Міністерство освіти і науки України

Запорізький національний університет

Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю.М. Потебні

Кафедра електричної інженерії та кіберфізичних систем

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи

рівень вищої освіти (перший (бакалаврський) рівень)

на тему «Покращення інтегрованих показників надійності енергопостачання виробництв використанням альтернативних джерел енергії»

Виконав: студент 4 курсу, групи 6.1410

Прусенко І.О.

(ПІБ) (підпис)

спеціальності

141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

(шифр і назва)

освітньо-професійна програма

Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

(шифр і назва)

Керівник Башлій С.В.

(прізвище та ініціали) (підпис)

Запоріжжя – 2024 рік

Запорізький національний університет

(повне найменування закладу вищої освіти)

Факультет Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю.М. Потебні

Кафедра електричної інженерії та кіберфізичних систем

Рівень вищої освіти перший (бакалаврський) рівень

Спеціальність 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

(шифр і назва)

Освітньо-професійна програма Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри В.Л. Коваленко

“__26__” ___грудня_____2024 року

З А В Д А Н Н Я

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА ВИЩОЇ ОСВІТИ «БАКАЛАВР»

Прусенко Ірина Олександрівна

(прізвище, ім’я, по батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи бакалавра «Покращення інтегрованих показників надійності енергопостачання виробництв використанням альтернативних джерел енергії»

керівник кваліфікаційної роботи бакалавра Башлій Сергій Вікторович к.т.н., доцент

(прізвище, ім’я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від “26” грудня 2024 року №2215-с

2. Строк подання здобувачем кваліфікаційної роботи бакалавра 18.06.2024

3. Вихідні дані кваліфікаційної роботи бакалавра

Дослідити сучасний стан енерговикористання та покращення інтегрованих показників надійності енергопостачання виробництв з використанням альтернативних джерел енергії

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Вступ. 1) Технічні та технологічні передумови застосування

інтегральних показників електропостачання. 2) Комплексний аналіз надійності інтегральних показників електропостачання в різних умовах експлуатації. 3) Економічний аналіз.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

Додаток А – фотокопії 9-ти слайдів презентації доповіді для захисту роботи

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи бакалавра:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата завдання прийняв
Розділ 1	Башлій С.В., к.т.н., доцент каф. ЕІКФС	
Розділ 2	Башлій С.В., к.т.н., доцент каф. ЕІКФС	
Розділ 3	Башлій С.В., к.т.н., доцент каф. ЕІКФС	

7. Дата видачі завдання____26.12.2024р._____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи бакалавра	Строк виконання етапів каліфікаційної роботи бакалавра	Примітка
	Вступ	02.05.2024 – 09.05.2024	
1	Технічні та технологічні передумови застосування інтегральних показників електропостачання.	13.05.2024 – 24.05.2024	
2	Комплексний аналіз надійності інтегральних показників електропостачання.	27.05.2024 – 07.06.2024	
3	Економічний аналіз.	08.06.2024 – 13.06.2024	
	Висновки	13.06.2024 – 15.06.2024	

Здобувач вищої освіти _____ І.О. Прусенко
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник кваліфікаційної роботи бакалавра _____ С.В. Башлій
(підпис) (прізвище та ініціали)

Нормоконтроль здійснив _____ С.В. Башлій
(підпис) (прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Прусенко І.О. Покращення інтегрованих показників надійності енергопостачання виробництв використанням альтернативних джерел енергії. Кваліфікаційна робота бакалавра на здобуття вищої освіти за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка», науковий керівник С.В. Башлій. Запорізький національний університет, Навчально-науковий інститут ім. Ю.М. Потебні. Кафедра електричної інженерії та кіберфізичних систем, група 6.1410. Запоріжжя, 2024.

Кваліфікаційна робота бакалавра складається з: 66 сторінок, 15 рисунків, 2 таблиці, 32 переліків посилань.

Метою роботи стає комплексний аналіз інтегральних показників надійності електропостачання, виявити їхню значущість у контексті функціонування енергетичних систем і запропонувати методи для поліпшення показників надійності в різних умовах експлуатації.

У дослідженні використано системний підхід, що включає аналіз наявних методів оцінювання надійності, моделювання різних сценаріїв функціонування енергосистем та аналіз чинників, що впливають на надійність електропостачання. Методологія ґрунтується на використанні статистичних даних, математичних моделей і комп'ютерного моделювання для оцінки та прогнозування надійності енергетичних систем.

ІНТЕГРОВАНІ ПОКАЗНИКИ НАДІЙНОСТІ, ЕНЕРГЕТИЧНІ СИСТЕМИ, ПРОГНОЗУВАННЯ СПОЖИВВАННЯ, КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ, ФУНКЦІЮВАННЯ ЕНЕРГОСИСТЕМ, АНАЛІЗ

ЗМІСТ

СПИСОК СКОРОЧЕНЬ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ……..6
ВСТУП……..7
1 АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТЕЙ ВВЕДЕННЯ АДЕ В ЕНЕРГОСИСТЕМУ УКРАЇНИ……...13
1.1 Виявлення проблематики сучасної енергоструктури……..13
1.2 Перспективи щодо введення АДЕ до загальної енергосистеми України…..19
1.2.1 Виробництво електроенергії з відновлювальної генерації……..21
1.2.2 Виробництво електроенергії з біомаси…….….22
1.2.3 Виробництво електроенергії з біогазу……...24
1.2.4 Екологічна оцінка…….……...27
1.3 Висновки до розділу 1…….28
2 ВИЗНАЧЕННЯ ІНТЕГРАЛЬНИХ ПОКАЗНИКІВ НАДІЙНОСТІ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ……..….29
2.1 Типи інтегральних показників ……..……30
2.2 Графіки навантаження……..……..32
2.3 Виробництво електроенергії з ВДЕ……..…….35
2.3.1 Фотовольтаїчні системи……..36
2.3.2 Вітрогенератор……...…..39
2.3.4 Резервний генератор на вуглеводневому палеві…….……42
2.4 Акумуляторна система…….……..44
2.5 Інвертор……47
2.6 Контролер заряду……50
2.7 Висновки до розділу 2…….51
3 ПОКРАЩЕННЯ ПОКАЗНИКІВ НАДІЙНОСТІ ДЛЯ АДЕ……...……52
3.1 Узагальнена схема об’єкту (установки)……...…….54
3.2 Розрахунок інтегральних показників…….56
3.3 Висновки до розділу 3…….……61
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ……...……62
СПИСОК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ……..…..64
Додаток А……...…67

СПИСОК СКОРОЧЕНЬ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ

АДЕ – альтернативні джерела енергії;

ІНПЕ - інтегральні показники надійності електропостачання;

ТДЕ – традиційні джерела енергії;

АЕУ – автономна електроустановка;

АСЕП – автоматизовані системи енергопостачання;

ВГ – вітрогенератор;

ВДЕ – відновлювальні джерела енергії;

ВЕС – вітряна електростанція;

ВТ – вітротурбіна;

ДСТУ – державний стандарт України;

ККД – коефіцієнт корисної дії;

СЕС – сонячна електростанція;

ФВС (PV) – фотовольтаїчні системи;

CSP – концентрована сонячно-теплова енергія.

ВСТУП

Розвиток промислового виробництва є плацдармом для економічного зростання та сталого розвитку як на національному, так і на глобальному рівнях. В умовах стрімкого технічного прогресу та зростаючого попиту на продукцію, промисловий сектор стає рушійною силою інновацій, створення робочих місць і поліпшення якості життя населення. Однак, одним із ключових завдань, що стоять перед індустрією, є забезпечення надійного та безперебійного енергопостачання, що є основою для стабільного функціонування всіх виробничих процесів.

Актуальність теми набуває особливого значення в контексті поточних світових тенденцій, спрямованих на перехід до більш стійких та екологічно чистих методів виробництва. Традиційні джерела енергії, такі як вугілля, нафта і газ, забезпечували промисловий розвиток протягом багатьох десятиліть, але їхнє використання пов’язане з низкою серйозних екологічних проблем, зокрема викидами парникових газів і виснаженням природних ресурсів. У світлі цього, дедалі більшу увагу приділяють АДЕ, таким як сонячна, вітрова та гідроенергія. Ці джерела мають величезний потенціал для забезпечення сталого розвитку і можуть значно поліпшити інтегральні показники надійності енергопостачання.

На глобальному рівні, стале промислове виробництво та розвиток АДЕ стають невід’ємними елементами міжнародного порядку денного. В умовах глобальної зміни клімату та наростаючих екологічних проблем, світова спільнота прагне до створення низьковуглецевої економіки та переходу на чисті технології. У цьому контексті, впровадження відновлюваних джерел енергії в промислове виробництво стає ключовим напрямком розвитку, що сприяє зниженню вуглецевого сліду і забезпеченню сталого майбутнього для всього людства.

Сучасні технології, які вимагають більше енергії, порівняно з людською силою, повністю залежать від джерел електричної енергії. Вже давно прийнято

вважати за факт, що електротехніка відіграє ключову роль у задоволенні людських потреб, як фізіологічних, так і інтелектуальних.

Так звана «автономність» енергетичних систем, які не потребують постійного свідомого технологічного контролю, дозволяє людині зосередитися на отриманні фізичних та інтелектуальних результатів, які пізніше використовуються для поставлених людиною завдань.

Протягом останніх десятиліть стало більш поширеною практика використання автономних електричних установок, які можуть бути підключені або не підключені до загальної (державної) енергосистеми і використовують «альтернативні» джерела енергії. На даний момент, потужність таких автономних установок може сягати від мікровеличин до сотень мегаватт.

Потреби в електроенергії зростають зі збільшенням використання енергії технологіями, що призводить до збільшення кількості завдань, поставлених людиною, і, відповідно, такий причинно-наслідковий ланцюг продовжується. Зі свого боку, попит на використання автономних електричних установок розвиває цю ж енергетичну галузь, завдяки чому створюються нові, більш продуктивні моделі виробництва електроенергії.

У даній роботі буде розглянуто сутність автономної електроустановки невеликої потужності, її елементів та можливості до підвищення енергоефективності. Приведено аналіз складових частин електроустановок з метою підвищення енергоефективності, завдяки чому електроустановка може виробляти електроенергію більше на різницю від немодернізованої.

Автономна електрична система (АЕС) – це система, призначена для виробництва, зберігання та споживання електроенергії без необхідності підключення до централізованих електричних мереж. Такі системи здатні працювати незалежно, забезпечуючи енергію для різних потреб. Вони відіграють важливу роль у сучасній енергетиці, забезпечуючи незалежне енергопостачання в умовах відсутності доступу до централізованих електричних мереж або в разі необхідності підвищення надійності та стійкості електропостачання.

В умовах стрімкого розвитку технологій та збільшення потреб в енергопостачанні віддалених регіонів та об'єктів, автономні системи стають дедалі актуальнішими. Такі системи стають дедалі актуальнішими в умовах зростаючих потреб у надійному та екологічно чистому енергопостачанні, особливо у віддалених і важкодоступних регіонах.

Розміри і масштаб автономної електричної системи можуть варіюватися залежно від її призначення і потреб.

Мікрогенеративні потужності:

– Переносні та мобільні пристрої: потужність від декількох ват до декількох кіловат. Приклади: портативні зарядні пристрої, невеликі сонячні генератори для кемпінгу.

Малої потужності:

– від 1 до 10 кВт. Приклади: домашні сонячні установки, системи на основі вітру для приватних будинків.

Середньої потужності:

– Комерційні та промислові об'єкти: потужність від 10 до 1000 кВт. Приклади: системи електропостачання для офісів, невеликих виробництв, фермерських господарств.

Великої потужності:

– Енергопостачання селищ і великих об'єктів: потужність від 1 МВт і вище. Приклади: енергосистеми для віддалених селищ, великих промислових підприємств.

Якщо розглядати автономні генеруючі системи за екологічною характеристикою, використання ВДЕ в таких електроустановках дає змогу значно скоротити викиди парникових газів і мінімізувати вплив на навколишнє середовище. Такі системи використовують ВДЕ, знижуючи споживання викопних палив і зменшуючи вуглецевий слід.

Автономна електроустановка (АЕУ) – комплекс взаємопов'язаних машин, апаратів, ліній і допоміжного устаткування (разом із будівлями і приміщеннями,

у яких вони встановлені), призначених для виробництва, трансформації, передавання, розподілу електричної енергії та перетворення її в інший вид енергії. Електроустановки за умовами електробезпеки поділяють на електроустановки до 1 кВ і електроустановки понад 1 кВ (за діючим значенням напруги).

У даній роботі буде розглядатися електроустановка середньої потужності, що призначена для автономного енергопостачання об'єктів або груп об'єктів, які споживають в середньому від 10 кВт до 1 МВт електроенергії. Такі установки включають в себе генератори, системи зберігання енергії та обладнання для управління енергетичними потоками, що працюють на основі відновлюваних джерел енергії. Автономні електроустановки на основі ВДЕ забезпечують надійне та екологічно чисте енергопостачання для будинків, ферм або невеликих підприємств. У таких установках зазвичай використовуються сонячні панелі та акумуляторні батареї, що дає змогу знизити залежність від нестабільних централізованих мереж і зменшити витрати на електроенергію.

АЕУ можуть бути автономними, тобто не потребують підключення до зовнішніх мереж, або можуть бути модифікованими до гібридних, які використовують зовнішні джерела енергії в поєднанні з локальними генераторами для підвищення надійності енергопостачання.

У важкодоступних місцях і у віддалених поселеннях, де немає доступу до централізованих електромереж, автономні установки на основі ВДЕ є єдиним стійким джерелом електроенергії, якими також забезпечують енергопостачання житла, освітлення, водопостачання та інших систем. АЕУ використовують для забезпечення енергією будівельних майданчиків, тимчасових таборів та інших об'єктів, які потребують мобільних джерел енергії, які швидко розгортаються.

Автономні установки на основі ВДЕ забезпечують зниження витрат на електроенергію завдяки використанню безоплатних джерел енергії (сонця, вітру, геотермальних джерел) і зменшенню потреби в дорогому привізному паливі. Крім того, такі системи вимагають мінімальних експлуатаційних витрат, що робить їх економічно вигідними в довгостроковій перспективі.

За місцем встановлення, АЕУ розташовують:

- На площині(ґрунт, платформи на воді): Встановлення автономних електростанцій на рівній місцевості характеризується простішими умовами для будівництва та експлуатації. У таких умовах простіше встановлювати сонячні панелі, вітрові турбіни та біогазові установки. Плоскі поверхні забезпечують стабільне розташування та оптимальний напрямок для сонячних панелей, а також мінімальні витрати на монтаж інфраструктури.
- На рельєфній місцевості(схили, пагорби, ін): Встановлення на рельєфній місцевості, вимагає більш складних інженерних рішень. Однак такі місцевості часто мають високий потенціал для використання вітрової та гідроенергетики. Вітряні установки можуть бути розміщені на вершинах пагорбів, де швидкість вітру вища, а малі гідроелектростанції можуть ефективно використовувати перепади висот і потоків річок для генерації енергії. Важливо враховувати труднощі з транспортуванням обладнання та необхідністю створення стійких і безпечних монтажних платформ.

На практиці інтеграцію розподілених фотоелектричних генераторів уже реалізовано в низці країн і регіонів. Як приклад, у Німеччині та Австралії широко застосовуються системи мікрогенерації (до 1кВ) на основі сонячних панелей, які доєднаються до розподільчих мереж і приватних домогосподарств. Це дало змогу істотно знизити вартість електроенергії для споживачів і підвищити стійкість енергетичних систем. Проте висока вартість встановлення та інтеграції таких систем вимагає значних капітальних вкладень і підтримуючих заходів з боку держави.

Автономна когенеративна установка (або когенераційна система) являє собою особливий тип автономних електроустановок, здатних одночасно генерувати електричну і теплову енергію. Цей подвійний процес виробництва енергії відомий як когенерація, або комбіноване виробництво тепла та електроенергії, що підвищує загальну ефективність використання палива.

Когенеративні установки є оптимальним вибором для об'єктів, де потрібна як електрична, так і теплова енергія, що робить їх особливо актуальними для різних промислових підприємств, житлових комплексів і віддалених поселень.

Основний принцип роботи автономної когенеративної установки полягає в такому: паливо спалюється в генераторі, при цьому вивільняється енергія, яка використовується для генерації електрики. Тепло, що утворюється під час цього процесу, не утилізується, як у традиційних електростанціях, а використовується для виробництва теплової енергії, що дає змогу знизити втрати енергії та підвищити загальну ефективність системи.

1 АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТЕЙ ВВЕДЕННЯ АДЕ В ЕНЕРГОСИСТЕМУ УКРАЇНИ

1.1 Виявлення проблематики сучасної енергоструктури

Традиційне електропостачання являє собою централізовану енергетичну систему, в якій провідну роль відіграють потужні електростанції (багатоблокові атомні та теплові електростанції), що функціонують на невідновлюваних енергетичних ресурсах, таких як вугілля, нафта, природний газ і ядерне паливо. Такі електростанції розташовуються в стратегічно значущих місцях, часто поблизу родовищ корисних копалин, що дає змогу мінімізувати витрати на їхній видобуток, транспортування і зберігання.

Основне завдання таких електростанцій полягає у виробництві значних обсягів електричної енергії, яка потім транспортується на великі відстані з використанням високовольтних магістральних ліній електропередач. Передача електроенергії на значні відстані є необхідною умовою для забезпечення електрикою споживачів, розташованих у різних географічних регіонах. Така складна мережа передач є критичним елементом енергетичної системи, оскільки збої на цьому рівні можуть призвести до широкомасштабних відключень і порушень енергопостачання.

Досягнувши розподільних пунктів, електроенергія надходить до розподільчих мереж, де напруга знижується до рівнів, придатних для використання в житлових і комерційних будівлях, а також на промислових об’єктах. Мережі забезпечують кінцевих споживачів електричною енергією, необхідною для роботи різних пристроїв і обладнання, від побутових приладів до складних промислових установок. Уся ця система функціонує на основі централізованого управління та моніторингу, що дає змогу підтримувати стабільність і надійність енергопостачання, однак робить систему менш гнучкою та більш вразливою до різних зовнішніх і внутрішніх загроз.

За такою схемою працює більша частина української енергосистеми. Так, за перші чотири місяці 2023 року вироблення електроенергії на атомних

електростанціях знизилося на 32,8% порівняно з аналогічним періодом 2021 року, становивши 19,5 ТВт-год. Виробництво електроенергії на теплових електростанціях зменшилося на 45,3%, до 7,6 ТВт-год, на теплоелектроцентралях - на 41,7%, до 2,8 ТВт-год, на відновлюваних джерелах енергії - на 34,4%, до 2,1 ТВт-год. При цьому вироблення на гідроелектростанціях і гідроакумулюючих станціях (ГАЕС) збільшилося на 36,4%, досягнувши 4,5 ТВт-год.

Частка атомної енергетики у загальній структурі виробництва електроенергії в січні-квітні 2023 року становила 53,4% (проти 53,6% у 2021 році). Частка теплових електростанцій знизилася до 20,8% (з 25,6%), теплоелектроцентралі - до 7,8% (з 8,8%), в той час як частка ГЕС і ГАЕС зросла до 12,3% (з 6,1%), а частка АДЕ незначно зменшилася до 5,7% (з 5,9%).

Зниження вироблення електроенергії пов'язане з ударами російських ракет і беспілотних військових дронів по енергетичній інфраструктурі та зменшенням споживання електроенергії.

У січні-квітні 2023 року споживання електроенергії в Україні становило 32,4 ТВт-год, що на 18,9% менше порівняно з 2022 роком і на 33,5% менше порівняно з 2021 роком (48,8 ТВт-год) [$].

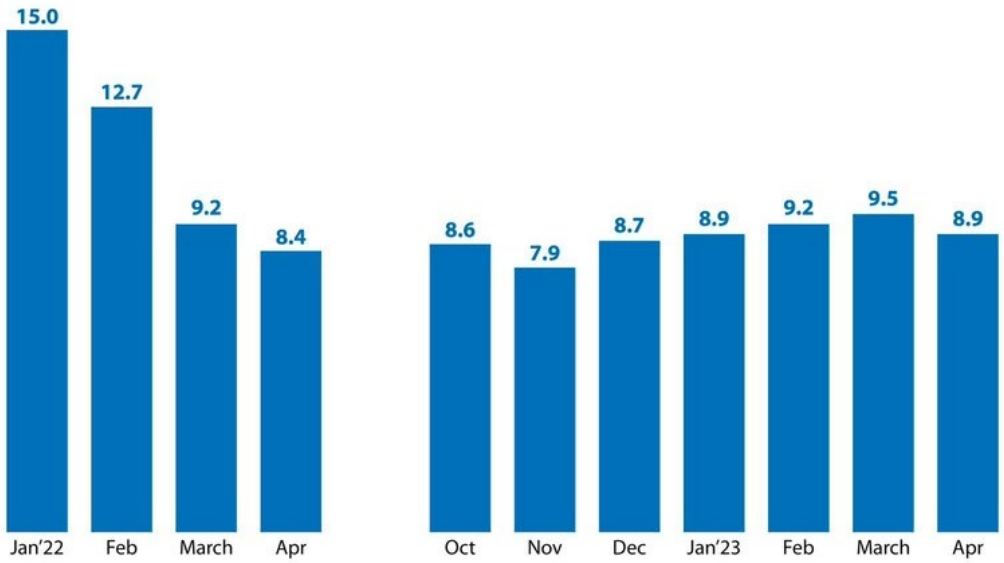


Рисунок 1.1 - Виробництво електроенергії в Україні у період січень 2022 - квітень 2023

Під час проектування і розроблення схем електричних мереж необхідно суворо дотримуватися вимог, викладених у нормативних і керівних документах, що стосуються надійності електропостачання. У деяких випадках для забезпечення відповідності цим вимогам і для прийняття оптимальних рішень може знадобитися проведення додаткових розрахунків кількісних показників надійності. Ці розрахунки особливо важливі для вирішення таких завдань:

1. Зіставлення різних заходів щодо забезпечення необхідного споживачем рівня надійності. Це дає змогу оцінити і вибрати найефективніші заходи, що забезпечують надійність електропостачання на заданому рівні.

2. Обґрунтування економічної доцільності підвищення надійності (збільшення ступеня резервування) понад нормативні вимоги. Це необхідно для оцінки витрат і потенційних вигод від підвищення надійності електропостачання.

Для аналізу і зіставлення різних заходів, спрямованих на забезпечення необхідного рівня надійності, а також для обґрунтування економічної доцільності підвищення надійності понад нормативні вимоги, рекомендується використовувати показники математичного очікування збитку від вимушених простоїв (аварійних відключень). Це дає змогу кількісно оцінити можливі втрати, пов'язані з перебоями в електропостачанні, і прийняти обґрунтовані рішення.

У сучасних умовах функціонування електроенергетики врахування математичного очікування збитків від планових простоїв стає важливим елементом при укладанні двосторонніх договорів купівлі-продажу електричної енергії. Згідно з умовами таких договорів, постачальник зобов'язується забезпечити постачання електричної енергії у визначеному обсязі та з характеристиками, що відповідають встановленим технічним регламентам та іншим обов'язковим вимогам. Покупець, своєю чергою, зобов'язується прийняти та оплатити електроенергію на умовах, визначених у договорі, що укладається

відповідно до правил оптового ринку та основних положень функціонування роздрібних ринків.

Крім того, у договорі купівлі-продажу електричної енергії можуть бути прописані умови, за яких збитки від планових відключень компенсуються покупцеві за рахунок зниження тарифів на електроенергію. Ця умова дає змогу забезпечити справедливий розподіл ризиків між постачальником і споживачем та стимулює постачальника до підтримання високого рівня надійності електропостачання. Таким чином, врахування економічних наслідків простоїв та їх компенсація через тарифне регулювання сприяє підвищенню загальної ефективності функціонування електроенергетичної системи.

Інтеграція АДЕ являє собою процес впровадження та використання відновлюваних ресурсів для виробництва електроенергії. До таких джерел належать сонячна, вітрова, гідроенергія, а також біомаса і геотермальна енергія. Інтеграція передбачає створення гібридних енергетичних систем, які поєднують у собі як традиційні, так і відновлювані джерела енергії, забезпечуючи тим самим більш стійке і надійне енергопостачання.

Використання АДЕ стає актуальним з таких причин:

– *Зростаюча залежність промисловості від електроенергії.* Сучасна промисловість у всьому світі, включно з Україною, відчуває зростаючу залежність від електроенергії. З розвитком технологій і автоматизацією виробничих процесів потреба в стабільному і надійному енергопостачанні стає дедалі критичнішою. Від електрики залежать як виробничі лінії, так і інформаційні системи, що забезпечують управління та моніторинг виробництва. Це вимагає бездоганного електропостачання, оскільки навіть короткочасні перебої можуть призвести до значних економічних втрат і простою обладнання.
– *Проблеми з надійністю.* ТДЕ, такі як вугілля і нафта, часто стикаються з проблемами, пов’язаними з їхнім видобутком і транспортуванням, а також з екологічними наслідками. Наприклад, видобуток вугілля може призводити до руйнування ландшафту і забруднення навколишнього середовища, а

видобуток нафти пов’язаний з ризиками розливів і техногенних катастроф. Ці проблеми негативно впливають на надійність енергопостачання і підвищують ризик перебоїв.

- *Зростання використання АДЕ.* Останніми роками спостерігається значне збільшення використання альтернативних джерел енергії, таких як сонячна та вітрова енергія. Це зростання зумовлене низкою чинників, включно зі зниженням вартості технологій, збільшенням доступності та поліпшенням ефективності генерувальних установок. Альтернативні джерела стають дедалі привабливішими завдяки їхній здатності забезпечувати стабільне та екологічно чисте енергопостачання.
- *Технологічні досягнення.* Розвиток технологій відіграє ключову роль в інтеграції АДЕ. Сучасні технології дають змогу більш ефективно використовувати відновлювані ресурси, покращувати системи зберігання енергії та інтегрувати їх в наявні енергетичні мережі. Це сприяє створенню більш стійких і гнучких енергетичних систем, здатних ефективно реагувати на зміни в споживанні та пропозиції електроенергії.
- *Урядові ініціативи та стимули.* Багато країн, включно з Україною, активно підтримують розвиток АДЕ через різні ініціативи та стимули. Державні програми спрямовані на заохочення використання відновлюваних ресурсів, надання субсидій і пільг для підприємств, що впроваджують нові технології, і створення сприятливих умов для інвестицій в енергетичний сектор. Це сприяє прискореному розвитку альтернативної енергетики та зниженню залежності від традиційних джерел енергії.

Проблематика традиційного використання електроенергії виявляється у:

- *Залежності від централізованих джерел енергії.* Традиційні системи електропостачання, засновані на великих централізованих електростанціях, уразливі перед різними факторами ризику. Будь-яке порушення на рівні генерації або передачі може призвести до масштабних відключень і перебоїв в енергопостачанні. Це робить систему менш гнучкою і стійкою порівняно з

децентралізованими системами, які використовують безліч невеликих джерел енергії.

- *Нестабільності цін на енергоресурси.* Ціни на традиційні енергоресурси, такі як нафта і газ, піддаються значним коливанням через різні економічні та політичні чинники. Це створює невизначеність і ризики для промислових підприємств, які залежать від стабільного та доступного енергопостачання. На відміну від цього, вартість виробництва енергії з відновлюваних джерел є більш стабільною та передбачуваною.
- *Факторах, що порушують роботу енергосистеми.* Традиційні енергетичні системи схильні до різних зовнішніх загроз, таких як природні катастрофи (наприклад, урагани, землетруси), кібератаки і військові дії. Такі фактори можуть викликати серйозні перебої в енергопостачанні та завдати значної шкоди інфраструктурі. В умовах нестабільної геополітичної ситуації цей ризик стає особливо актуальним.
- *Технологічні збої та несправності обладнання.* Технологічні збої та несправності обладнання на традиційних електростанціях можуть призвести до значних перебоїв в енергопостачанні. Це може бути спричинено зносом обладнання, помилками в управлінні або недостатнім обслуговуванням. Такі проблеми вимагають значних витрат на ремонт і модернізацію, що збільшує загальні витрати на енергопостачання.
- *Старіння енергетичної інфраструктури.* Багато енергетичних систем, особливо в розвинених країнах, стикаються з проблемою старіння інфраструктури. Мережі електропередач, трансформатори та інші компоненти енергетичної системи потребують постійного оновлення та модернізації. Відсутність інвестицій в оновлення інфраструктури може призвести до зниження її надійності та збільшення ризику перебоїв в енергопостачанні.

1.2 Перспективи щодо введення АДЕ до загальної енергосистеми України

Останніми роками Україна зіткнулася з серйозною енергетичною кризою, спричиненою військовою ескалацією та руйнуванням значної частини енергетичної інфраструктури, що призвело до необхідності перегляду наявних підходів до забезпечення надійного та стабільного електропостачання. За таких умов зростає актуальність використання АДЕ, які можуть не тільки пом'якшити наслідки кризи, а й сприяти довгостроковій енергетичній безпеці країни. Військова ескалація призвела до значних руйнувань енергетичної інфраструктури, що своєю чергою спричинило масові перебої в подачі електроенергії. Електростанції опинилися під загрозою через руйнування транспортних шляхів та інфраструктури зберігання. Унаслідок цього країна зазнає серйозних труднощів у забезпеченні безперебійного енергопостачання як для промислових, так і для побутових споживачів.



Рисунок 1.2 – Пожежа в наслідку влучання балістичних ракет по машинному залу ГЕС-2

АДЕ набувають особливого значення в умовах поточної кризи. Вони мають низку переваг, які роблять їх привабливими для використання в Україні:

- *Децентралізований характер*. АДЕ дають змогу створити стійкішу та гнучкішу енергетичну систему, менш схильну до ризиків, пов'язаних із централізованою інфраструктурою. Установки з виробництва енергії з відновлюваних джерел можуть бути розміщені в різних регіонах країни, що знижує ймовірність масштабних відключень.
- *Незалежність від зовнішніх поставок*. Використання сонячної та вітрової енергії дає змогу зменшити залежність від імпортних енергоресурсів, наприклад вугілля і газ, постачання яких може бути порушено в умовах конфлікту.
- *Екологічна стійкість*. Запровадження відновлюваних джерел енергії сприяє зниженню викидів парникових газів і забруднення довкілля, що є важливим кроком у бік сталого розвитку.
- *Масштабованість і гнучкість*. Системи на основі відновлюваних джерел енергії можуть бути швидко розгорнуті й адаптовані до мінливих умов. Це особливо важливо в умовах швидкого відновлення енергетичної інфраструктури після пошкоджень.

Так, на початок 2024 року встановлена потужність об'єктів ВДЕ зросла на 238 МВт, порівняно з 2022 роком, і загалом становить 8773 МВт [$]. Наразі в секторі працює понад одна тисяча компаній, які експлуатують понад 1767 об'єктів АДЕ. Близько 157 МВт нових потужностей вітрових електростанцій, 56 МВт сонячних електроустановок та 23 МВт на біомасі отримали «зелений» тариф. Загальний обсяг виробництва «зеленої» електроенергії не змінився порівняно з 2022 роком і сягнув близько 8 млн МВт-год [$]. Найбільше падіння обсягів виробництва електроенергії у 2023 році було зафіксовано на ВЕС – 43%, на інших об'єктах відбулося зростання обсягів виробництва на 10-61%.

Розвиток альтернативної енергетики визначається як стратегічний курс для забезпечення економічного зростання. Використання АДЕ та впровадження

нових технологій для їхнього розвитку визнаються економічним пріоритетом для глобальної економіки. За даними Європейської комісії [$], у 2022 році, використання АДЕ дало змогу заощадити близько €30 млрд на витратах на імпортоване паливо. Також, за оцінками Міжнародного енергетичного агентства [$], вартість підтримки відновлюваної енергетики в ЄС склала €26 млрд того ж року. Це свідчить про те, що витрати на підтримку використання відновлюваних джерел енергії повністю компенсуються завдяки ефективній економії витрат, яких вдалося уникнути за рахунок зменшення імпорту викопного палива.

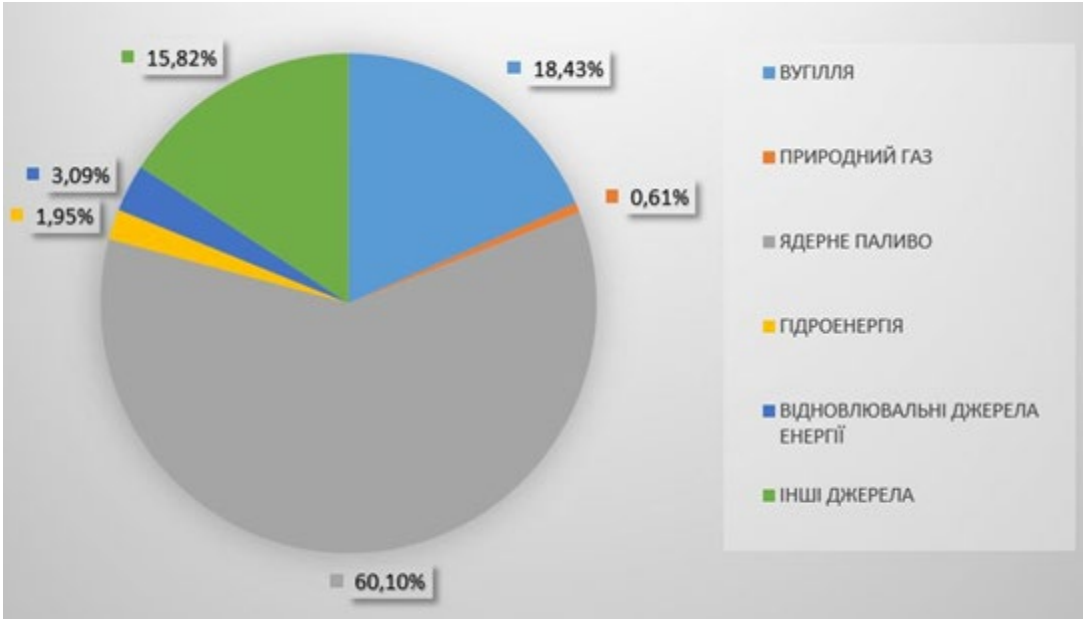


Рисунок 1.3 – Частка кожного джерела енергії, яка була використана у загальній структурі купленої у 2022 році електричної енергії

1.2.1 Виробництво електроенергії з відновлювальної генерації

Сонячні електростанції здійснюють конверсію сонячного випромінювання в електричну енергію за допомогою сонячних панелей, які захоплюють енергію фотонів сонячного світла і генерують електричний струм. Принцип дії сонячних панелей панелей базується на використанні напівпровідникових матеріалів, що здатні генерувати електричний струм під впливом світлового випромінювання,

створюючи таким чином електричний потенціал за рахунок так званого фотоефекту.

Вітрові електростанції виконують трансформацію кінетичної енергії рухомих повітряних мас в електричну енергію за допомогою вітрових турбін або систем конверсії вітрової енергії. Цей процес базується на перетворенні енергії, що переноситься повітряними потоками, в механічну енергію обертання. При дії повітряного потоку на лопаті турбіни, відбувається їх обертання, що, у свою чергу, приводить в рух турбіну. Кінетична енергія перетворюється в механічну енергію обертання, яка передається через з'єднаний з генератором вал. В результаті цього процесу, у генераторі відбувається виробництво електричної енергії.

Об’єднання вітрових та сонячних електростанцій надає більшу маневрову потужність та покращує енергоефективність усієї електровиробничої системи.

Гідроелектростанції також є відновлюваним джерелом електроенергії, яке використовує кінетичну і потенційну енергію води для виробництва електрики. Вода з природних або штучних водойм спрямовується через турбіни, приводячи їх у рух. Турбіни обертають генератори, які перетворюють механічну енергію обертання в електричну. Це є екологічно чистим і стійким методом генерації енергії, тому що використовує природні цикли водообігу, не продукує викидів парникових газів і має мінімальний вплив на навколишнє середовище порівняно з традиційними джерелами енергії.

1.2.2 Виробництво електроенергії з біомаси

Створення електроенергії за допомогою біомаси являє собою один з перспективних методів генерації енергії з відновлюваних джерел. Біомаса охоплює органічні матеріали, такі як рослинні відходи, деревина, сільськогосподарські залишки та органічні побутові відходи, які можуть бути перетворені в енергію. Використання біомаси для виробництва електроенергії є

екологічно стійким рішенням, що сприяє скороченню викидів парникових газів і зменшенню залежності від викопних видів палива.

Процес створення електроенергії з біомаси починається з підготовки та обробки сировини. Біомаса може бути стиснута у формі пелет або брикетів для зручності транспортування і зберігання, або ж може використовуватися у вихідному вигляді, якщо це доцільно з точки зору логістики та доступності. Основні методи перетворення біомаси в електроенергію включають спалювання, анаеробне бродіння, піроліз і газифікацію. Спалювання біомаси в котлах з подальшим використанням теплової енергії для виробництва пари, що обертає турбіни генераторів, є найбільш поширеним і простим методом. Піроліз і газифікація дають змогу розкласти біомасу на газоподібні та рідкі компоненти, які потім використовуються для генерації електрики.

Анаеробне бродіння являє собою процес розкладання органічної біомаси мікроорганізмами в безкисневому середовищі, що призводить до утворення біогазу, який складається переважно з метану і вуглекислого газу. Біогаз може бути використаний як паливо для газових турбін або двигунів внутрішнього згоряння, що виробляють електроенергію. Перевага цього методу полягає в можливості переробки відходів та отримання при цьому енергетичних ресурсів, що сприяє вирішенню проблеми утилізації та зниженню навантаження на полігони відходів.

Використання біомаси для генерації електроенергії має значні екологічні переваги. По-перше, процес є вуглецево-нейтральним, оскільки вуглекислий газ, що виділяється під час спалювання біомаси, раніше був поглинений рослинами в процесі фотосинтезу. По-друге, використання біомаси сприяє утилізації відходів, скороченню їхніх обсягів і зниженню ризику забруднення навколишнього середовища. До того ж, виробництво енергії з біомаси сприяє розвитку сільського господарства і створенню нових робочих місць, що позитивно впливає на економіку і соціальну сферу регіонів, залучених до цього процесу.

Потужність українських ТЕС та ТЕЦ, що працюють на біомасі, зросла на 23,6 МВт і становить 178 МВт, загалом це 24 об'єкти. Близько 110 МВт потужностей ТЕС та ТЕЦ працюють на лушпинні соняшника і 67 МВт використовують деревну тріску [$].

Річний обсяг виробництва електроенергії зріс на 61% з 288 млн кВт-год до 464 млн кВт-год. Загалом по Україні коефіцієнт використання встановленої потужності ТЕС/ТЕЦ на біомасі зріс з 21% до 34%. Понад 78% електроенергії було вироблено з лушпиння соняшника [$].

Лише кілька компаній мають середній річний рівень завантаженості понад 65%, а деякі компанії відновили свою роботу у 2023 році, проте не змогли достатньо наростити обсяги виробництва. На жаль, понад 5 об'єктів так і не відновили свою роботу на ринку [$].

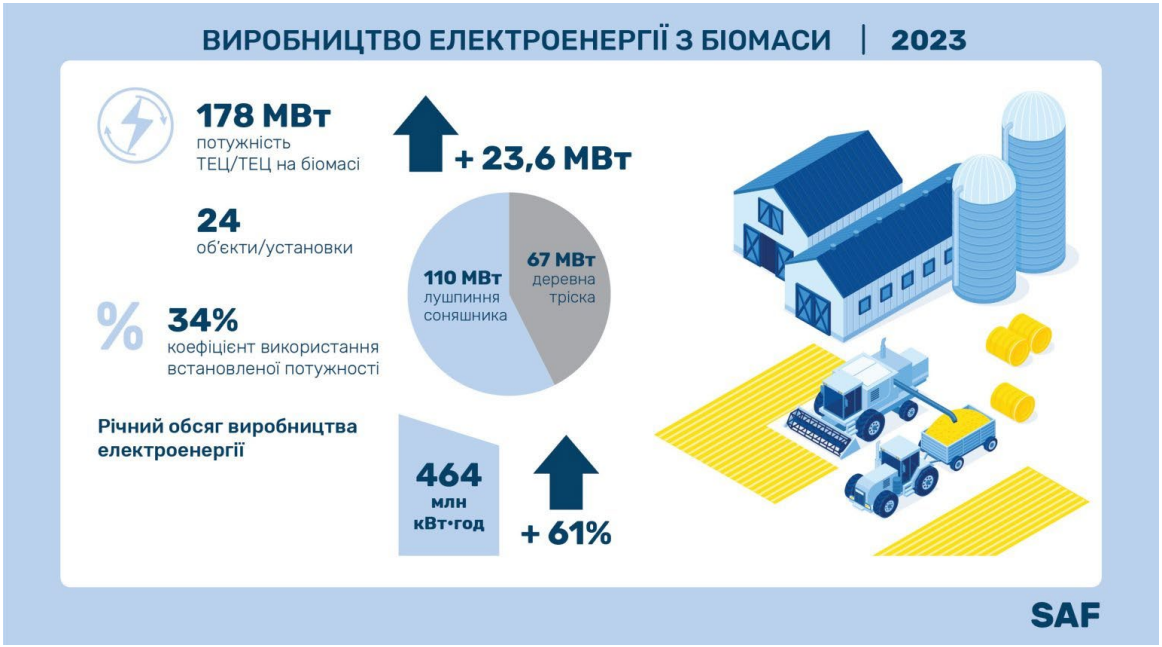


Рисунок 1.4 – Виробництво електроенергії з біомаси за 2023 рік

1.2.3 Виробництво електроенергії з біогазу

Створення електроенергії за допомогою біогазу являє собою одну з найефективніших і екологічно стійких технологій генерації енергії з відновлюваних джерел. Біогаз утворюється в результаті анаеробного бродіння

органічних матеріалів, таких як сільськогосподарські та харчові відходи, гній, опади стічних вод та інші біологічно розкладні речовини. Цей процес відбувається без доступу кисню, і продукти розкладання органіки перетворюються на метан і вуглекислий газ, які складають основну частину біогазу.

Процес виробництва електроенергії з біогазу включає кілька етапів. Спочатку органічні відходи збирають і направляють в анаеробний реактор або біореактор, де під впливом мікроорганізмів вони розкладаються й утворюють біогаз. Отриманий біогаз збирають і очищають від домішок, таких як сірководень і аміак, що необхідно для захисту обладнання та поліпшення якості газу. Потім очищений біогаз використовується в газових турбінах або двигунах внутрішнього згоряння, які перетворюють хімічну енергію газу на механічну, а потім на електричну енергію. Вироблювана енергія може бути використана для власних потреб підприємства або постачатися в загальну енергетичну мережу.

Перевага біогазу як джерела енергії полягає в його високій екологічній безпеці та стійкості. Виробництво і використання біогазу сприяє скороченню викидів парникових газів, оскільки метан, що утворюється в результаті розкладання органіки, вловлюється і використовується в енергетичних цілях, замість того щоб потрапляти в атмосферу. В іншому разі метан, будучи потужним парниковим газом, сприяє глобальному потеплінню значно більшою мірою, ніж вуглекислий газ. Крім того, використання біогазу дає змогу ефективно утилізувати відходи та знижує навантаження на сміттєзвалища й полігони, що сприяє поліпшенню екологічної ситуації та зниженню ризику забруднення ґрунту й води.

Прикладом успішного використання біогазу для виробництва електроенергії є сільськогосподарські підприємства і тваринницькі ферми, які переробляють відходи своєї діяльності. На таких підприємствах біогазові установки дають змогу не лише розв'язувати проблему утилізації відходів, а й забезпечувати енергетичну автономність і зниження витрат на електроенергію. Зокрема, у Німеччині та Данії широко використовуються біогазові станції на

сільськогосподарських фермах, що сприяє підвищенню енергетичної безпеки та сталому розвитку регіонів.

Впровадження технологій виробництва електроенергії з біогазу також активно підтримується на рівні державних програм та ініціатив. Багато країн надають фінансові стимули та субсидії для розвитку біогазових проектів, що дає змогу знижувати капітальні витрати та прискорює впровадження інноваційних рішень в енергетичний сектор. Важливо зазначити, що виробництво біогазу та генерація електроенергії на його основі мають значний потенціал для створення нових робочих місць, особливо в сільських районах, що сприяє соціально-економічному розвитку та підтримці місцевих громад.

Загальна встановлена потужність біогазових комплексів не змінилася і становить 135 МВт [$]. Середній коефіцієнт використання встановленої електричної потужності установок на біогазі становить 49%.

Загалом 68 установок, операторами яких є 43 юридичні особи, отримали «зелений» тариф, а надбавку за «місцеву» складову отримали 12 об'єктів [$].

Загальний обсяг виробництва електричної енергії з біогазу зріс на 15% до 580 млн кВт-год [$]. З усієї кількості 20 установок не здійснювали виробництво електроенергії взагалі. Лише 5 об'єктів мали показники використання встановленої потужності на рівні 75-82%.



Рисунок 1.5 – Виробництво електроенергії з біогазу за 2023 рік24

1.2.4 Екологічна оцінка

Зменшення витрат на заходи з охорони довкілля та здоров'я населення, що проводяться в зонах розміщення підприємств вуглеводневої та атомної енергетики, є актуальним і багатогранним завданням. Ці заходи включають контроль і зниження викидів шкідливих речовин, ліквідацію забруднень, проведення моніторингу стану екосистем і здоров'я населення, а також профілактику і лікування захворювань, викликаних впливом шкідливих факторів. Актуальність цього завдання зростає в умовах посилення екологічних вимог і підвищеної уваги до проблем сталого розвитку. У контексті витрат на подібні заходи особлива увага має бути приділена атомній енергетиці, яка, незважаючи на свої екологічні переваги порівняно з вуглеводневою енергетикою, вимагає комплексного підходу до вирішення наслідків її експлуатації. Атомні електростанції характеризуються низьким рівнем викидів парникових газів і токсичних речовин під час експлуатації, проте пов'язані з ризиками радіаційного забруднення і необхідності поводження з радіоактивними відходами. Управління радіаційними ризиками вимагає значних фінансових вкладень на всіх етапах життєвого циклу атомних об'єктів, включно з проектуванням, експлуатацією, модернізацією, виведенням з експлуатації та довгостроковим зберіганням радіоактивних матеріалів.

З метою оптимізації витрат на заходи з охорони довкілля та здоров'я населення, що розміщуються поблизу енергетичних об'єктів, рекомендується застосування передових технологій і методів управління ризиками. Наприклад, використання систем моніторингу викидів у режимі реального часу, впровадження технологій очищення та утилізації відходів, а також розробка і впровадження програм управління радіаційною безпекою. Ці заходи дають змогу не тільки знизити негативний вплив на навколишнє середовище і здоров'я населення, а й підвищити загальну ефективність і стійкість енергетичної галузі.

У перспективі, значне зниження витрат на екологічні та санітарні заходи можливе завдяки розвитку та широкому впровадженню відновлюваних джерел

енергії, таких як сонячна, вітрова та гідроенергетика, що характеризуються мінімальними екологічними ризиками та не потребують значних вкладень у підтримання екологічної та радіаційної безпеки. Таким чином, комплексний підхід до управління витратами на охорону довкілля та здоров'я населення, що включає впровадження інноваційних технологій і розвиток відновлюваної енергетики, є ключовим елементом у створенні сталої та безпечної енергетичної системи.

1.3 Висновки до розділу 1

Перехід на використання АДЕ та їхня інтеграція в наявні енергетичні системи є важливим кроком на шляху до створення більш стійкої та надійної енергетичної інфраструктури. Це не тільки сприяє розвитку промислового виробництва та економічному зростанню, а й знижує екологічне навантаження, забезпечуючи більш чисте і стабільне майбутнє для України і всього світу.

Використання АДЕ дозволяє диверсифікувати джерела енергопостачання та знизити залежність від традиційних паливних ресурсів:

- Сонячна електроенергія: сонце є невичерпним джерелом енергії, що забезпечує стабільний виробіток електричного ресурсу протягом світлового дня.
- Вітрова електроенергія: Вітрогенератори перетворюють кінетичну енергію в електричну, забезпечуючи енергопостачання протягом усього року.
- Гідроенергія: Гідроелектростанції виробляють екологічно чисту енергію за рахунок руху води.
- Біомаса: спалення біомаси (органічних відходів, невикористаних аграрних культур) забезпечує теплову енергію та в деяких випадках електроенергію.

2 ВИЗНАЧЕННЯ ІНТЕГРАЛЬНИХ ПОКАЗНИКІВ НАДІЙНОСТІ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

Інтегральні показники надійності електропостачання – це сукупність кількісних характеристик, що відображають стабільність, безперебійність і якість постачання електричної енергії споживачам. Вони включають такі параметри, як середня тривалість відключень, частота перебоїв, ступінь резервування і готовність системи до реагування на аварійні ситуації.

ІПНЕ дають змогу кількісно оцінити й управляти такими важливими аспектами, як стабільність поставок, рівень резервування і здатність системи протистояти аварійним ситуаціям. Такі показники допомагають виявити слабкі місця в енергетичній системі та ухвалювати обґрунтовані рішення щодо їх усунення. Крім того, вони сприяють створенню гнучкішої та стійкішої енергетичної системи, здатної швидко адаптуватися до змін і ефективно реагувати на зовнішні та внутрішні загрози. Запровадження інтегральних показників надійності також дає змогу об'єктивно оцінювати та порівнювати різні заходи і стратегії, спрямовані на підвищення надійності електропостачання.

Згідно з ДСТУ 3429:96 [$], інтегральні показники надійності електропостачання включають такі параметри, як середня тривалість відключень (SAIDI), частота перебоїв (SAIFI), індекс енергоємності перебоїв (EENS) та індекс недопоставки електроенергії (ENS). Ці показники використовуються для оцінки ефективності функціонування енергосистеми та виявлення проблемних ділянок, які потребують поліпшення. Обов'язкова звітність. Згідно з ДСТУ 3429:96, енергетичні компанії зобов'язані регулярно подавати звіти про показники надійності, які включають дані про середню тривалість відключень, частоту перебоїв, обсяг недопоставленої електроенергії та інші параметри. Це дає змогу контролюючим органам відстежувати стан енергосистеми та вживати заходів для поліпшення її надійності.

Планування і модернізація. На основі інтегральних показників надійності проводяться планування і модернізація енергетичної інфраструктури. Це

включає в себе оновлення обладнання, поліпшення систем управління та впровадження передових технологій, що сприяє підвищенню стійкості та гнучкості енергосистеми.

Економічна оцінка. Показники надійності використовуються для економічної оцінки збитку, пов'язаного з відключеннями і перебоями в електропостачанні. Це дає змогу енергетичним компаніям обґрунтовувати необхідність інвестицій у заходи з підвищення надійності та оптимізувати витрати на утримання і розвиток енергосистеми.

Захист прав споживачів. Державні стандарти встановлюють вимоги до надійності електропостачання з метою захисту прав споживачів на якісне та безперебійне отримання електроенергії. Використання інтегральних показників надійності дає змогу об'єктивно оцінювати рівень обслуговування та вживати заходів для поліпшення якості енергопостачання.

Порівняльний аналіз і бенчмаркінг. Інтегральні показники надійності використовуються для порівняння ефективності роботи різних енергетичних компаній і регіонів. Це дає змогу виявляти найкращі практики та стимулювати компанії до підвищення рівня надійності та якості обслуговування.

2.1 Типи інтегральних показників

Поділ інтегральних показників на типи відіграє важливу роль у забезпеченні надійного та ефективного управління різними аспектами системи електропостачання. Цей підхід дає змогу точніше й адекватніше оцінювати й аналізувати характеристики та поведінку системи в різних умовах експлуатації.

Середній час простою (MTTR)

Середній час простою – це середній час, який необхідно для відновлення несправного компонента в робочому вузлі. Він відображає очікуваний час наробітку до відмови. MTTR зазвичай вказують в годинах.

Індикатор розраховується в кожному робочому вузлі. Кожен раз, коли відбувається відмова, отримується новий неробочий час для обчислення числа індикатора. Чим вищий цей показник, тим краще.

$$MTTR = \frac{\sum_{i=1}^{i=FE} T_i}{F+1}$$

де F – кількість випадків відмов, які підраховані протягом визначеного інтервалу часу при втрачанні можливості робочого вузла виконати необхідну операцію;

T – це фактичний час, протягом якого робочий вузол недоступний через несправність.

Індекс надійності (ENS)

Розрахунковий обсяг невідпущеної електроенергії (далі ENS) розраховується, як сума добутків кількості відключених точок продажу електричної енергії на тривалість довгої перерви та на середнє споживання електроенергії на відповідному рівні напруги, за формулою:

$$ENS = \sum_{i=1}^{k} \frac{n_i^p \cdot t_i \cdot Q^p}{43800}$$

де p – ознака рівня напруги та відповідної території (0,4 кВ – міський населений пункт, 0,4 кВ – сільський населений пункт, 6-20 кВ – міський населений пункт, 6-20 кВ – сільський населений пункт, 27,5-35 кВ, 110/154 кВ);
i – номер довгої перерви в електропостачанні, $i = 1,2,3,\ldots,k$;
n_i^p — кількість точок продажу електричної енергії, відключених внаслідок i-го довгого переривання з р-ю ознакою рівня напруги та відповідної території, шт;
t_i – тривалість і-ї довгої перерви в електропостачанні, хв;

Q^p – середньомісячне споживання електричної енергії в попередньому році на одну точку продажу електричної енергії з р-ю ознакою рівня напруги та відповідної території, тис. кВт-год;
43800 – звітний період часу (середньомісячний за рік), у хвилинах.

Показник втрати одиниці потужності (LOLE)

Існують різні підходи до визначення індексів такого роду, але концептуально вони визначаються наступними виразами:

$$LOLE = \sum_{i \in S} \mathrm{C}_i \, T_i$$

де: C_i – імовірність перебування системи в і-му стані;
S – множина всіх станів системи, що асоціюються з втратою навантаження;
T_i – тривалість стану (дискретність за часом).

Зазвичай LOLE – це середня кількість днів чи годин за певний період (як правило за рік), коли навантаження перевищують досяжну потужність генерації. І хоча цей показник не відображає ні обсягу, ні частоти появи дефіциту потужності, він є широко вживаним індексом.

2.2 Графіки навантаження

Графіки навантаження електромереж являють собою тимчасові розподіли електроспоживання, які відображають динаміку споживання електроенергії в різних часових інтервалах. Ці графіки є найважливішою сполучною ланкою для інтегральних показників надійності енергопостачання, забезпечуючи всебічний аналіз і управління потоками електричної енергії в електромережах.
Основне значення графіків навантаження полягає в їхній здатності відображати реальні умови експлуатації та функціонування електромережевих систем, а

також їхній вплив на надійність і стійкість електропостачання. Вони дають змогу виявити закономірності та тенденції у зміні електричних навантажень у різних секторах економіки та споживчих групах, що суттєво впливає на інтегральні показники надійності.

Аналіз графіків навантаження дає змогу оцінити потенційні ризики та вразливості в електромережах, а також вжити заходів щодо оптимізації роботи системи. Прогнозування та моделювання графіків навантаження допомагає точніше планувати потреби в генерувальних потужностях і резервних джерелах енергії, що сприяє зниженню ймовірності аварійних відключень і підвищенню надійності електропостачання.

Використання графіків навантаження також відіграє ключову роль у визначенні ефективності та доцільності впровадження різноманітних технологій і заходів з підвищення надійності системи. Наприклад, під час інтеграції відновлюваних джерел енергії, таких як сонячна та вітрова енергетика, графіки навантаження дають змогу оцінити, наскільки ефективно та стійко працюватиме система в разі змін у генерації електроенергії протягом доби та року.

Крім того, аналіз графіків навантаження дає змогу виявити періоди та зони максимального і мінімального споживання, що критично важливо для планування та управління енергетичними ресурсами. Це дає змогу знизити пікові навантаження, оптимізувати розподіл потужності та мінімізувати втрати енергії в мережі, у такий спосіб покращуючи загальні показники надійності та енергоефективності.

Найбільше можливе за добу навантаження приймається за 100%. При відомому розрахунковому максимумі навантаження P_{max} можна перевести типовий графік (Р, %) у графік навантаження даного промислового споживача в значенні активної потужності (Р, кВт)[$].

$$P_j = \frac{n\% \cdot P_{max}}{100\%}$$

де P_j – потужність навантаження в певний час доби, кВт;

$n\%$ – ординатавідповідної ступені типового графіка, %;

P_{max}– максимальне навантаження, кВт.

Потім по добовому графіку навантаження визначають:

– добова витрата енергії:

$$W_c = \sum_{i=1}^{24} P_j \cdot t_i$$

де *t* – тривалість *i*-ої ступкні добового графіка, год;

– Середньодобове навантаження:

$$P_{cp} = \frac{W_c}{24}$$

– коефіцієнт заповнення графіка навантажень $K_{\text{зг}}$ характеризує ступінь нерівномірності режиму роботи АЕУ:

$$K_{\text{зг}} = \frac{P_{cp}}{P_{max}} = \frac{W_c}{24P_{max}}$$

Для планування річного споживання і вироблення електроенергії складають річні графіки навантаження за тривалістю і річні графіки зміни добових максимумів навантажень.

Загалом графіки навантаження електромереж є невід'ємною частиною системи управління енергопостачанням, забезпечуючи комплексне і деталізоване уявлення про динаміку споживання електроенергії та її вплив на інтегральні показники надійності. Вони слугують важливим інструментом для моніторингу, аналізу та поліпшення надійності електропостачання, даючи змогу своєчасно виявляти й усувати можливі загрози та порушення в роботі енергосистеми.

2.3 Виробництво електроенергії з ВДЕ

Джерело енергії, яке виробляє електроенергію шляхом її отримання і трансформації із зовнішнього середовища, або із енергетичних переходів всередині себе, є генератором. В АЕУ генератором є окремий прилад або їхня сукупність однакового або різного принципів дії. Кількість генераторів у схемі може бути будь-якої натуральної величини. Функціонал деяких типів генераторів не закінчується тільки на видобутку електричної енергії, а й теплової також, безпосередньо від середовища, або від процесу утворення електричного струму.

Такими генераторами можуть бути:

- *Сонячні генератори*: Фотовольтаїчна технологія (PVT) перетворює сонячне світло на електрику за допомогою панелей, які поглинають енергію сонячних фотонів і генерують електричний струм. Концентрована сонячна енергія (CSP) використовує дзеркала або лінзи для фокусування сонячного випромінювання, нагріваючи теплоносій, який потім перетворюють на механічну та електричну енергію або акумулюють у термальних накопичувачах. CSP зазвичай застосовують на великих електростанціях, забезпечуючи тривале зберігання тепла і стійке енергопостачання.
- *Вітрові турбіни*: Пристрої, що перетворюють кінетичну енергію вітру в електричну.
- *Біогазові установки*: Генератори, що використовують біомасу для виробництва біогазу, який потім спалюється для генерації електроенергії.
- *Малі гідроелектростанції*: Використовують кінетичну енергію води для вироблення електричних ресурсів, особливо ефективні на рельєфній місцевості з перепадами висот. Також, до цього типу можна додати приливну енергетику, не зважаючий на інший принцип дії.
- *Геотермальні електростанції*: Використовують природньо нагрітий пар із свердловин що ведуть до підземних зон із підвищеною температурою. Сьогодні найпоширенішим типом геотермальних електростанцій є парові

установки миттєвого випаровування. Отриману геотермальну енергію можна використовувати для безпосереднього обігріву будівель, гарячого водопостачання або виробництва електроенергії.

– *Інші*.

2.3.1 Фотовольтаїчні системи

Основна частина таких систем являють собою плоскі сонячні панелі, в яких перетворення сонячної енергії здійснюється безпосередньо за допомогою фотоелектричних модулів – сонячних панелей. Такі системи, як правило, нерухомі і мають фіксовану орієнтацію, проте в них також може бути інтегрована система стеження за сонцем для зміни кута падіння сонячних променів на робочу зону палені, що тим самим підвищить середню потужність сонячної електростанції в установці.



Рисунок 2.1 – сонячна панель LR5-72HTH-585M

Для забезпечення надійності та стійкості вироблення електроенергії фотоелектричними модулями необхідна наявність додаткових компонентів: електричні кабелі, підтримувальні конструкції і, залежно від типу системи (за потужністю або автономністю), електронні інвертори та контролери заряду з накопичувачами енергії. У сукупності такі системи називають сонячними фотовольтаїчними системами.

Загалом, ФВС складаються з фотоелектричних модулів, що являють собою масиви з'єднаних між собою сонячних елементів, які генерують електричну енергію. Крім модулів, системи включають так званий баланс системи (balance-of-system, BOS), який охоплює всі компоненти системи, за винятком самих сонячних елементів. До компонентів BOS відносяться кабельні з'єднання, опорні конструкції, акумуляторні батареї, контролери заряду, електронні компоненти для управління системою, перетворювачі постійного струму в змінний та інші допоміжні елементи. Деякі компоненти не є обов'язковими для всіх типів ФЕС і залежать від специфіки застосування та вимог до системи.

Системи з концентрацією сонячного випромінювання (Concentrated Photovoltaics) включають точні системи стеження за сонцем, які забезпечують безперервну зміну орієнтації модулів залежно від положення сонця на небосхилі.

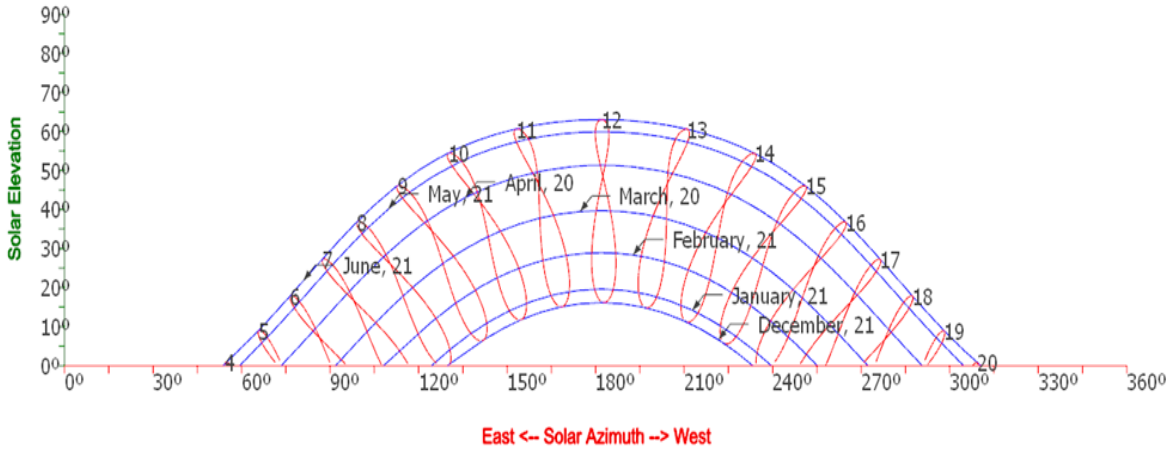


Рисунок 2.2 – Висота підняття сонця протягом року у м. Київ

Зі зростанням ступеня концентрації сонячного випромінювання точність стеження повинна збільшуватися, що вимагає створення спеціальних опорно-

поворотних пристроїв, оснащених датчиками положення сонця і електроприводами. У таких системах для відведення надлишкового тепла потрібне примусове охолодження. Для систем із низьким рівнем концентрації випромінювання зазвичай використовують мідні радіатори, тоді як для високих концентрацій уже потрібне водяне охолодження, що забезпечує ефективне тепловиділення і підтримання оптимального температурного режиму роботи фотоелектричних елементів.

Кремнієві фотоелементи перетворюють сонячне випромінювання на електричну енергію, поділяються на кілька типів, кожен з яких має унікальні характеристики, ефективність перетворення енергії та рівень поширеності. У таблиці наведено основні види кремнієвих фотоелементів із зазначенням їхнього ККД.

Таблиця 2.1 – Типи фотоелементів за КПД та поширеністю

Тип фотоелемента	КПД (%)	Поширеність
Монокристалічні (Mono-Si)	15-22%	Широке застосування у сонячних установках.
Полікристалічні (Poly-Si)	13-18%	Масове виробництво сонячних панелей.
Тонкоплівкові (InTeCd)	10-16%	Використовуються у малопотужних і гнучких рішеннях.
Кадмій-телуридні (CdTe)	9-12%	Обмежене застосування у малопотужних пристроях.
Мідно-індій-диселенідні (CIS/CIGS)	7-12%	Використовуються у великих сонячних установках.
Аморфні кремнієві (a-Si)	6-9%	Застосовуються у складних і дорогих системах.

Обслуговування сонячних панелей охоплює регулярне очищення для видалення пилу і забруднень, перевірку на пошкодження і надійність кріплень, моніторинг продуктивності для виявлення відхилень, огляд інвертора і очищення його вентиляційних отворів, а також оцінку навколишніх умов щодо

можливого затінення панелей, що дає змогу підтримувати їхню ефективність і продовжити термін служби.

2.3.2 Вітрогенератор

Це пристрій, який перетворює кінетичну енергію повітряних мас в електричну енергію за допомогою вітряних турбін.

Вітер використовується для генерації електроенергії шляхом перетворення кінетичної енергії, утвореної рухомими повітряними потоками. Ця енергія трансформується в електричну за допомогою вітряних турбін або систем конверсії вітрової енергії. Потік повітря впливає на лопаті турбіни, приводячи їх у рух і, відповідно, обертаючи прикріплену до них турбіну. Таким чином, кінетична енергія перетворюється на механічну енергію обертання, передаючи крутний момент через з'єднаний з генератором вал, що призводить до виробництва електричної енергії на основі електромагнітної індукції.



Рисунок 2.3 – Вітрогенератор LT20KW зі сторони обертового механізму

Кількість виробленої енергії визначається розмірами турбіни та довжиною її лопатей. Для управління процесом зарядки акумуляторних станцій, між вітрогенератором і батареями встановлюється контролер заряду. Цей компонент регулює зарядну напругу і запобігає пошкодженню батарей від перезаряду. За необхідності, надлишкова енергія може бути спрямована на компенсуючий пристрій(наприклад, на великий резистор або електричні нагрівальні елементи для опалення).

Ортогональні ВГ з вертикальною віссю обертання, що використовують підйомну силу крила, мають ККД трохи нижчий, ніж у пропелерних, але їхня ефективність все ж висока. Однак у вертикально-осьові турбіни не можуть самостійно запустити обертання і потребують додаткового приводу – або від акумуляторів, або від іншої вітротурбіни з початковим обертовим моментом.

ВГ із горизонтальною віссю обертання, що має дві або три лопаті, встановлені на вершині щогли – найпоширеніший тип вітроустановок. Сучасні горизонтальні ВГ являють собою установку, яка служить для переробки кінетичної енергії вітру в механічну енергію за допомогою лопатей, а потім в електричну за допомогою електричного генератора. Для побутового використання, як правило, встановлюється один ВГ, під'єднаний до системи домашнього електропостачання, яка містить також накопичувальні акумулятори.

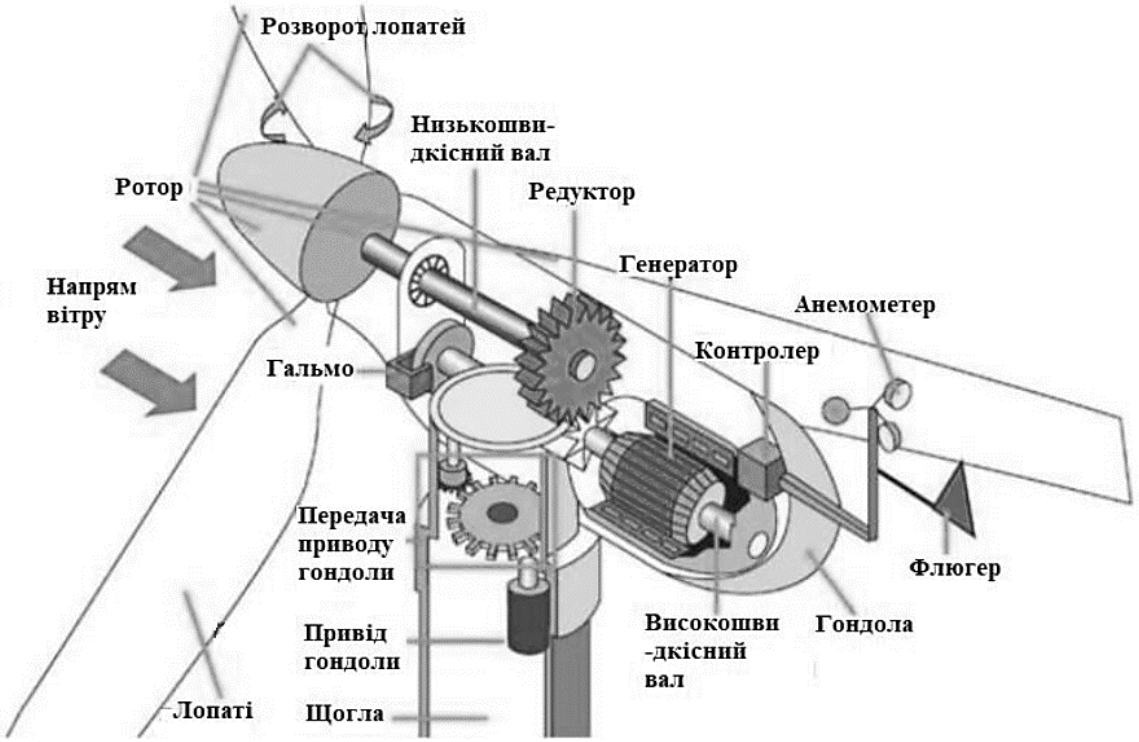


Рисунок 2.4 – внутрішня будова вітрогенератора

Конструкцію ВЕУ з горизонтальною віссю представлено на малюнку 1.1. Основними частинами ВЕУ є щогла і встановлена на ній гондола, в якій знаходяться всі інші елементи.

Елементи вітрогенератора:

1) Вітроколесо (до нього входять лопаті та маточина);

2) Вал турбіни (низькошвидкісний вал);

3) Вал генератора (високошвидкісний вал);

4) Редуктор, що механічно з'єднує вал генератора з валом турбіни;

5) Електрогенератор;

6) Контролер, що керує роботою електрогенератора;

7) Флюгер, що орієнтує турбіну за вітром;

8) Анемометр, що вимірює швидкість вітру;

9) Гальмо, що служить для зупинки турбіни в критичних ситуаціях (захист від угону).

Вертикально-осьові ВТ зазвичай менш ефективні порівняно з горизонтально-осьовими ВТ з таких причин:

1) лопать відчуває опір, оскільки частину траєкторії вона проходить проти напрямку вітру.
2) вертикально-осьові турбіни частіше встановлюються на меншій висоті, де швидкість вітру нижча.
3) вертикально-осьові ВТ схильні до проблем вібрації, як-от шум, прискорений знос і пошкодження опорних конструкцій через турбулентність повітряного потоку на низькій висоті.

2.3.4 Резервний генератор на вуглеводневому палеві

Резервні генератори в АЕУ відіграють ключову роль у забезпеченні стабільного та надійного електропостачання, особливо в тих випадках, коли основне джерело виробляє недостатньо електроенергії для споживача, а також, коли електроустановка сама по собі вимагає стартового запасу електроенергії в системі. Резервні генератори є важливим компонентом, який компенсує недоліки під'єднаних ВДЕ, забезпечуючи безперервне та безперебійне живлення.



Рисунок 2.5 – Дизельний генератор Grupel G0100GRGR потужністю 80 кВт

Звертаючи увагу на енергетичний масштаб АЕУ середніх потужностей, комплекс із резервних генераторів можуть стати чудовою альтернативою для забезпечення споживача електроенергією, адже генеровану потужність можна легко регулювати, змінюючи певну кількість працюючих генераторів у «локальній» енергомережі.

Одним з основних недоліків генераторів на паливі є значні викиди парникових газів та інших шкідливих речовин. Згідно з даними Агентства з охорони навколишнього середовища США, середній дизельний генератор потужністю 500 кВт викидає в атмосферу близько 9 кг CO_2 за годину роботи [$]. Навіть невелика кількість викидів сприяють парниковому ефекту, що завдає шкоди екосистемам. Крім вуглекислого газу, в атмосферу надходять оксиди азоту (NO_2), сірчистий газ (SO_2) і тверді частинки, які спричиняють погіршення якості повітря. Крім того, робота генераторів на паливі супроводжується гучним шумом. Забруднення ґрунту і водойм є ще однією проблемою, пов'язаною з

використанням генераторів на паливі. Витоки або аварійні розливи нафтопродуктів, що використовуються в цих генераторах, можуть призвести до значного забруднення навколишнього середовища. Один розлив дизельного палива об'ємом 100 літрів може забруднити до 1 мільйона літрів води, що завдає шкоди екосистемам і може мати тривалі наслідки. Тому поставка та зберігання великої кількості палива для забезпечення АЕУ необхідним об’ємом енергоресурсів, з екологічної точки зору, має дотримуватись ряду правил щодо неприпустимості виникнення витоків. Потрібно зберігати особливу пильність у дотриманні безпеки біля заповідників, або на аграрних підприємствах, де будь-який забруднювальний продукт може непомітно, але у ненульових кількостях, потрапити шкідлива речовина на території із споживним потенціалом, або у поживний об'єкт (рослина або тварина). Навіть далеке розташування резервних станцій з паливними комірками не гарантує ізольованість органічних споживаних зон від забруднення.

Попри негативні екологічні наслідки, генератори на паливі мають низку значних переваг. Вони забезпечують надійне енергопостачання в критичних ситуаціях, що особливо важливо для медичних закладів, дата-центрів та інших об'єктів, де безперервне електропостачання вкрай необхідне.

Якщо до автономної електроустановки з використанням ВДЕ додається резервний генератор, тоді таку електростанцію називають гібридною або автономно-гібридною, підкреслюючи цим введення технологічного нюансу в систему.

2.4 Акумуляторна система

Акумулятор для АЕУ є основним компонентом системи зберігання енергії, що забезпечує надійне електропостачання споживачів за відсутності або за нестачі генерації електроенергії з відновлюваних джерел. Основне завдання акумулятора полягає в накопиченні надлишкової енергії, що виробляється генераторами установки в періоди високого вироблення, і подальшій її віддачі в

мережу або безпосередньо споживачам у періоди низького вироблення, наприклад, у нічний час або за відсутності вітру, або за введений спеціальний режим роботи.

Сучасні акумулятори для таких установок, наприклад, літій-іонні або свинцево-кислотні, характеризуються високою ємністю і здатністю підтримувати стабільну напругу на виході протягом тривалого часу. Вони мають бути оснащені системами управління зарядом, які запобігають глибокому розряду, здатному викликати незворотні пошкодження і значне зниження терміну служби акумулятора.

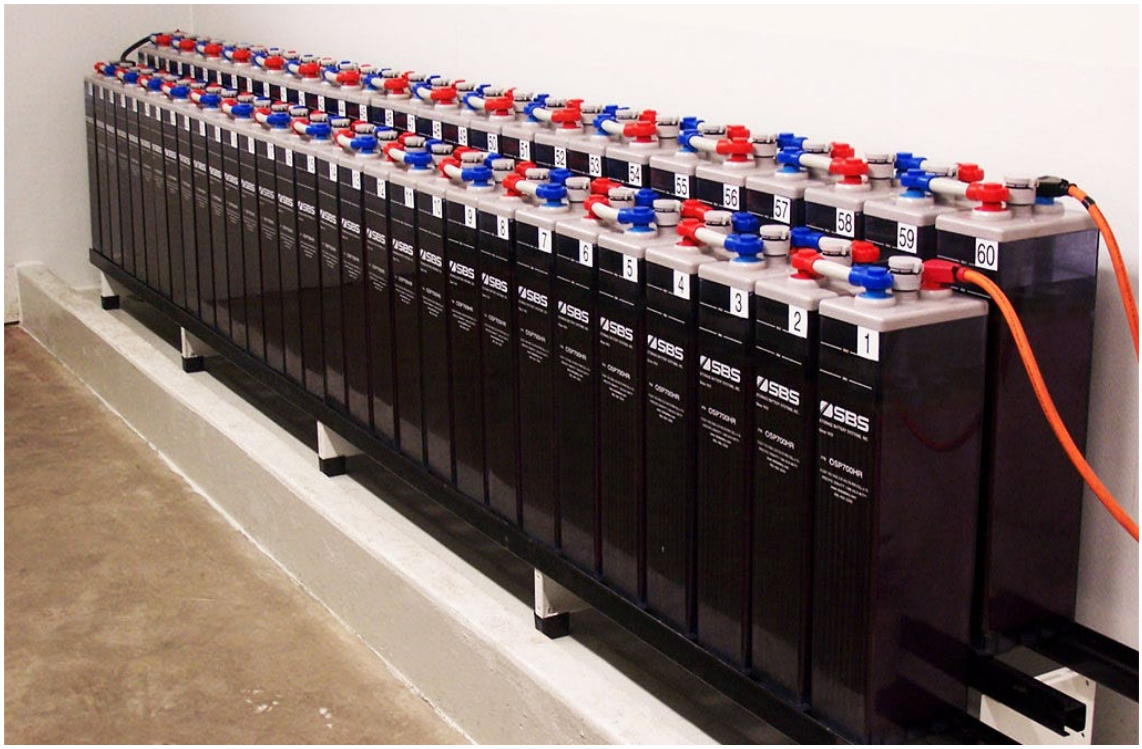


Рисунок 2.6 – Акумуляторна система для автономної електроустановки знаходиться у закритому приміщені із помірною температурою

Акумуляторні батареї для акумуляторних систем автономних електроустановок поділяються на кілька типів, кожен з яких має свої особливості та сферу застосування. Основні типи включають свинцево-кислотні

акумулятори, нікель-кадмієві акумулятори, літій-іонні акумулятори та акумулятори на основі проточних батарей. Свинцево-кислотні акумулятори (особливо гелеві та AGM – Absorbent Glass Material) є найпоширенішими завдяки низькій вартості та надійності, вони ідеальні для невеликих автономних систем із помірними вимогами до ємності та циклічності. Нікель-кадмієві акумулятори вирізняються високою довговічністю та стійкістю до екстремальних умов, що робить їх придатними для використання в суворих кліматичних умовах і системах із високими вимогами до надійності. Літій-іонні акумулятори, відомі своїм високим ККД і щільністю енергії, є найкращим вибором для систем, що вимагають компактних рішень з великою кількістю циклів заряд-розряд, таких як сонячні електростанції та мобільні автономні пристрої. Проточні акумулятори, незважаючи на складнішу конструкцію, пропонують можливість масштабованого зберігання великих обсягів енергії та підходять для великих об'єктів, які потребують надійного довгострокового накопичення і використання енергії, наприклад, вітряні та сонячні ферми.

Таблиця 2.2 – технічні характеристики АКБ за типом:

Тип акумулятора	ККД (%)	Енергоємність (Вт·год/кг)	Експлуатаційні цикли (n·1000)	Час розрядки (год)
Свинцево-кислотний (Pb-Acid)	70-85	30-50	0,5-1	4-8
Нікель-кадмієвий (Ni-Cd)	60-80	50-70	1,5-2	3-5
Літій-іонні (Li-ion)	90-95	150-200	3-5	1-3
Проточні (V/VRB)	75-85	40-80	5-10	5-10

2.5 Інвертор

Інвертор у складі автономних електроустановок відіграє ключову роль, здійснюючи перетворення постійного струму, що генерується фотомодулями або іншими джерелами, на змінний струм, який використовують більшість побутових і промислових споживачів. Основною функцією інвертора є не тільки перетворення струму, а й забезпечення стабільності напруги та частоти в мережі, контроль та управління енергопостачанням. У автономних системах існує декілька способів підключення інверторів: вони можуть бути з'єднані безпосередньо з генераторами постійного струму (як у випадку з сонячними панелями), або інтегровані в систему через акумуляторні блоки, забезпечуючи буферну функцію для вирівнювання навантажень. Інвертори також можуть бути підключені через контролери заряду, які оптимізують процес заряджання акумуляторів та запобігають їх перевантаженню. Крім того, є можливість підключення інверторів до мережі змінного струму для синхронізації з іншими джерелами енергії або для передачі надлишків енергії до централізованої мережі, якщо автономна установка передбачає таку функцію.

Інвертори в автономних електроустановках різняться за типами та функціональними характеристиками, від яких залежить їх ефективність і придатність для конкретних застосувань.

Інвертори для АЕУ:

- Синосуїдальні інвертори генерують чистий змінний струм з синусоїдальною формою хвилі. Ці інвертори найбільш схожі на стандартний мережевий струм і підходять для всіх типів споживачів, включаючи чутливі електронні пристрої. Синусоїдальні інвертори зазвичай використовуються в якості основного джерела електропостачання в автономних системах.
- Модифіковані синусоїдальні інвертори виробляють змінний струм зі спрощеною (або модифікованою) синусоїдальною формою. Ці інвертори менш дорогі у виробництві, але не підходять для всіх типів навантаження. Вони можуть працювати з більшістю побутових приладів, але для чутливих

апаратів (наприклад, деяких видів моторів або лікарського обладнання) не рекомендуються.

– Високочастотні інвертори забезпечують значно вищу ефективність перетворення енергії за рахунок використання високочастотних технологій. Ці інвертори зазвичай мають менший розмір і вагу, а також можуть працювати на вищих напругах, що знижує втрати в проводнику. Вони підходять для використання в системах, де важлива компактність і енергоощадність.

Кожен тип інверторів має свої особливості і обмеження, які потрібно враховувати при виборі для конкретної автономної електроустановки. Важливо враховувати типи споживачів, які будуть підключені до системи, а також потужність і напругу, яка необхідна для задоволення потреб навантаження.

Ефективність інверторів, особливо у випадку з ФЕС, залежить від точності налаштування на максимальну точку живлення (MPPT), що дозволяє максимально ефективно використовувати енергію сонячних панелей навіть за змінних умов освітлення. Багатоканальні MPPT інвертори особливо корисні для систем із неоднорідними масивами сонячних панелей, забезпечуючи максимальну гнучкість і ефективність. У випадках з великими СЕС, такі інвертори забезпечують високу ефективність до 98%, що робить їх ідеальними для АЕУ середньої та великої потужностей, а їхня здатність до гнучкої конфігурації дозволяє використовувати ці інвертори як для автономних, так і для адаптивних електроустановок.

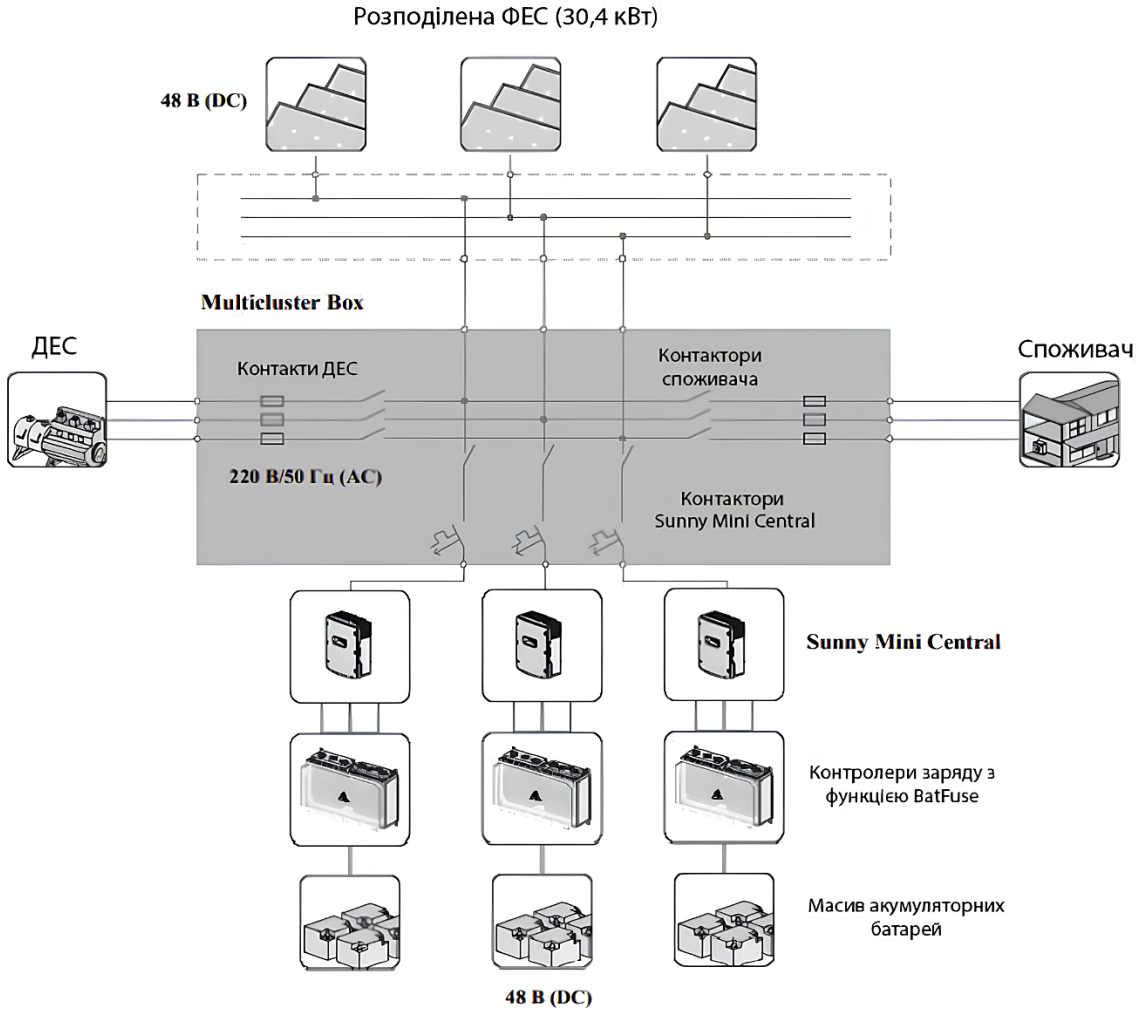


Рисунок 2.7 – Спростована електрична схема автономно-гібридної електроустановки

Вихідна напруга автономних інверторів у більшості випадків становить 220 В (50/60 Гц), але в інверторах потужністю 10-100 кВт можна отримувати трифазну напругу 380 В [$].

Інвертори можуть бути оснащені системою примусової вентиляції, оскільки під час перетворення енергії виділяється значна кількість тепла. Одним з ключових показників якості інвертора є наявність кількох режимів роботи вентилятора для активного охолодження. При невеликому навантаженні, коли тепловиділення мінімальне, вентилятор не працює, що сприяє додатковій економії енергії та підвищує загальну ефективність сонячної електростанції. У

міру зростання потужності інтенсивність роботи вентилятора повинна відповідно збільшуватися, щоб забезпечити належне охолодження інвертора.

Ефективна система вентиляції не тільки подовжує термін служби інвертора, запобігаючи його перегріву, але й знижує ризик відмови та підвищує загальну надійність системи. Крім того, вдосконалені системи охолодження з інтелектуальним керуванням можуть автоматично регулювати інтенсивність охолодження відповідно до температурних умов, що додатково оптимізує енергоспоживання.

2.6 Контролер заряду

Контролер в автономних електроустановках є ключовим елементом управління, відповідальним за координацію роботи різних компонентів системи. Він забезпечує моніторинг і управління енергетичними процесами, включно із зарядом і розрядом АКБ, регулюванням роботи інверторів, усіма фотомодулями або по окремості, та іншими джерелами енергії, що з'єднані зі схемою АЕУ. Контролери використовують різноманітні алгоритми і програмне забезпечення для оптимізації роботи системи, мінімізації втрат і підвищення її ефективності.

Існують різні типи контролерів залежно від специфіки енергосистеми: PWM (широтно-імпульсна модуляція), контроль технології MPPT, а також розумні контролери, здатні адаптуватися до мінливих умов довкілля та споживчих характеристик.

Сьогодні можна часто зустріти поєднані контролери з інверторами в один цілісний агрегат, що дає змогу скоротити втрати енергії та поліпшити координацію роботи пристроїв, оптимізуючи ефективність системи загалом. Такі комбіновані пристрої часто пропонують розширені функціональні можливості та спрощене управління, що робить їх кращими для сучасних автономних енергетичних систем.

Не зважаючи на окремість обох приладів у принциповій схемі (рис. 2.1), вони можуть розглядатись і як об’єднаний тип, бо на входах приладу, використовується той же самий принцип розподілу електроенергії.

2.7 Висновки до розділу 2

Використання АДЕ надає унікальні можливості для поліпшення показників надійності електропостачання. Децентралізація виробництва енергії, створення резервних потужностей та розвиток систем зберігання сприяють підвищенню стійкості та гнучкості енергетичних систем. Приклади успішного впровадження АДЕ в різних країнах демонструють значні переваги та підтверджують актуальність цих технологій у сучасних умовах. Впровадження альтернативної енергетики є важливим кроком на шляху до сталого розвитку та забезпечення надійного і стабільного електропостачання, що має вирішальне значення для економічної стабільності та добробуту населення.

3 ПОКРАЩЕННЯ ПОКАЗНИКІВ НАДІЙНОСТІ ДЛЯ АДЕ

Енергоефективність електричних систем характеризується їхньою здатністю мінімізувати енергетичні втрати під час перетворення, передавання та споживання електроенергії, забезпечуючи водночас необхідну якість електропостачання та стійку роботу. Це має на увазі оптимізацію використання електричної енергії, за якої на виробництво, передачу і споживання електроенергії витрачається мінімально можлива кількість ресурсів і засобів, без зниження продуктивності та надійності системи. В електричних системах це досягається за допомогою впровадження передових технологій і методів, спрямованих на скорочення енергоспоживання, зменшення втрат під час передачі та підвищення загальної ефективності функціонування обладнання.

Основні аспекти підвищення енергоефективності електричних систем включають:

- Застосування енергоефективного обладнання: Використання інноваційних технологій та обладнання з високим коефіцієнтом корисної дії (ККД), яке мінімізує енергетичні втрати на всіх етапах виробництва та розподілу електроенергії.
- Оптимізація операційних процесів: Регулювання навантажень і застосування передових методів управління та автоматизації, спрямованих на мінімізацію втрат енергії та підвищення ефективності роботи електричних систем. Це охоплює використання інтелектуальних систем управління навантаженнями і технологій прогнозування енергоспоживання.
- Використання матеріалів і технологій з низьким опором: Впровадження високоефективних матеріалів і технологій, які знижують електричний опір і втрати енергії під час її передачі. Це сприяє зменшенню енергетичних витрат і підвищенню загальної ефективності енергосистеми.
- Регламентація енергоефективності відповідно до державних стандартів
- Державні стандарти в галузі енергоефективності, такі як ДСТУ 50001, регламентують вимоги щодо зниження енергоспоживання та оптимізації

використання енергетичних ресурсів. Цей стандарт встановлює вимоги до систем енергетичного менеджменту, орієнтованих на постійне поліпшення енергетичної продуктивності та підвищення енергоефективності в різних галузях економіки. Стандарт містить положення, спрямовані на розроблення та впровадження систем управління енергією, які допомагають організаціям і підприємствам покращувати свої енергетичні показники та скорочувати витрати на споживання енергії.

Основні положення стандартів енергоефективності включають:

- Зниження енерговитрат на виробництво і надання послуг: Оптимізація виробничих процесів і впровадження енергоефективних технологій, що призводить до скорочення витрат на енергоспоживання.
- Впровадження енергоефективного обладнання та технологій: Використання сучасних технологій і обладнання, які мінімізують енергоспоживання при збереженні або підвищенні продуктивності системи.
- Систематичний моніторинг та оптимізація використання енергії: Постійний контроль за споживанням енергії та впровадження заходів щодо його оптимізації, що сприяє поліпшенню енергетичних показників і зниженню витрат.
- Досягнення цілей щодо зниження викидів завдяки підвищенню енергоефективності та використанню АДЕ: Перехід на енергоефективні та екологічно чисті технології, що сприяє зниженню викидів і поліпшенню екологічної обстановки.

Основні проблеми надійності в альтернативній енергетиці пов'язані з її природною мінливістю та залежністю від зовнішніх чинників, таких як погодні умови та сезонні коливання. На відміну від традиційних джерел енергії, таких як вугільні або атомні електростанції, виробництво енергії з відновлюваних джерел важко передбачуване і схильне до значних флуктуацій. Наприклад, сонячні панелі можуть бути неефективними в умовах хмарності або вночі, а вітрові турбіни - в періоди слабкого вітру. Для подолання цих проблем необхідне

впровадження передових технологій зберігання енергії, а також поліпшення прогнозування та управління виробництвом енергії. Це дасть змогу створити більш гнучкі та стійкі енергосистеми, здатні адаптуватися до змін у виробництві та споживанні енергії, забезпечуючи тим самим високі показники надійності та стабільності енергопостачання.

Підвищення показників надійності є критично важливим аспектом для інтеграції АДЕ в енергосистеми, оскільки це сприяє забезпеченню стабільного та безперебійного постачання електрики. Ненадійне енергопостачання може призвести до значних економічних втрат, збоїв у виробничих процесах і зниження довіри до альтернативних джерел енергії серед споживачів та інвесторів.

Додатковим заходом для підвищення надійності є використання децентралізованих енергоустановок і мікрогридів, які можуть працювати незалежно від основної енергосистеми. Це дасть змогу знизити ризики, пов'язані з центральними збоями і перевантаженнями, і забезпечить стійкіше енергопостачання в разі аварій або природних катастроф. Впровадження інтелектуальних систем управління та контролю також сприяє поліпшенню показників надійності, даючи змогу оперативно реагувати на зміни в енерговиробництві та споживанні, а також ефективно розподіляти ресурси.

3.1 Узагальнена схема об’єкту (установки)

Основні компоненти установок на базі АДЕ включають:

- Кліматичні та географічні умови генерації: Визначають ефективність і обсяг вироблення електроенергії.
- Системи генерації електроенергії: Такі як сонячні панелі або вітрові турбіни, що перетворюють природні ресурси в електрику.
- Інвертори або інші перетворювачі: Необхідні для перетворення енергії у форми, придатні для подальшого використання.

- Системи зберігання енергії: Дозволяють накопичувати надлишкову енергію для використання в періоди низького виробництва.
- Контролери та системи управління: Забезпечують оптимальне функціонування всієї системи.
- Розподільні та провідні елементи (заземлення): Включають кабелі та системи заземлення, що забезпечують безпечну передачу енергії.
- Моніторинг і діагностика: Системи, які відстежують продуктивність і стан установки, запобігаючи збоям.
- Споживач: отримувач електричної енергії від пункту віддачі електроенергії з електростанції.

Кожен із цих компонентів розглядається як енергетично відкрита система, в якій здійснюється передача енергії або її розподіл між різними елементами. Ці передачі можуть бути як корисними, тобто здатними до подальшого використання, так і некорисними, що виражається у втратах енергії.

Споживач у цьому контексті розглядається як допоміжний елемент, який не є частиною автономної енергетичної системи, але впливає на неї через графіки навантаження. Споживачі класифікуються на кілька груп, кожна з яких характеризується власними унікальними характеристиками споживання електроенергії.

Гібридна енергетична система, що працює на АДЕ, є комплексною структурою, в якій електрична енергія проходить через різні стадії, починаючи від генерації і закінчуючи її споживанням.

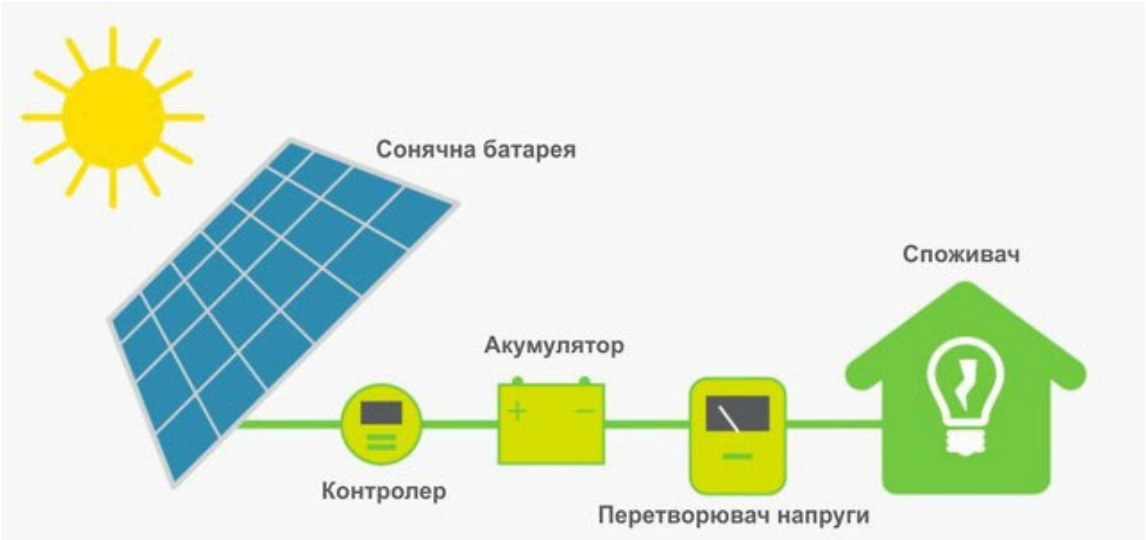


Рисунок 3.1 – Принципова схема використання відновлювальних джерел

3.2 Розрахунок інтегральних показників

Ємність акумуляторних батарей є ключовим параметром, що визначає їхню здатність до накопичення і віддачі електричної енергії, що критично важливо для забезпечення надійної та стабільної роботи електростанцій з АДЕ. Ємність демонструє, яку кількість електричного заряду може бути накопичено за заданої номінальної напруги, і скільки часу батарея здатна підтримувати навантаження без необхідності підзарядки. Ємність батарей має бути ретельно розрахована відповідно до прогнозованих енергетичних потреб, щоб забезпечити адекватний час роботи та запобігти глибокому розряду, який може негативно позначитися на терміні служби батарей. Ці батареї мають бути інтегровані в систему напруги установки таким чином, щоб відповідати необхідній напрузі генераторів і споживачів, що дає змогу забезпечити ефективне передавання енергії та мінімізувати енергетичні втрати. У типовій конфігурації акумуляторна система підтримує стабільну напругу в мережі, компенсуючи коливання, викликані змінами навантаження або варіаціями у виробництві енергії. Для забезпечення довгострокової надійності та ефективності автономних електричних установок необхідно постійно відстежувати стан акумуляторних батарей, вчасно проводити їхнє технічне

обслуговування та уникати глибоких розрядів, підтримуючи рівень заряду в межах, рекомендованих виробником.

У нічний час установки на основі АДЕ (переважно сонячні електростанції) споживають накопичену в акумуляторних батареях енергію для підтримання навантаження, водночас будь-який тип споживача, з огляду на усталені ритми людської активності вдень і вночі, дає змогу використовувати нічний період як тимчасову зону зі зниженим споживанням. Енергоємність акумуляторних батарей визначається як добуток їхньої ємності на номінальну напругу. Ємність показує потенціал батареї за часом, протягом якого вона може забезпечувати навантаження за умови повного заряджання, і вимірюється в ампер-годинах. У міру розряду напруга і енергоємність акумулятора знижуються, що вимагає уважного контролю і управління.

Витрата енергоємності акумуляторної батареї АЕУ за час живлення навантаження визначається як продукт споживаної навантаженням потужності і часу:

$$\Delta C = \frac{P_{\text{н}}}{U_{\text{н}}}\Delta t = \frac{P_{\text{н}}}{U_{\text{н}}}(24 - \Delta t_{\text{дв}}) \qquad (3.14)$$

де ΔC–витрата ємності;

Δt – час живлення навантаження, год;

$P_{\text{н}}$ – номінальна потужність навантаження;

$U_{\text{н}}$ – номінальна напруга навантаження;

Щоб продовжити термін служби акумулятора, рекомендується його розряджати не більше ніж на 70-80% від його повної ємності. Ступінь розрядженості акумуляторної батареї автономної електроустановки визначається:

$$S_{\text{р}} = \frac{C_{\text{н}} - C_{\min}}{C_{\text{н}}} \cdot 100\% = \frac{\Delta C}{C_{\text{н}}} \cdot 100\% \qquad (3.15)$$

де $C_н$ – номінальна ємність.

Виразивши з (3.15) ємність $C_н$ з урахуванням (3.14), отримуємо вираз для визначення необхідної ємності акумуляторної батареї у вигляді:

$$C = \frac{100}{S_р} \cdot \frac{P_н}{U_н} \cdot \Delta t \tag{3.16}$$

Рівняння 3.16 дає змогу легко розрахувати необхідну ємність акумуляторної батареї АЕУ за постійного навантаження. Найважчим режимом експлуатації акумуляторних батарей АСЕ є холодні пори року, тому під час розрахунків за (3.16) приймають $\Delta t_{нв} = 16$ год, а ступінь розрядності акумуляторної батареї як $S_р = 70\%$ [$].

Акумуляторна система в АЕУ набирається з окремих серійно вироблених акумуляторних батарей шляхом послідовного і паралельного їх з'єднання. Послідовне з'єднання окремих АКБ використовується для збільшення напруги, а ємність гілки акумуляторної батареї при цьому відповідає ємності окремої акумуляторної батареї. Отримана при паралельному з'єднанні АКБ має таку саму напругу, що й поодинока (однолінійна)АКБ, а ємність такої акумуляторної батареї дорівнює сумі ємностей поодиноких АКБ, що входять до неї [$].

Енергоємність АКБ для АЕУ обчислюється як:

$$W = C_н W_н \tag{3.17}$$

де W – загальна енергоємність.

Число послідовно ввімкнених одиночних АКБ у гілці:

$$l = \frac{U_н}{U_{аб}} \tag{3.18}$$

де $U_{аб}$ – напруга окремої АКБ.

Число паралельних гілок в акумуляторній батареї АЕУ:

$$m = \frac{C_{\text{н}}}{C_{\text{аб}}} \tag{3.19}$$

де $C_{\text{аб}}$ – ємність окремої АКБ.

Тоді загальне число окремих АКБ в акумуляторній системі АЕУ відповідає:

$$N = l \cdot m \tag{3.20}$$

Підставивши в (3.20) рівняння (3.16)-(3.19), одержуємо співвідношення для визначення загальної кількості поодиноких АКБ, що входять до акумуляторної системи АСЕ у вигляді:

$$N = \frac{100}{S_p} \cdot \frac{P_{\text{н}}}{W_{\text{аб}}} \cdot \Delta t_{\text{нв}} \tag{3.21}$$

де $W_{\text{аб}} = C_{\text{аб}} U_{\text{аб}}$ – енергоємність окремої АКБ.

Чим більша енергоємність або ємність за заданої напруги акумулятора, тим менше окремих акумуляторів знадобиться в акумуляторній системі. Вибравши акумулятор заданої ємності з рівнянь (3.16) і (3.19), можна скласти вираз для визначення напруги акумуляторної батареї АЕУ у вигляді:

$$U_{\text{н}} = \frac{100}{S_p} \cdot \frac{P_{\text{н}}}{m C_{\text{аб}}} \cdot \Delta t_{\text{нв}} \tag{3.22}$$

У загальному випадку навантаження АЕУ непостійне, тобто змінюється в часі. Зміну навантаження згідно з табл. 2 на інтервалі нічного часу доби можна апроксимувати графіком 3.4. Для спрощення графіка навантаження представлено двома значеннями $P_{\text{н1}}$та $P_{\text{н2}}$ доп'яти інтервалів часу. Об'єднуючи представлені на графіку 3.6 інтервали часу з однаковими значеннями навантажень, отримуємо двоступеневий графік зміни навантаження. Інтервали часу Δt_1 і Δt_2, визначені як сума інтервалів часу з навантаженням$P_{\text{н1}}$та $P_{\text{н2}}$.

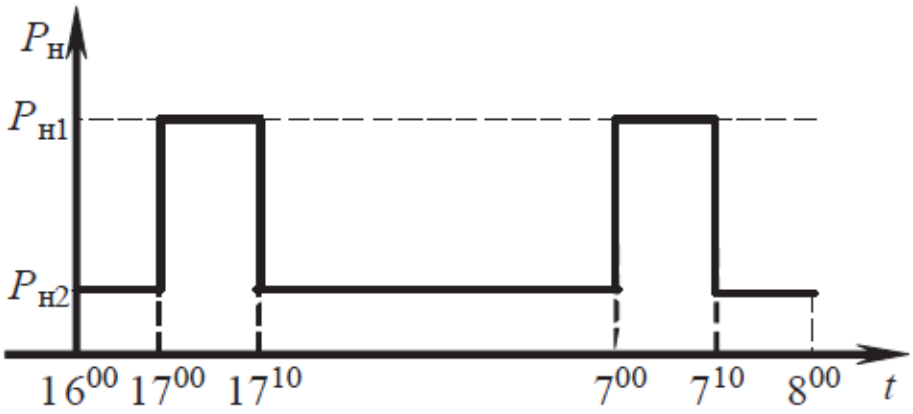


Рисунок 3.2 – Графік зміни навантаження за часом

Графік зміни ємності акумуляторної батареї автономної електроустановки за двоступеневого навантаження подано на графіку3.6.

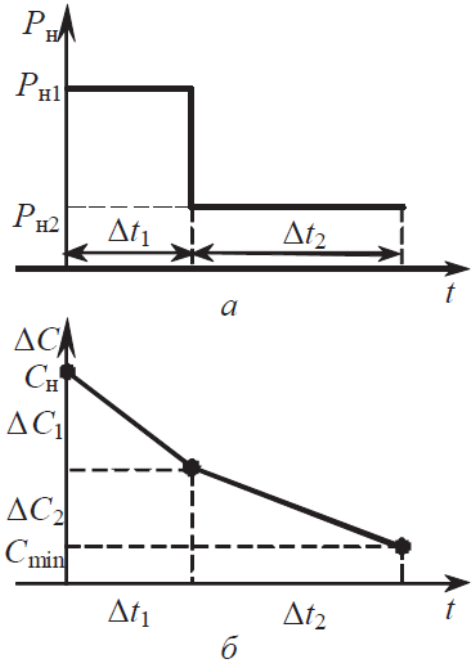


Рисунок 3.3 – Графік зміни навантаження (а) та ємності АКБ (б)

На інтервалах часу витрата ємності акумуляторної батареї визначається як:

$$\Delta C_i = \frac{P_{нi}}{U_н}\Delta t_i \qquad (3.23)$$

Враховуючи, що $\Delta C = \Delta C_1 + \Delta C_2$, з (3.15) і (3.23) отримуємо вираз для визначення необхідної ємності АКБ автономної електроустановки у вигляді:

$$C_{\text{н}} = \frac{100}{S_p U_{\text{н}}} (P_{\text{н1}} \Delta t_1 + P_{\text{н2}} \Delta t_2) \quad (3.24)$$

Зрозуміло, що розрахунок за рівнянням (3.24) дає завищену необхідну ємність акумуляторної батареї. Для точнішого визначення необхідної ємності необхідно якомога точніше врахувати зміну графіка навантаження на інтервалі нічного часу доби [$].

3.3 Висновки до розділу 3

Впровадження стандартів енергоефективності сприяє зниженню енергетичних витрат, поліпшенню екологічної ситуації та підвищенню конкурентоспроможності підприємств. Це важливо для сталого розвитку економіки та поліпшення якості життя.

Акумуляторні системи є критично важливим компонентом сучасних автономних електроустановок, що забезпечують стабільне енергопостачання в умовах непередбачуваних змін споживання і виробництва електроенергії. Зокрема, вони відіграють ключову роль у нічний час, коли фотогальванічні системи не здатні генерувати електроенергію через відсутність сонячного світла. Забезпечення надійної роботи таких систем передбачає дотримання суворих експлуатаційних норм і регулярний моніторинг рівня заряду акумуляторів. Це дозволяє уникнути глибоких розрядів, що можуть призвести до скорочення терміну служби акумуляторів, а також запобігає перевантаженням, які можуть спричинити збої у роботі системи.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Високі інтегральні показники надійності енергопостачання є критично важливими для безперебійної та ефективної роботи промислових підприємств. Надійність енергопостачання визначає здатність підприємств підтримувати виробничі процеси без перебоїв, що особливо важливо в умовах високої конкуренції та необхідності дотримання суворих стандартів якості продукції. Вкладення інвестицій у заходи з підвищення надійності, використання АДЕ, впровадження інтелектуальних систем управління енергоспоживанням і розвиток децентралізованих джерел генерації, може значно поліпшити інтегральні показники та забезпечити стійке й надійне енергопостачання. Це, своєю чергою, сприяє зниженню експлуатаційних витрат, підвищенню енергоефективності та поліпшенню загальної продуктивності промислових підприємств.

Впровадження АДЕ та використання передових технологій може значно поліпшити показники надійності, знизити ризики збоїв і заощадити витрати на енергію. Альтернативні джерела мають високий ступінь поновлюваності та можуть бути використані для створення гнучких і стійких енергосистем, які менш схильні до зовнішніх впливів (наприклад, зміни цін на викопні види палива або перебої в їхньому постачанні). Впровадження передових технологій, включно з системами розумних мереж, технологіями зберігання енергії та автоматизацією управління розподілом енергії, дає змогу оперативно реагувати на зміни у споживанні та виробництві енергії, знижуючи тим самим ризики аварій і забезпечуючи стабільне енергопостачання. Це сприяє сталому і надійному енергопостачанню, що підтримує зростання промисловості та економіки загалом, а також знижує вуглецевий слід і сприяє сталому розвитку.

Інтеграція поновлюваних джерел енергії, використання технологій зберігання енергії та поліпшення прогнозування і планування можуть підвищити безперебійність енергопостачання, знизити ризики збоїв і заощадити витрати на енергію. Зелена енергетика забезпечує додатковий рівень резервування, що

підвищує стійкість енергосистеми до різних видів збоїв та аварій. Технології зберігання енергії, включно з акумуляторними батареями та водневими системами, дають змогу акумулювати надлишкову енергію в періоди її надлишкового виробництва і використовувати її в періоди пікових навантажень або аварій, що значно знижує ризики недопоставки електроенергії. Поліпшення методів прогнозування і планування енергоспоживання, що базуються на даних про погоду, споживання і генерацію, дає змогу точніше управляти ресурсами і знижувати ризики збоїв, забезпечуючи тим самим високу надійність і економічну ефективність енергопостачання.

СПИСОК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Бакалін, Ю.І. Енергозбереження та енергетичний менеджмент: Навчальний посібник. Харків: ХІУ, 2002. 200с.

2. Бучинський М. Я., Горик О. В., Чернявський А. М., Яхін С. В. Основи творення машин. За редакцією О. В. Горика, доктора технічних наук, професора, заслуженого працівника народної освіти України. Харків: Вид-во «НТМТ», 2017. 448 с.

3. Василега П.О., Муріков Д.В. Електропривод робочих машин : навч. посібник. Суми: Університетська книга, 2006. 228 с

4. Регульований електропривод. Теорія. Моделювання. І.М. Голодний, Ю.М. Лавріненко, В.В. Козирський, Л.С. Червінський, Д.А. Абдураманов, А.В. Торопов, О.В. Санченко; За ред. І.М. Голодного. Київ: Аграр Медіа Груп, 2015. 509 с.

5. Перетворювальна техніка. Підручник: Ч.2. Ю.П. Гончаров, О.В. Будьонний, В.Г. Морозов та ін., За ред. В.С. Руденка. Харків: Фоліо, 2000. 360 с.

6. Сучасні перетворювачі частоти в системах електропривода: навч. посібник. М.В. Загірняк та ін.; 2-ге вид., переробл. і доповн. Харків: Видавництво «Точка», 2017. 206 с.

7. О.М. Закладний, В.В. Прокопенко, О.О. Закладний. Електропривод: Навч. посіб. Київ: НТУУ «КПІ», 2008. 316 с.

8. Закладний О.М., Праховник А.В., Соловей О.І. Енергозбереження засобами промислового електропривода: Навчальний посібник. Київ: Кондор, 2005. 408 с

9. Казачковський М.М. Комплектні електроприводи: Навч. посібник Дніпропетровськ: Національний гірничий університет, 2003. 226 с.

10. Квітка С.О. Силові електронні пристрої в системах керування: навчальний посібник. Мелітополь: Люкс, 2021. 180 с.

11. Методи управління та апаратна реалізація сучасних перетворювачів частоти. Квітка С.О., Безменнікова Л. М., Вовк О. Ю., Квітка О. С. Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. Мелітополь, 2013. Вип. 3, 171 с.

12. С.О. Квітка, М.В. Постнікова, О.М. Речина. Основи електропривода: лабораторний практикум, Ч.1. – Мелітополь: Видавничо-поліграфічний центр «Люкс», 2020. 165 с.

13. Колб А.А. Теорія електроприводу: Навчальний посібник. Нацональний гірничий університет, 2006. 511 с.

14. Ковалко М.П. Денисюк С.П. Енергозбереження пріоритетний напрямок державної політики України. Відпов. ред. Шидловський А.К. Київ: УЕЗ, 1998. 506 с.

15. Ковалко М.П. Енергозбереження досвід, проблеми, перспективи. Відпов. ред. Шидловський А.К; Держкоменергозбереження України. Київ: Ін-т електродинаміки НАНУ, 1997. 152 с.

16. Електропривод: підручник. Ю.М. Лавріненко, О.С. Марченко, П.І. Савченко та ін.; за ред. Ю.М. Лавріненка. Київ: «Ліра-К», 2009. 504 с

17. Мазепа С.С., Марущак Я.Ю., Куцик А.С. Електрообладнання промислових підприємств. Навчальн. посібник. 2-ге вид., стереот. Львів “Магнолія 2006”. 2008. 260 с.

18. Михальський В.М., Соболєв В.М., Чехет Е.М. Векторна широтноімпульсна модуляція в матричних перетворювачах. Навчальний посібник. Київ: Ін-т електродинаміки НАН України, 2003. 74 с.

19. Технічні характеристики та якісні показники електричних двигунів. Довідниковий посібник / Г.Н. Назар’ян, Ю.М. Федюшко, О.В. Сотник, О.В. Ковальов. Харків: ТОВ «Планета–прінт», 2016. 201 с.

20. Побєдаш К.К., Святненко В.А. Силові напівпровідникові прилади і перетворювачі електричної енергії. навч. посіб. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017. 244 с.

21. Електромеханічні системи автоматичного керування та електроприводи: Навч. посібник. М.Г. Попович, О.Ю. Лозинський, В.Б. Клепіков та ін. За ред. М.Г. Поповича, О.Ю. Лозинського. Київ.: Либідь, 2005. 680 с.

22. Теорія електропривода: підручник для студ. вищ. навч. закл. М.Г. Попович, М.Г. Борисюк, В.А. Гаврилюк, О.М. Желдак, О.В. Ковальчук, Є.П. Красовський, С.М. Пересада, М.В. Печеник, В.І. Теряєв, В.М. Пижов: за ред. М.Г. Поповича. – Київ: Вища шк., 1993. 494 с.

23. Прокопенко В.В., Закладний О.М., Кульбачний П.В.. Енергетичний аудит з прикладами та ілюстраціями: Навчальний посібник. Київ: Освіта України, 2009. 437 с.

24. Перетворювальна техніка. Частина 1: Підручник. В.С. Руденко, В.Я. Ромашко, В.Г. Морозов. Київ: ІСДО, 1996. 262 с.

25. Основи ефективного використання електричної енергії в системах електроспоживання промислових підприємств: навч. посіб. О. І. Соловей., В. П.

Розен, П.Г. Плєшков. та ін.; М-во освіти і науки України, Кіров. НТУ Черкаси: вид. Чабаненко Ю., 2015. 316 с

26. Сенько В.І., Трубіцин К.В., Чибеліс В.І. Інвертори і перетворювачі частоти: монографія. Київ: Видавництво Ліра-К, 2020. 300 с

27. Електроніка і мікросхемотехніка: Підручник для вищ. навч. закл. освіти: У 4-х т. В.І. Сенько, М.В. Панасенко, Є.В. Сенько та ін.; Під ред. В.І. Сенька. Київ: ТВО "Видавництво Обереги", 2000. Т.1. Елементна база електронних пристроїв. 309 с.

28. Моделювання електромеханічних систем: підручник. О. П. Чорний та ін. Кременчук, 2001. 376 с

29. Шавьолкін О.О. Силові напівпровідникові перетворювачі енергії: навч. посібник. Харків: ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2015. 403 с.

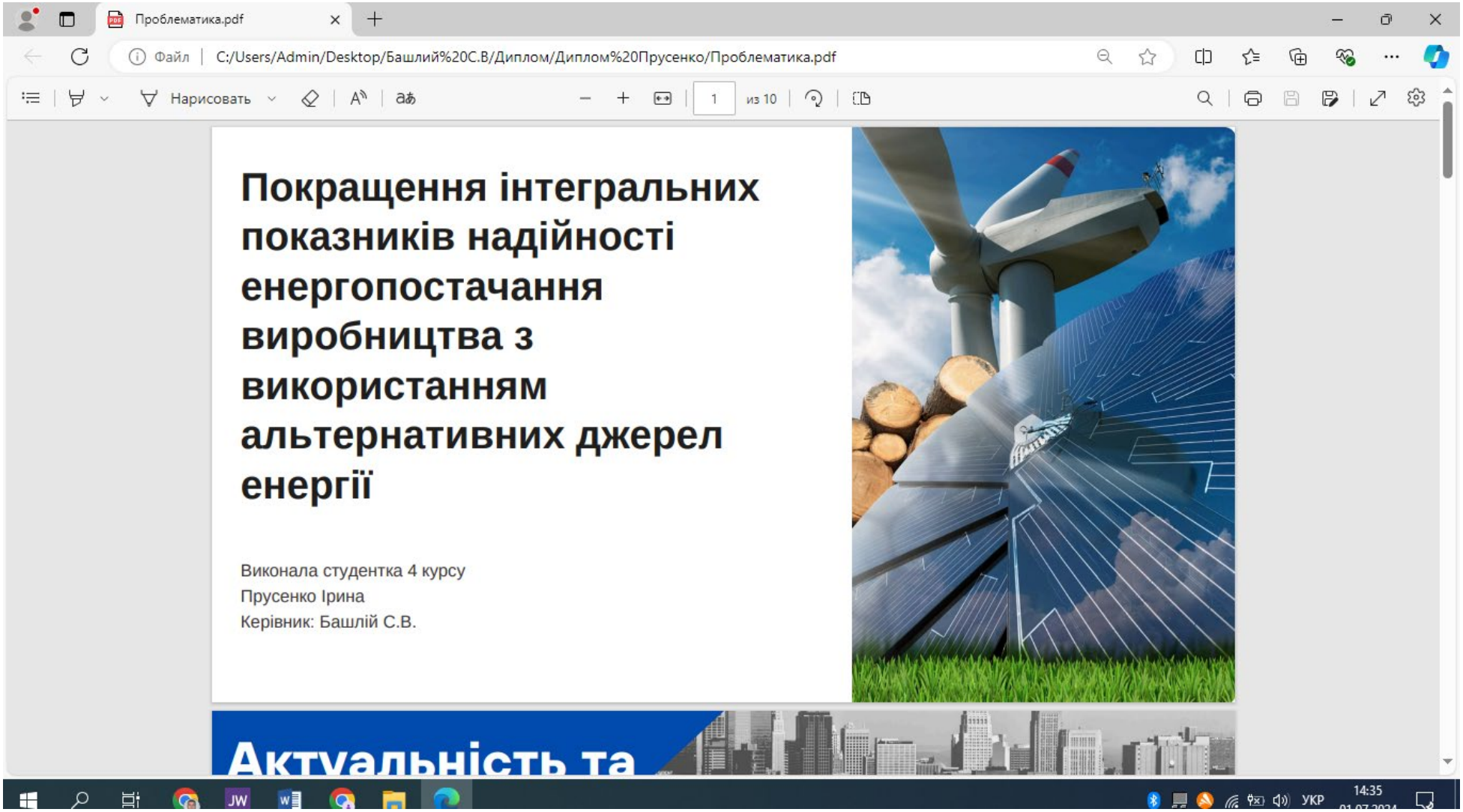
30. Правила улаштування електроустановок: вид. 5-е, перероб. і доп. Офіц. вид. Київ: Мінпаливенерго України, 2017. 793 с.

31. https://ua-energy.org/uk/posts/vyrobnytstvo-ee-v-ukraini-u-sichni-kvitni-2023-roku-zmenshylosia-na-194

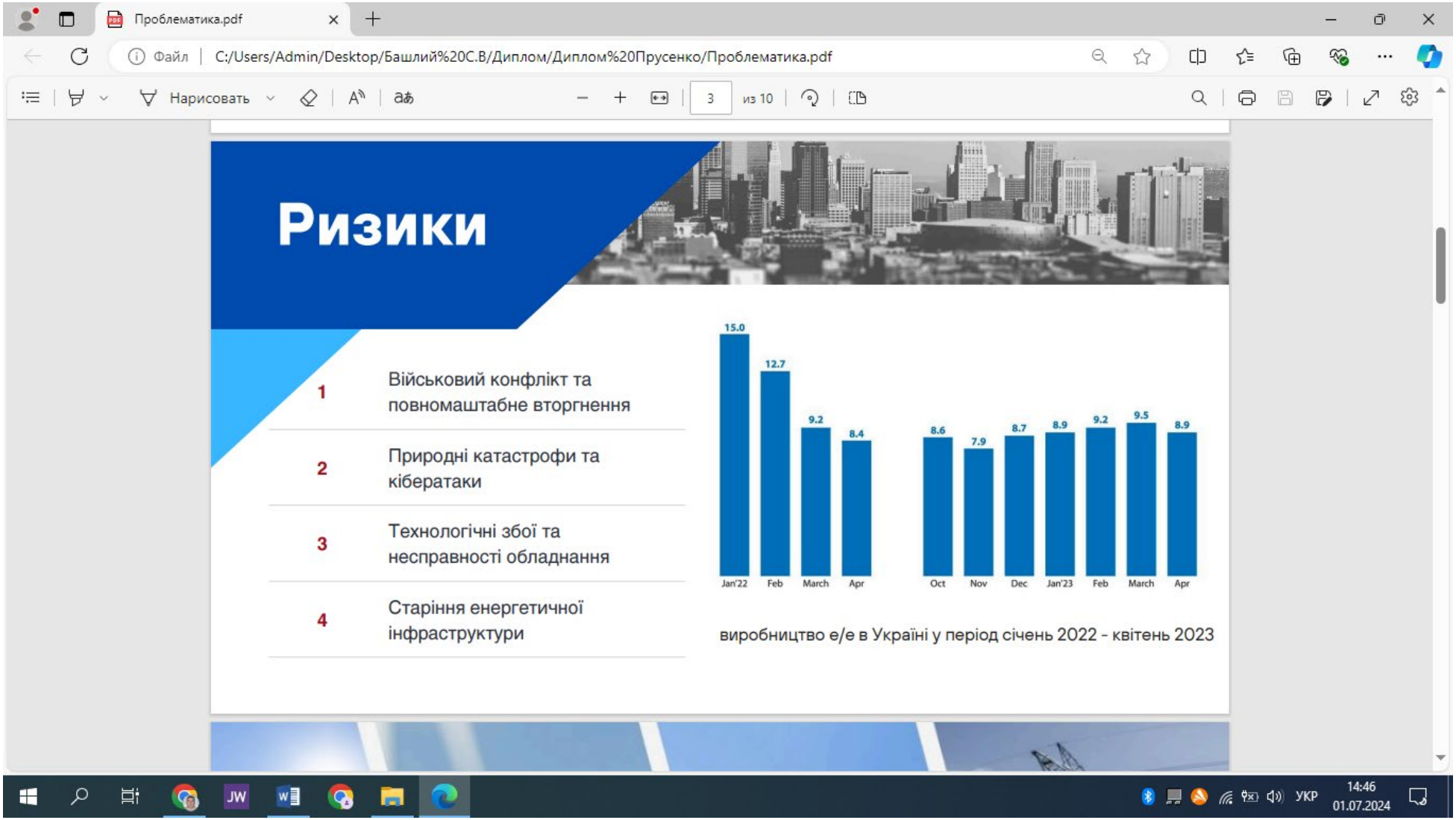
32. https://www.ez.rv.ua/informatsiya-shhodo-chastky-kozhnogo-dzherela-energiyi-yaka-bula-vykorystana-u-zagalnij-strukturi-balansu-kuplenoyi-elektrychnoyi-energiyi-za-2022-rik/

Додаток А

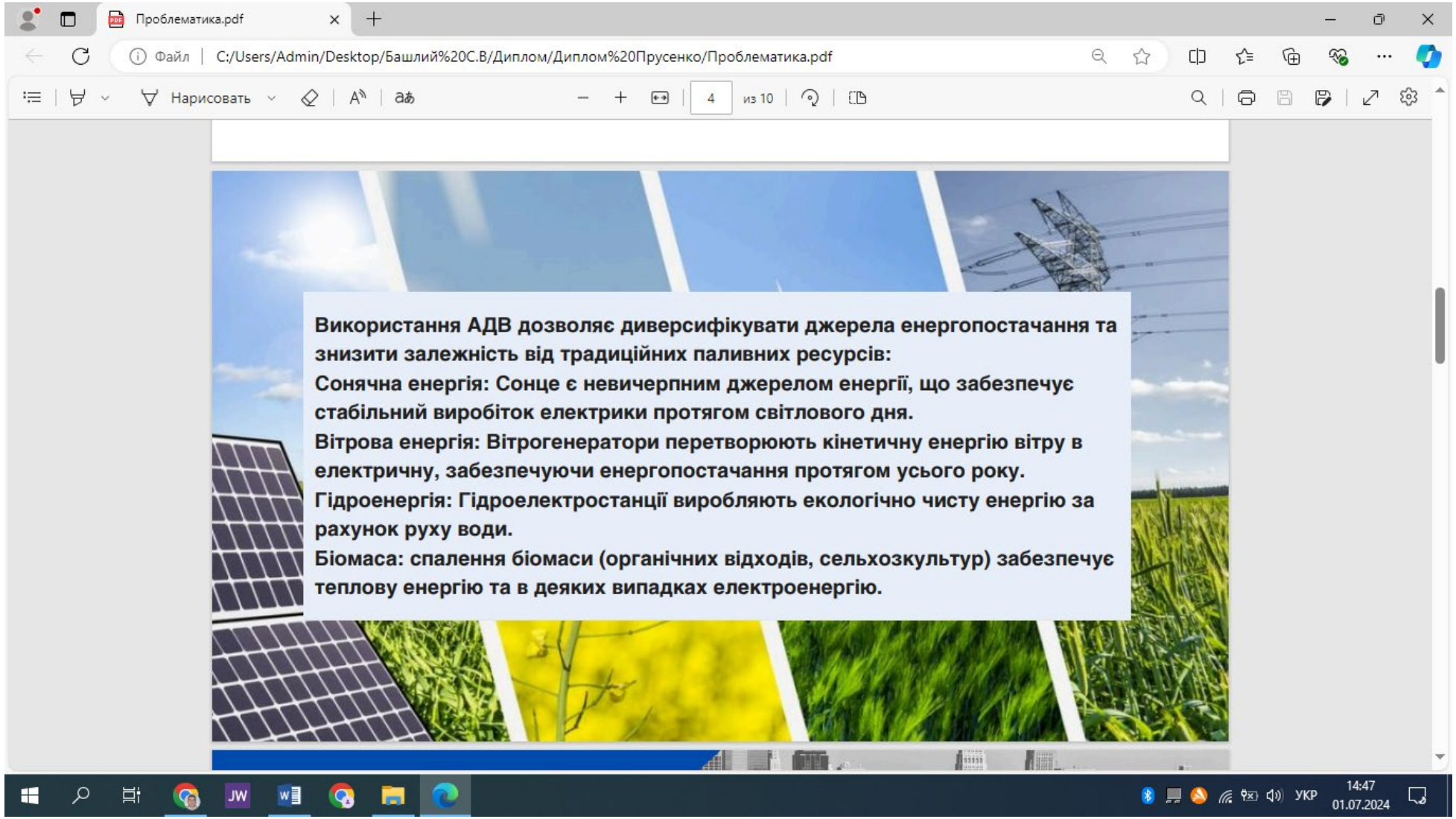
Слайд презентації 1



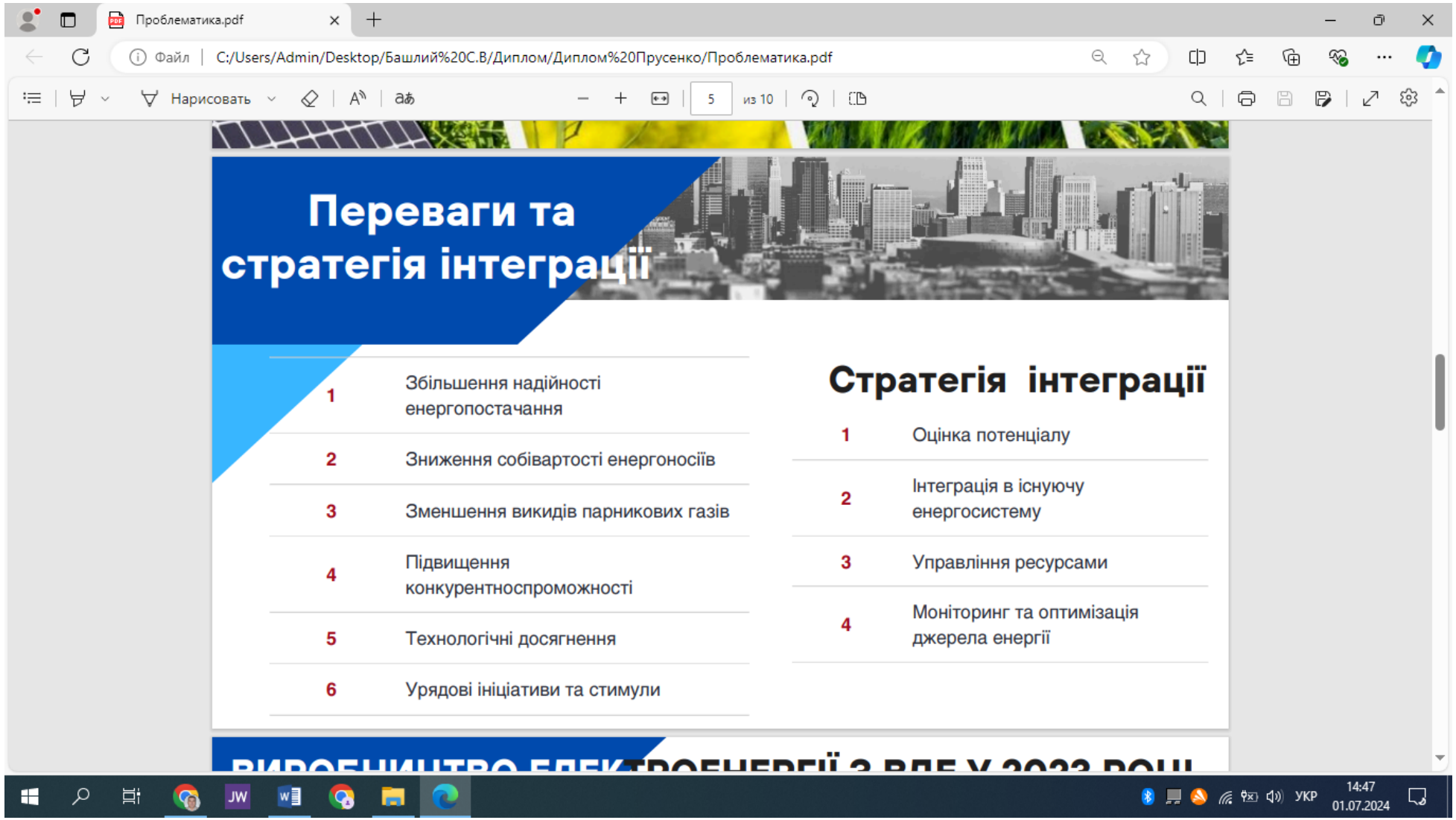
Продовження Додатку А (Слайд презентації 2)



Продовження Додатку А (Слайд презентації 3)



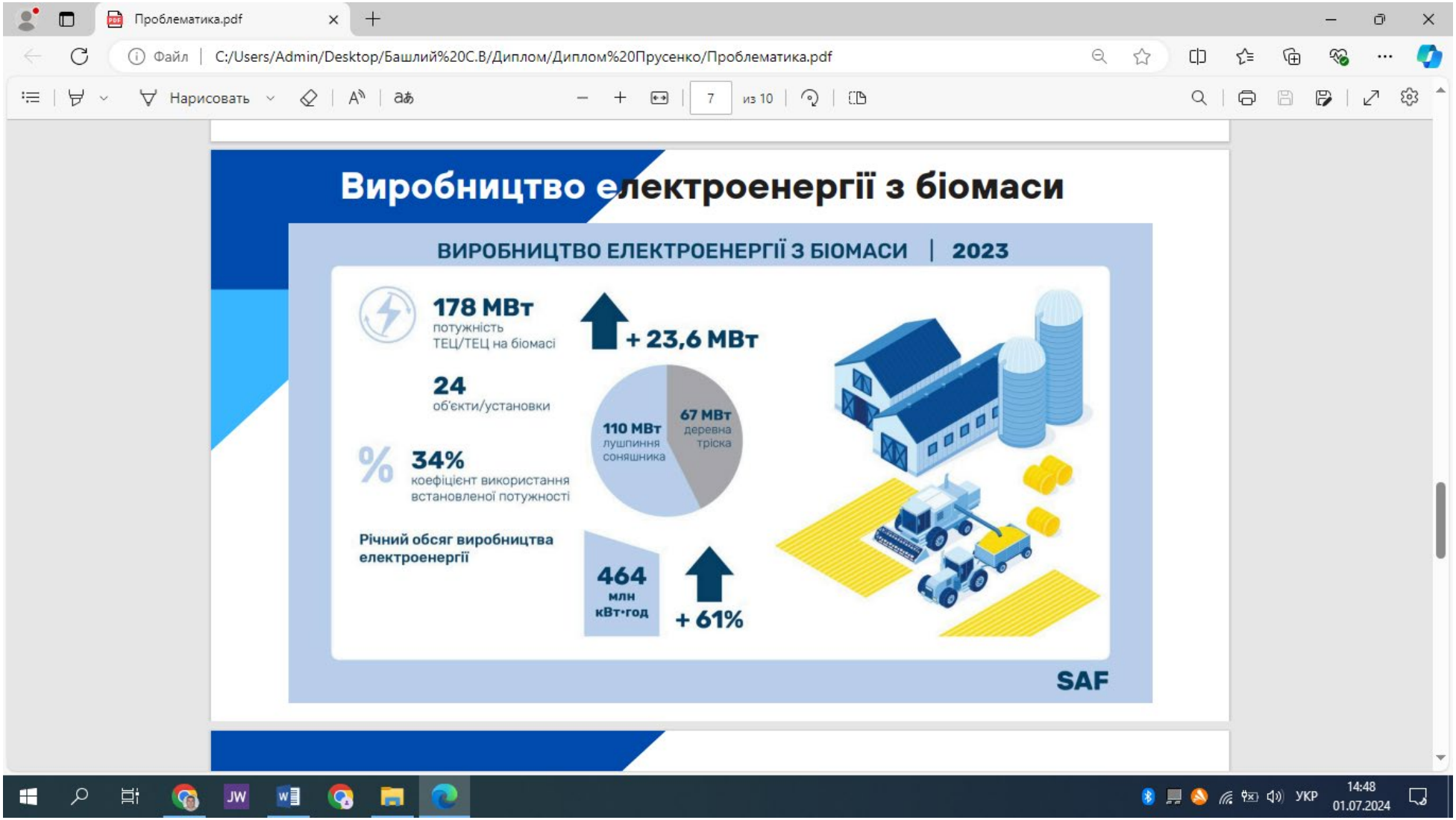
Продовження Додатку А (Слайд презентації 4)



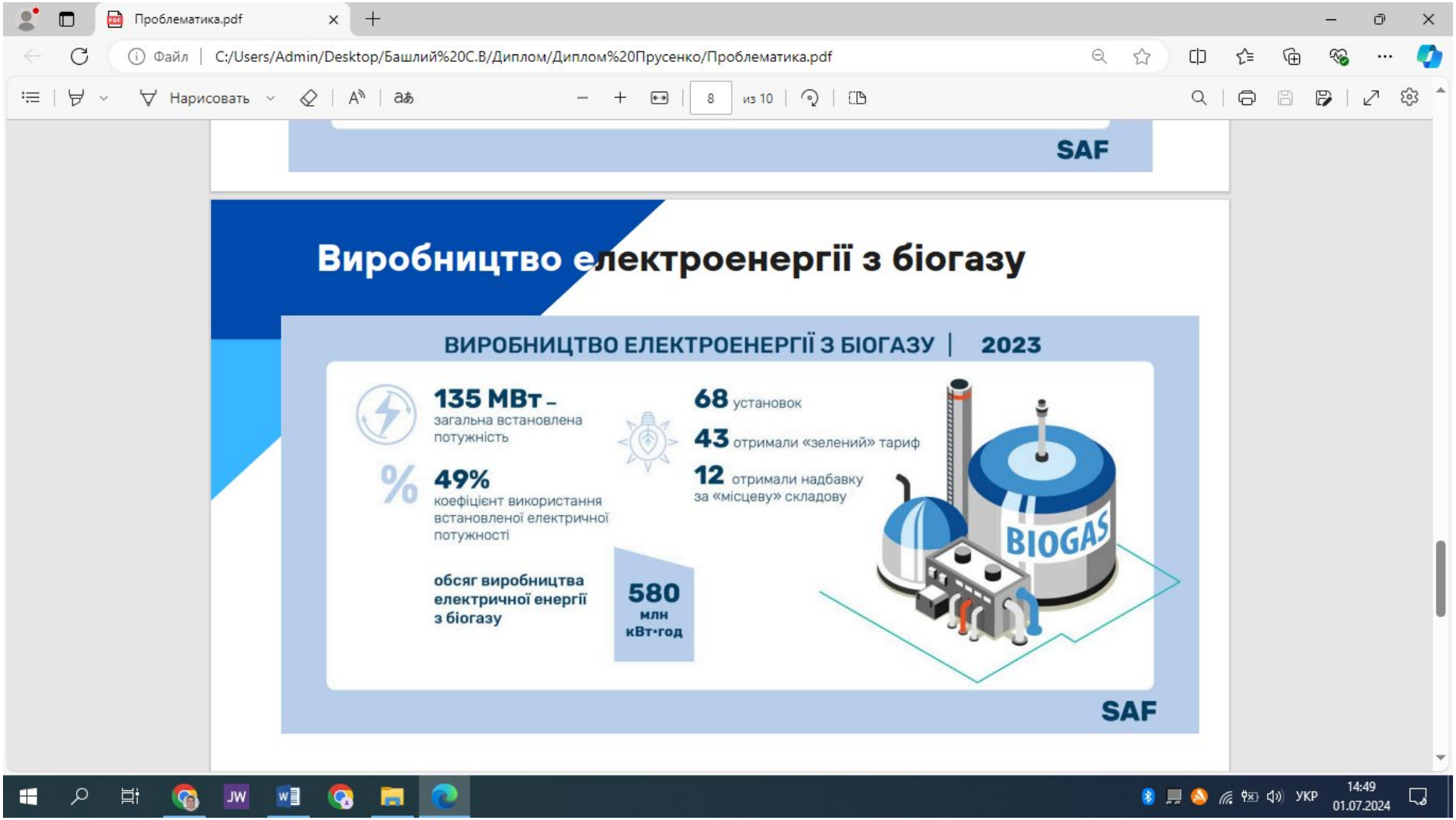
Продовження Додатку А (Слайд презентації 5)



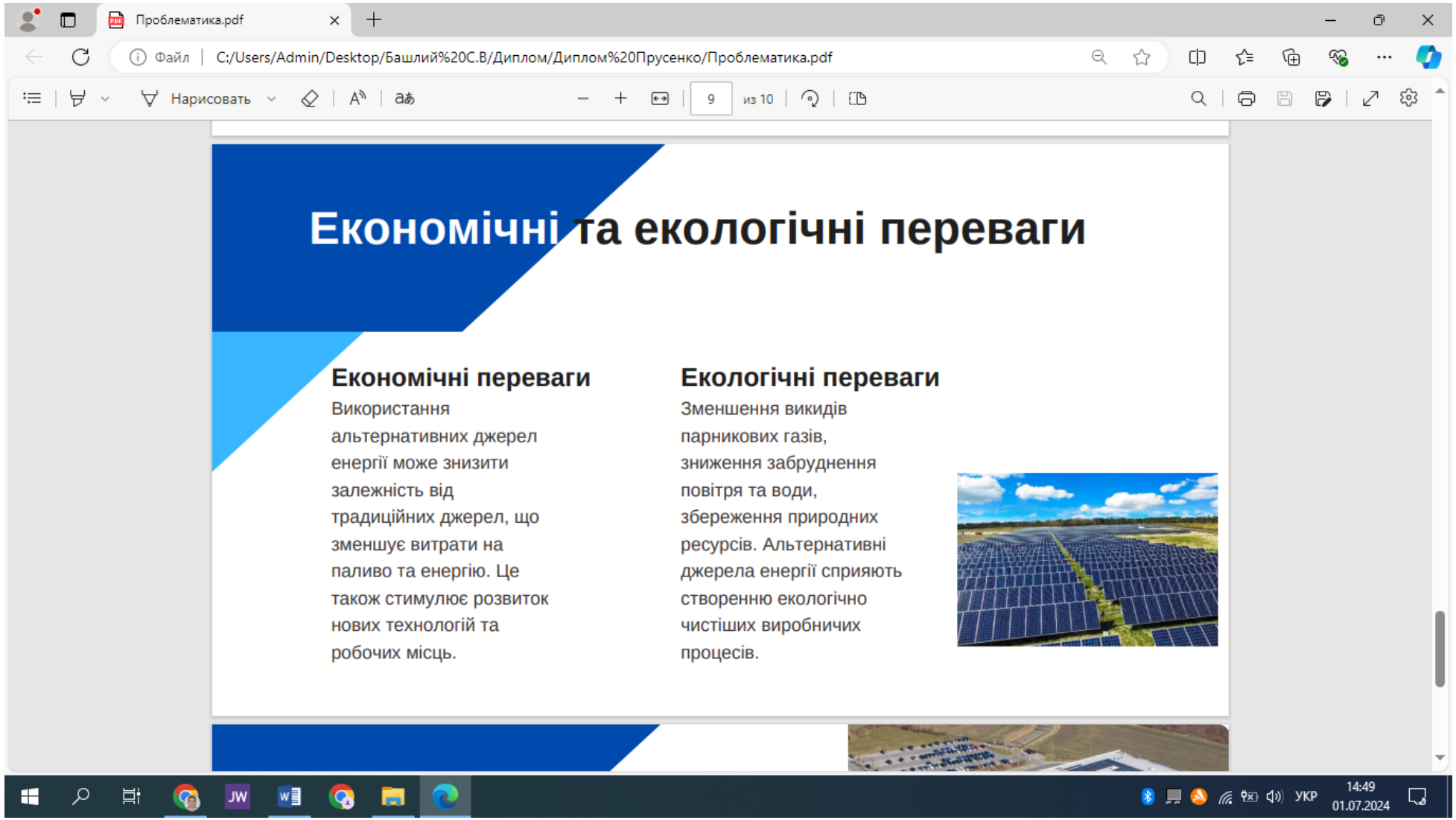
Продовження Додатку А (Слайд презентації 6)



Продовження Додатку А (Слайд презентації 7)



Продовження Додатку А (Слайд презентації 8)



Продовження Додатку А (Слайд презентації 9)

