3	Prolog Semicor pPSm-30	20	16	монокристал
4	Altec ALM-20	20	16	монокристал
5	Luxeon PT-20	20	16	монокристал
6	Perlight STR-20	20	16	полікристал
7	Prolog Semicor pPSm-25	25	16	монокристал
8	Perlight STR-30M	30	16	полікристал
9	Altec ALM-30	30	16	монокристал
10	Prolog Semicor pPSm-30	30	16	полікристал
11	Luxeon PT-40	40	16	монокристал
12	ABI-SOLAR SR-P660040	40	16	монокристал
13	Perlight PLM-50	50	17,5	монокристал
14	Perlight PLM-60	60	17,5	монокристал
15	Prolog Semicor PSm-95	100	16	монокристал
16	ABI-SOLAR SR-M60248100	100	16	полікристал
17	ABI-SOLAR SR-P636140	140	16	полікристал
18	ABI-SOLAR SR-P660240	240	16	полікристал
19	Prolog Semicor PSm-260	260	16	монокристал
20	Jasolar LT-260	260	16	полікристал

Рисунок 3.4 - Характеристики сонячних панелей

АНЗ	AI	AJ	AK	AL	AM	AN	AO	AP	AQ	AR	AS	AT	AU
1 Місячна генерація електроенергії (кВт*год)													
2 СУЕ	Січень	Лютий	Березень	Квітень	Травень	Червень	Липень	Серпень	Вересень	Жовтень	Листопад	Грудень	Зарік
3 Luxeon PT-080	0,42	0,63	1,1	1,29	1,5	1,44	1,48	1,45	1,17	0,927	0,505	0,371	12,2
4 Prolog Semicor pPSm-30	0,73	1,11	1,93	2,26	2,62	2,51	2,6	2,53	2,04	1,62	0,884	0,65	21,4
5 Altec ALM-20	0,73	1,15	1,98	2,33	2,69	2,58	2,67	2,6	2,1	1,67	0,909	0,668	22,1
6 Luxeon PT-20	0,73	1,15	1,98	2,33	2,69	2,58	2,67	2,6	2,1	1,67	0,909	0,668	22,1
7 Perlight STR-20	0,84	1,27	2,2	2,59	2,99	2,87	2,97	2,89	2,34	1,85	1,01	0,743	24,5
8 Prolog Semicor pPSm-25	1,01	1,53	2,64	3,1	3,59	3,44	3,56	3,47	2,8	2,23	1,21	0,891	29,4
9 Perlight STR-300M	1,18	1,78	3,08	3,62	4,19	4,02	4,15	4,05	3,27	2,6	1,41	1,04	34,3
10 Altec ALM-30	1,26	1,92	3,32	3,89	4,51	4,32	4,47	4,35	3,52	2,79	1,52	1,12	36,9
11 Prolog Semicor pPSm-30	1,28	1,94	3,36	3,95	4,57	4,38	4,53	4,41	3,56	2,83	1,54	1,13	37,4
12 Luxeon PT-40	1,54	2,33	4,03	4,73	5,48	5,23	5,43	5,29	4,27	3,39	1,85	1,36	44,9
13 ABI-SOLAR SR-P660040	1,6	2,42	4,19	4,92	5,69	5,45	5,64	5,49	4,44	3,52	1,92	1,41	46,6
14 Perlight STR-50	2,1	3,18	5,51	6,47	7,49	7,18	7,42	7,23	5,84	4,64	2,53	1,86	61,4
15 Perlight STR-60	2,52	3,82	6,61	7,76	8,98	8,61	8,9	8,67	7,01	5,56	3,03	2,23	73,7
16 Prolog Semicor PSm-95	3,99	6,05	10,5	12,3	14,2	13,6	14,1	13,7	11,1	8,81	4,8	3,53	116

Рисунок - 3.5. Результати розрахунку обсягів генерації електроенергії

окремими сонячними панелями

3.2 Аналітичний етап

Енергетичні потоки являють собою передану енергію протягом будь-якого проміжку часу. В основному це потоки електричної та теплової енергії, які можуть бути отримані від різних джерел (рисунок 3.9).

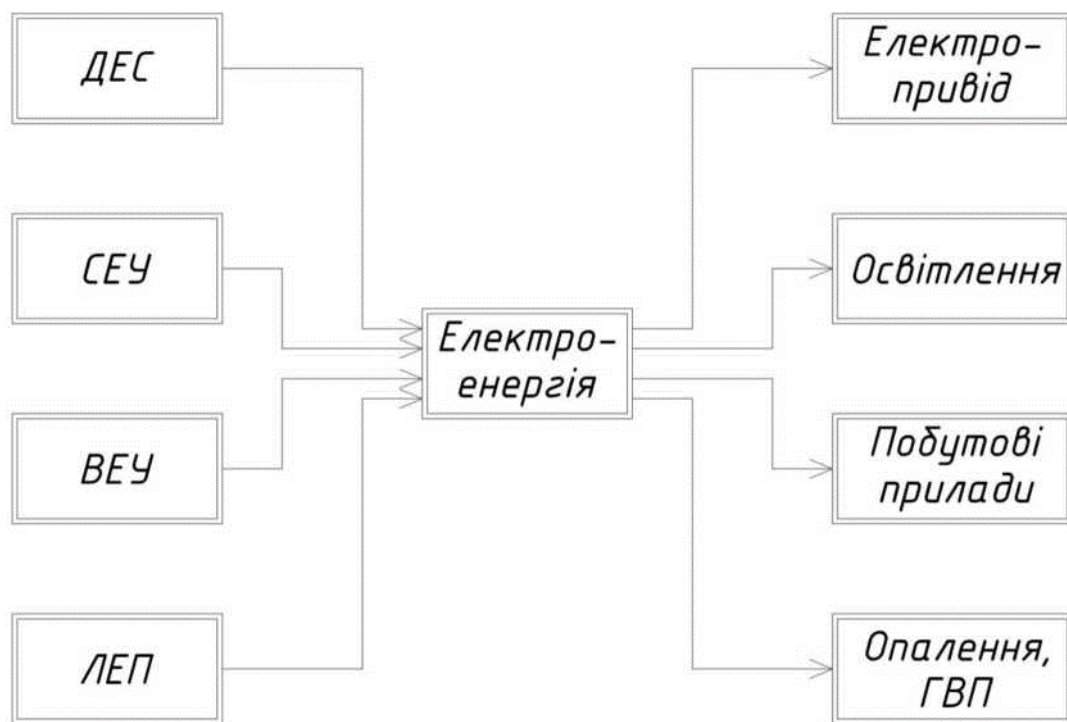


Рисунок - 3.6. Потоки енергії від різних джерел енергії комбінованої автономної системи електропостачання

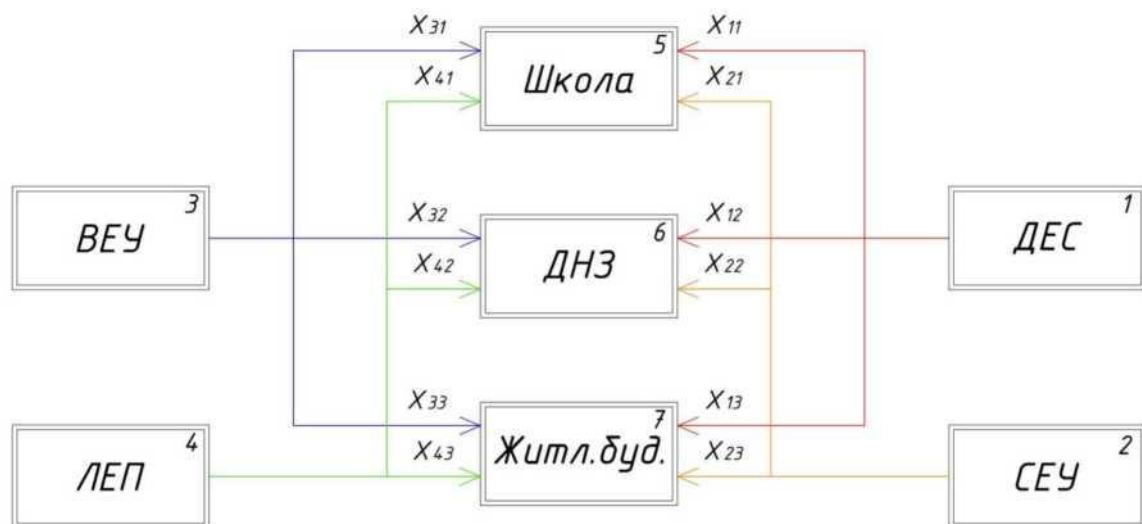


Рисунок - 3.7. Структурна схема потоків енергії від різних джерел енергії комбінованої автономної системи електропостачання.

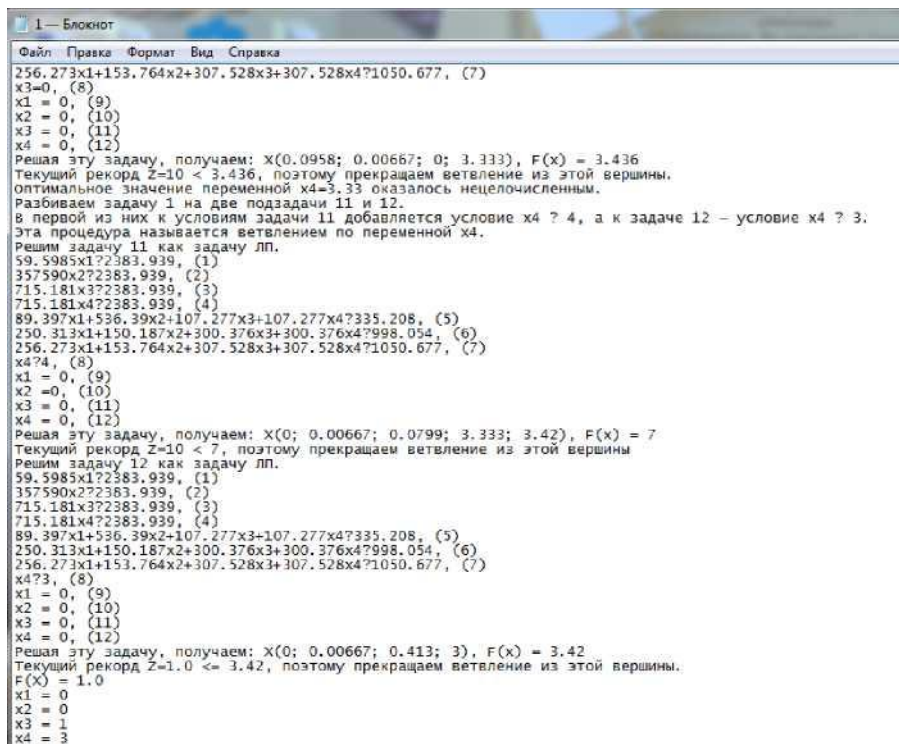
Рівняння (3.2) і (3.3) записуються окремо для джерел і споживачів енергії. Обмеження представляють собою верхній (а) і нижній (б) межі використання ресурсів. Змінними в моделі є зв'язки X_{ij} , що виражають річне споживання енергоресурсів споживачами.

Використовуючи тільки першу складову цільової функції, можна визначити енерговитрати на рік без урахування витрат на капіталовкладення та експлуатаційні витрати, для обліку яких необхідно використовувати другу складову цільової функції. Якщо енергія надходить в розглянуту систему

ззовні або передається з системи на сторону, розрахунок слід проводити за трьома складовими.

Змінні в рівнянні цільової функції є кількісне вираження того чи іншого енергетичного потоку. Їх значення не постійні і змінюються в певних межах. Нижня межа визначається мінімальною кількістю енергії, виходячи з норм споживання та вимог енергозбереження. Верхні межі зміни величини X_i відповідають існуючому енергоспоживанню, включаючи всі види втрат [63].

В результаті вирішення оптимізаційної задачі визначаються пріоритетні енергопотоки та річні питомі показники приведених затрат функціонування комбінованої автономної системи електропостачання. Результати проведених розрахунків наведені на рисунку 3.11



```
1 - Блокнот
Файл  Правка  Формат  Вид  Справка

256.273x1+153.764x2+307.528x3+307.528x4?1050.677, (7)
x3=0, (8)
x1 = 0, (9)
x2 = 0, (10)
x3 = 0, (11)
x4 = 0, (12)
Решая эту задачу, получаем: X(0.0958; 0.00667; 0; 3.333), F(x) = 3.436
Текущий рекорд Z=10 < 3.436, поэтому прекращаем ветвление из этой вершины.
оптимальное значение переменной x4=3.33 оказалось нецелочисленным.
Разбиваем задачу 1 на две подзадачи 11 и 12.
в первой из них к условиям задачи 11 добавляется условие x4 ? 4, а к задаче 12 - условие x4 ? 3.
Эта процедура называется ветвлением по переменной x4.
Решим задачу 11 как задачу ЛП.
59.5985x1?2383.939, (1)
357590x2?2383.939, (2)
715.181x3?2383.939, (3)
715.181x4?2383.939, (4)
89.397x1+536.39x2+107.277x3+107.277x4?335.208, (5)
250.313x1+150.187x2+300.376x3+300.376x4?998.054, (6)
256.273x1+153.764x2+307.528x3+307.528x4?1050.677, (7)
x4?4, (8)
x1 = 0, (9)
x2 = 0, (10)
x3 = 0, (11)
x4 = 0, (12)
Решая эту задачу, получаем: X(0; 0.00667; 0.0799; 3.333; 3.42), F(x) = 7
Текущий рекорд Z=10 < 7, поэтому прекращаем ветвление из этой вершины.
Решим задачу 12 как задачу ЛП.
59.5985x1?2383.939, (1)
357590x2?2383.939, (2)
715.181x3?2383.939, (3)
715.181x4?2383.939, (4)
89.397x1+536.39x2+107.277x3+107.277x4?335.208, (5)
250.313x1+150.187x2+300.376x3+300.376x4?998.054, (6)
256.273x1+153.764x2+307.528x3+307.528x4?1050.677, (7)
x4?3, (8)
x1 = 0, (9)
x2 = 0, (10)
x3 = 0, (11)
x4 = 0, (12)
Решая эту задачу, получаем: X(0; 0.00667; 0.413; 3), F(x) = 3.42
Текущий рекорд Z=1.0 < 3.42, поэтому прекращаем ветвление из этой вершины.
F(x) = 1.0
x1 = 0
x2 = 0
x3 = 1
x4 = 3
```

Рисунок - 3.8. Результаты проведених розрахунків надійнісно-вартісних

характеристик функціонування комбінованої автономної системи електропостачання.

Висновки до розділу

В результаті вирішення оптимізаційної задачі визначаються пріоритетні енергопотоки та річні питомі показники приведених затрат функціонування комбінованої автономної системи електропостачання.

За допомогою математичної моделі розробленої в даному розділі та проведеного моделювання енергетичних потоків генерації електроенергії можна зробити висновок, що використання ВЕУ є економічно виправданим заходом.

Якщо при побудові комбінованої системи електропостачання враховувати екологічні характеристики установок, то у графіку генерації електроенергії комплексною електроенергетичною системою з'явиться місце і для сонячної електроустановки;

2. ПРОПОЗИЦІЇ ПО ВПРОВАДЖЕННЮ РЕЗУЛЬТАТІВ ДИСЕРТАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Опис ідеї по впровадженню

Метою даного розділу є визначення умов для задоволення попиту споживачів на електричну енергію та потужність на підставі аналізу їх регіональних, економічних та соціальних особливостей, а також режимів електроспоживання, підвищення енергетичної ефективності комбінованих систем електропостачання за умови використання відновлюваних джерел енергії.

Завдання розділу полягає в маркетинговому аналізі перспектив реалізації запропонованих науково-технічних рішень та пропозицій, оцінювання можливостей їх ринкового впровадження.

Об'єкт дослідження. Процеси функціонування комбінованих автономних систем електропостачання з різними джерелами енергії, інтегрованих у систему централізованого електропостачання.

Предмет дослідження. Методи оптимізації структури функціонування комбінованих систем електропостачання, процеси вироблення електричної енергії генеруючими установками шляхом використання альтернативних джерел енергії.,

Методи дослідження. Проведені дослідження ґрунтуються на сучасних методах обчислювальної математики, прикладного статистичного аналізу, теорії надійності, системного аналізу та синтезу комплексних багатоагрегатних систем, аналізу інформації з використанням сучасних комп'ютерних технологій.

Дослідження дозволить оцінити можливості залучення більшої частки ринку споживачів на електроенергію, а також оцінити фактори впливу на формування попиту на електричну енергію та потужність, тобто визначити шляхи зменшення витрат у різних споживачів на електричну енергію. Опис ідеї стартап проекту наведено у таблиці 4.1.

Таблиця 4.1

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Підвищення ефективності та надійності комбінованих систем електропостачання. У складі програмного комплексу реалізований ряд функцій - визначення енергоефективності одиначної генеруючої установки відновлюваної енергетки; формування стійкої структури автономної системи електропостачання.	1.Сфера освіти (ВНЗ, НДІ)	Вивчення нових методів дослідження, нові напрямки застосування методів.
	2.Сектор приватних підприємств	Зменшення енергоспоживання, той самий або навіть збільшення випуску кінцевої продукції.
	3.Енергогенеруючі компанії	Зменшення енергоспоживання, збільшення маневрених потужностей, зменшення викидів CO ₂ .
	4.Житлові будинки (приватні та громадські)	Зменшення енергоспоживання, підвищення надійного постачання енергії.
	5.Енергосервісні компанії	Новий спосіб залучати клієнтів житлових будинків, новий захід з енергозбереження.
	6. Компанії з продажу відновлювальних джерел енергії	Збільшення обсягу проданої продукції, збільшення зацікавленості клієнтів купувати продукцію, нові можливості до застосування ВДЕ.

За даними проведеного аналізу техніко-економічних переваг ідеї можна визначити основні переваги порівняно із пропозиціями конкурентів:

Енергозаміщення маневрених потужностей (газ, вугілля) альтернативними джерелами енергії (СЕУ, ВЕУ). Це дозволяє скоротити викиди CO₂ в атмосферу, вирішення задачі за допомогою математичного моделювання дає нові можливості для комбінації різнотипних джерел енергії. Це дасть змогу підключатися до єдиної енергосистеми України без втрати надійності відпуску електричної енергії та підвищить ефективність роботи систем такого типу.

Аналіз ринкових можливостей запуску стартап проекту полягає у визначенні ринкових можливостей, які можна використати під час ринкового впровадження проекту, та ринкових загроз, які можуть перешкодити реалізації проекту, дозволяє спланувати напрями розвитку проекту із урахуванням стану ринкового середовища, потреб потенційних клієнтів та пропозицій проектів-конкурентів. Дані фактори значно впливають на взаємовідносини між підприємцем-споживачем. SWOT-аналіз групи споживачів з точки зору впровадження та організації наведено у таблиці 4.2

Таблиця 4.2

Сильні сторони	Слабкі сторони
• Можливість прогнозування електроспоживання • Висока рівномірність споживання за годинами та сезонами року • Достатня платоспроможність • Можливості для розвитку галузі • Зменшення викидів CO₂	• Застаріле обладнання • Необхідна надійність електропостачання • Висока енергоємність продукції • Чутливість на ціни на електроенергію
Можливості	Загрози
• Використання нових технологій та обладнання • Вторинне використання енергоресурсів • Зменшення втрат при передачі та розподілі електроенергії • Використання вигідних тарифних груп • Вирівнювання графіків навантаження до благоприємного для енергосистеми виду • Участь споживача в зменшенні дефіциту потужності	• Труднощі платежів • Поява незалежного поставника • Нестабільність законодавства

Висновки до розділу

Запропоновано впровадження результатів дослідів на більшості підприємств України різних сфер діяльності (хімічна, металургійна, промислова,

машинобудівельна, енергетична та інші) для отримання оптимального рішення щодо споживання та раціонального використання основних фондів.

Можливі перешкоди в Україні з впровадження комбінованих систем електропостачання зумовлені нестабільністю законодавством, застарілим обладнанням на підприємствах та великими стартовими капіталовкладеннями.

Використання в якості джерела електричної енергії установок відновлюваної енергетики дозволить підвищити надійність електропостачання споживачів, покращить ефективність використання природних ресурсів та зменшити кількість шкідливих викидів на території області, знизить протяжність електричних мереж і технологічні витрати електроенергії на її транспортування.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі викладено вирішення наукових завдань підвищення енергетичної ефективності комбінованих автономних систем електропостачання з використанням ВДЕ з використанням методів дискретного програмування. Проведені дослідження дозволили отримати наступні основні результати і висновки.

1. Вартість електричної енергії виробленої ДЕС залежить від об'єму виробленої електроенергії за час експлуатації станції. У вартість виробленої 1 кВтгод, входить питома вартість установки;
2. Вартість електричної енергії від ВЕУ та СЕУ на пряму залежить від регіону, де встановлені дані установки. Від цих факторів залежить час необхідний для генерації потужностей;
3. Ціна, що пропонується об'єднаною енергосистемою України на електричну енергію дещо більше за ціну вироблену ВЕУ, тому ціна на ВЕУ є

цілком конкурентоспроможна, особливо при застосуванні зеленого, трьохзонного та спеціальних тарифів.

4. Вартість генерації електроенергії від ДЕС перевищує вартість її закупки від об'єднаної енергосистеми в години пік (при обраному одноставочному трьохзонному диференційованому за періодами часу тарифі для розрахунків). При нормальних умовах дизельна електростанція не виробляє електричну енергію, а слугує як резервне джерело при перериванні постачання від ОЕС;

5. В результаті вирішення оптимізаційної задачі визначаються пріоритетні енергопотоки та річні питомі показники приведених затрат функціонування комбінованої автономної системи електропостачання.

6. За допомогою розробленої математичної моделі та проведеного моделювання енергетичних потоків генерації електроенергії було практично доведено, що використання ВЕУ є економічно виправданим заходом.

7. Якщо при побудові комбінованої системи електропостачання враховувати екологічні характеристики установок, то у графіку генерації електроенергії комплексною електроенергетичною системою з'явиться місце і для сонячної електроустановки;

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Калинчик В. П. Оценка рисков генерации ^нергии из возобновляемых источников / В. П. Калинчик, М. Т. Кокорина // Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація / Збірник наукових праць КНТУ. - Кировоград: КНТУ, 2013. - № 26. - С. 225-230.
2. Енергетична стратегія України на період до 2030 р.: розпорядження Кабінету Міністрів від 24.07.2013 № 1071/ Кабінет Міністрів України / Офіц. вид. - К.: Парлам. вид-во, 2013. - 166 с.
3. Лукутин Б.В. Децентрализованные системы ^лектроснабжения с ветровыми и солнечными ^лектростанциями: учебное пособие/ Лукутин Б.В., Муравлев И.О., Плотников И.А. - Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2015. - 100 с.
4. Виссарионов, В.И. ^нергетическое оборудование для использования нетрадиционных и возобновляемых источников ^нергии / В.И. Виссарионов, С.В. Белкина, Г.В. Дерюгина, В.А. Кузнецова, Н.К. Малинин -М., 2004. 448 с
5. Бурбело М.Й. Проектування систем електропостачання. Приклади розрахунків / Бурбело М.Й. - Вінниця: Універсум-Вінниця, 2005. - 148 с.
6. Елистратов В.В., Конищев М.А. Ветродизельные ^лектростанции для автономного ^нергоснабжения северных территорий России // Альтернативная ^нергетика и ^кология, №11(151)/2014
7. Балужин, В.М. Расчет Энергопотребления при проектировании автономной системы ^лектроснабжения. ^лектрооборудование автономных

объектов. Текст. / В.М. Балужин, В.И. Дулов М.: Сборник научных трудов М^И, 1987. - № 143. - С. 19-23.

8. Castle J. Analysis of merits of hybrid wind/photovoltaic concept for standalone systems. Text. / J.A. Castle, J.M. Kallis, S.M. Moite, N.A. Marshall // Proceeding of the 13th IEEE Photovoltaic specialists conference. 1981. - P. 738-742.

9. Стаття 24news ^лектронний ресурс]/ Інформаційний ресурс. -
Режим доступа: <http://24news.com.ua>

10. Калинчик В. П. Планирование ^нергообеспечения регионов Украины на основе возобновляемых источников ^нергии / В. П. Калинчик, М. Т. Кокорина // Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського / Наук. журнал. - Кременчуг.: КрНУ імені Михайла Остроградського, 2013. - №3 (80). - С. 60-65

11. Калинчик В. П. Оценка рисков генерации ^нергии из возобновляемых источников / В. П. Калинчик, М. Т. Кокорина // Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація / Збірник наукових праць КНТУ. - Кіровоград: КНТУ, 2013. - № 26. - С. 225-230.

12. Gergaud, O. Energy modeling of lead-acid battery within hybrid wind/photovoltaic systems. Text. / O. Gergaud, G. Robin — Режим доступа: <http://www.bretagne.ens-cachan.fr>.

13. Другий спільний звіт ЄС-Україна в енергетичній галузі. Про хід реалізації положень Меморандуму про взаємопорозуміння між ЄС та Україною щодо співробітництва в енергетичній сфері протягом 2007 року [Електронний ресурс] / Співробітництво між Україною та ЄС в енергетичній галузі. - Режим доступу: <http://mfa.gov.ua/ua/page/open/id/>

14. Закон України «Про альтернативні джерела енергії» N 555-IV від 20 лютого 2003 р. / Верховна Рада України. - Офіц. вид.- К.: Відомості Верховної Ради України, 2003. - N 24. - ст.155
15. Сталий розвиток України в контексті використання відновлювальних та нетрадиційних джерел енергії [Електронний ресурс] / А. О. Рожко. - Режим доступу: www.confcontact.com/2007may/1_rozhko.htm
16. Проект Постанови Верховної Ради України "Про концепцію переходу України до сталого розвитку" № 5749 від 02.07.2004 р
17. Энергетическая стратегия Украины на период до 2030 года: распоряжение N 145-р от 15.03.2006/ Кабинет Министров Украины. / Офиц. изд. - К.: Парлам. изд-во, 2006. - 129 с.
18. Енергетична стратегія України на період до 2030 р.: розпорядження Кабінету Міністрів від 24.07.2013 № 1071/ Кабінет Міністрів України / Офіц. вид. - К.: Парлам. вид-во, 2013. - 166 с.
19. Развитие использования возобновляемых источников энергии в государствах - участниках СНГ [Електронний ресурс] / Содружество Независимых Государств. - Режим доступа: www.e-cis.info/foto/pages/23522.doc
20. Пугач Л. И. Нетрадиционная энергетика - возобновляемые источники, использование биомассы, термохимическая подготовка, экологическая безопасность : учебное пособие / Л. И. Пугач, Ф. А. Серант, Д. Ф. Серант ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, 2006. - 345 с.
21. Нетрадиционные возобновляемые источники энергии [Електронний Ресурс] : злектронній журнал енергосервисной компании // экологические системы. - 2005. - № 11. - Режим доступа: <http://esco-ecosys.narod.ru/200511/art14.htm>

22. Перспективи розвитку «зеленої» економіки [Електронний Ресурс] : звіт Фонду ім. Фрідріха Еберта / Ю. Огаренко, А. Мартинюк. - Режим доступу: http://www.fes.kiev.ua/new/wb/media/publikationen/green_economy_perspectives.pdf
23. Лукутин Б. В. Возобновляемые источники ^лектро^нергии: учебное пособие / Б. В. Лукутин. - Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2008. - 187 с.
24. Находов В.Ф. Ймовірносно-статистичний підхід до побудови енергобалансів виробничо-господарських об'єктів / В.Ф. Находов, О.В. Бориченко // Промислова електроенергетика та електротехніка “Промелектро”. - 2007. - № 6. - С.45-54.
25. Розен В.П. Планирование оптимального использования потенциала ^нергозбережения промышленных предприятий / В.П. Розен, А.И. Соловей, А.В. Чернявский, В.А. Казмирук // Технічна електродинаміка. - 2006. - №5. - С. 59-67.
26. Праховник А.В. Контроль ефективності енерговикористання - ключова проблема управління енергозбереженням / А.В. Праховник, В.Ф. Находов, О.В. Бориченко // ^нергосбережение, ^нергетика, ^нергоаудит. - 2009. - №8 (66). - С. 41-54.
27. Калинчик В.П. Определение шага дискретизации для контроля и управления ^лектропотреблением / В.П. Калинчик, А.А. Петров, В.В. Калинчик // Промислова електроенергетика та електротехніка “Промелектро”. - 2010. - №3. - С. 20-24.
28. Праховник А. В. Побудова автоматизованих систем обліку електроенергії для енергетичних об'єктів / А.В. Праховник, В.П. Калинчик, О.В. Дегтярьов // Новини енергетики. - 2007. - №5. - С.55-58.

29. Ковалко М.П. Особливості формування енергозберігаючої політики в Україні / М.П. Ковалко, С.П. Денисюк. - К.: Держкоменергозбереження України, 1996. - 72 с.
30. Праховник А.В. Практичний посібник з енергозбереження для об'єктів промисловості, будівництва та житлово-комунального господарства / А.В. Праховник, В.В. Прокопенко, О.М. Закладний, В.І. Дешко та інші. - Луганськ: Місячне сяйво, 2010. - 696 с.
31. Гелету́ха Г.Г. Україна: нетрадиційні та відновлювані джерела енергії / Г.Г. Гелету́ха, С.О. Кудря // Зелена енергетика. - 2005.- №2.- С. 6-8.
32. Енергоефективність та відновлювані джерела енергії / С. М. Бевз [та ін.]; під заг. ред. А. К. Шидловського: - НАН України, Підприємство "Укренергозбереження". - К. : Українські енциклопедичні знання, 2007. - 560 с. - ISBN 978-8578-08-3
33. Денисюк С.П. Принципи побудови автономних систем енергопостачання на базі нетрадиційних джерел енергії / Денисюк С.П. - Новітні технології в сфері нетрадиційних і відновлюваних джерел енергії, №2. - К.: Державний комітет з енергозбереження України, НАН України, АТ "Укренергозбереження", 1999. - С.39-42. концепции Smart Grid / Б.Б. Кобец, И.О. Волкова. - М.: ИАЦ ^нергия, 2010. - 208 с.
34. Праховник А.В. Розосереджена генерація: стан і перспективи / А.В. Праховник, В.А. Попов, В.В. Ткаченко, F.A. Farret, L. Canha, S. Frieta // Новини енергетики. - 2003. - № 3-1. - С. 54-58.
35. Мхитарян Н.М. ^нергетика нетрадиционных и возобновляемых источников. - К: Наукова думка, 1999. - 320 с.
36. Комплексное использование нетрадиционного ^нергетического сырья и ^ффективность региональной знергетики / Е.И.Сухин - К.: Знання України, 2005. - 63 с.

37. Planning for Renewable Energy A Companion Guide to PPS22 / Office of the Deputy Prime Minister. - England, 2004. - 185 p. - ISBN 1851127542
38. Faninger G. Economic Perspectives of Renewable Energy Systems / G. Faninger // Vienna University of Technology. - Klagenfurt, 2011. - 119 p.
39. The contribution of renewable energy to a sustainable energy system/ M.A. Uytendinck, G.H., H. Rosler, N. Kouvaritakis, V. Panos [and others] // Energy research Centre at the Netherlands. - 2005. - 146 p
40. Казак В. М. Оцінка ефективності використання вітрової та сонячної енергетики в Україні / В. М. Казак, Я. М. Панченко, К. В. Ковбій // Наукоємні технології. - 2009. № 3-4 (7-8). - С. 81-85.
41. Гнеденко Б.В., Колмогоров А.Н. Предельные распределения для сумм независимых случайных величин. - М.: Государственное издательство технико-теоретической литературы, 1949. - 264с.
42. Ларин В. Состояние и перспективы применения возобновляемых источников энергии. Характеристика возобновляемой Энергетики. Некоторые рекомендации. Материалы международного семинара в г. Москва 14-15 апреля 2006г. "Региональные возможности и проблемы возобновляемой энергии России". - М.: Scientific Press, 2006. - 107с.
43. Fisher R.A., Corbet A.S., Williams CD. The relation between the number of species and the number of individuals in a random sample of an animal population. - Journal of Animal Ecology, 1943, No. 12. - P.42-58.
44. Williams CB. Patterns in the balance of nature, and the related problems in quantitative ecology. - L. and N.Y.: Academic Press, 1964. — 324
45. Hill Bruce M., Woodroffe Michael. Stronger forms of Zipf's law // Journal of American Statistical Association, 1975, vol.70, No.349. -P.212-219.

46. Яблонский А.И. Математические модели в исследовании науки. - М.: Наука, 1986.-352с.
47. Ошурков М.Г. Понятийное, модельное и математическое обеспечение задач электротехники // «Электрификация металлургических предприятий Сибири». Вып. 12. Под ред. Кудрина Б.И. - Томск: Издательство ТГУ, 2005. - 324с.
48. Гнатюк В.И., Северин А.Е., Гринкевич С.Н. Программный комплекс «Электропогружение объекта техноценологического типа» // Электротехника, 2004. -№6.-С.31-34.
49. Ценологические исследования распределенных простых чисел (30-летие открытия) / Под ред. Фуфаева В.В. - Москва-Абакан: Центр системных исследований. - 144с.
50. Серпинский В. Что мы знаем и чего не знаем о простых числах / Пер. с польского Мельниковой И.Г. - М.: Государственное издательство физико-математической литературы, 1963. - 92с.
51. Шнирельман Л.Г. Простые числа. - М.: Государственное издательство техникотеоретической литературы, 1940. - 60с.
52. Трост Э. Простые числа / Пер. с нем. Фельдмана Н.И. / Под ред. Гельфонда А.О. - М.: Государственное издательство физико-математической литературы, 1959. - 135с.
53. Фуфаев В.В. Ценологическое определение параметров электропотребления, надежности, монтажа и ремонта электрооборудования предприятий региона. - М.: Центр системных исследований, 2000. - 320с.
54. Borowy, B. Optimum photovoltaic array size for a hybrid wind/PV system. Text. / B. Borowy, Z. Salameh // IEEE Transaction on energy conversion. 1994. - Vol. 9.- №3.-P. 482-487.

55. Самойлов Д.В. Расчет величин поступления теплоты от солнечной радиации на поверхность Земли. - М.: Издательство МГТУ им. НЗ. Баумана, 2006. -20с.
56. Мінфін Електронний ресурс] / . - Режим доступа:
<http://index.minfin.com.ua/ua/markets/fuel/dt/2017-12>
57. Будько В.І. Використання енергопотенціалу вітру та сонця в автономних енергосистемах на території України // Відновлювана енергетика -2010 - № 1 - с. 26-35.
58. Правила користування електричною енергією. Затв. НКРЕ 31.07.96 р, №27, в редакції 2005 р.
59. І.В. Кузьо, В.М. Корендій* Національний університет “Львівська політехніка”, кафедра механіки та автоматизації машинобудування, *кафедра експлуатації та ремонту автомобільної техніки ОБҐРУНТУВАННЯ РОЗВИТКУ ВІТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК МАЛОЇ ТА НАДМАЛОЇ ПОТУЖНОСТІ
60. 15. Энергоефективність та відновлювані джерела енергії [Текст] / С. М. Бевз [та ін.] ; під заг. ред. А. К. Шидловського ; Нац. акад. наук України, Підприємство "Укренергозбереження". - К. : Українські енциклопедичні знання, 2007. - 560 с. - ISBN 978-8578-08-3
61. Метеодані Електронний ресурс] / . - Режим доступа:
[http://meteocenter.net/;](http://meteocenter.net/)
62. Плешков Сергій Петрович. Автоматизація управління енергоспоживанням в сільськогосподарському виробництві в умовах невизначеності: дисертація канд. техн. наук: 05.13.07 / Кіровоградський держ. технічний ун-т. - Кіровоград, 2003.
63. Аракелов, В.Е. Методические вопросы ^кономии ^нергоресурсов / В.Е. Аракелов, А.И. Кремер. - М.: ^нергоатомиздат, 1990. 188 с.

64. Холод, Н.И. ^кономико-математические методы и модели / Н.И. Холод, А.В. Кузнецов, Я.Н. Жихар. - Минск: БГ)У, 2000. - 413 с.
65. Четошникова, Л.М. Методь математического моделирования в решении вопросов ^нергосбережения на сельскохозяйственных предприятиях / Л.М. Четошникова. - Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2005. - 82 с