

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Сумський державний університет

Факультет електроніки та інформаційних технологій

Кафедра електроніки і комп'ютерної техніки

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри ЕКТ

Анатолій ОПАНАСЮК

(підпис)

(Ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

_____ 2024 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня «магістр»

зі спеціальності 171 «Електроніка»

освітньо-професійної програми «Електронні системи»

на тему:

**АДАПТИВНА СИСТЕМА АЛЬТЕРНАТИВНИХ ДЖЕРЕЛ
ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКИ З ВИКОРИСТАННЯМ СОНЯЧНИХ ПАНЕЛЕЙ
ТА ВІТРОГЕНЕРАТОРІВ**

Здобувача групи ЕС.м-31 _____ Лопатіна Дмитра Олександровича

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

_____ (підпис)

Керівник, завідувач кафедри, професор, д.ф.-м.н.,

Анатолій ОПАНАСЮК

Дмитра ЛОПАТІНА

(Ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

_____ (підпис)

Консультант з техніко-економічної частини,

доцент, к.е.н., доцент Олександр МАЦЕНКО

_____ (підпис)

Суми – 2024

СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет електроніки та інформаційних технологій

Кафедра електроніки і комп'ютерної техніки

Напрямок підготовки 171 «Електроніка»

Освітня програма Електронні системи

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедрою Опанасюк А. С.

«__» _____ 2024 р.

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу магістра

Лопатіну Дмитру Олександровичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Адаптивна система альтернативних джерел електроенергетики з використання сонячних панелей та вітрогенераторів.

затверджена наказом по університету «01» жовтня 2024 р. № 1003-VI.

2. Термін здачі студентом завершеної роботи 17 грудня 2024 року

3. Вихідні дані до роботи: реалізувати один з модулів адаптивної системи альтернативних джерел енергетики з використанням сонячних панелей та вітрогенераторів. Синтез модулю візуалізації та моніторингу даних на основі мікроконтролера.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, що належить розробити) 1) Огляд літератури та поставлення задачі роботи. 2) Науково-дослідна частина. 3) Розробка електронної системи з використанням отриманих результатів дослідження. 4) Техніко-економічна частина.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) 1) Схема електрична структурна. 2) Схема алгоритму. 3) Схема електрична функціональна. 4) Схема електрична принципова.

6. Консультанти з кваліфікаційної роботи

Розділи	Консультанти	Завдання видав	Завдання прийняв
Техніко-економічна частина	Маценко О. М.		

7. Дата видачі завдання 26.10.24

8. Керівник роботи Опанасюк Анатолій Сергійович

9. Завдання прийняв до виконання Лопатін Дмитро Олександрович

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ п/п	Назва етапів дипломного проекту	Термін виконання етапів роботи	Примітки
1	Огляд літератури та постановка завдання проектування	04.11.24 – 09.11.24	
2	Науково-дослідна частина	10.11.24 – 15.11.24	
3	Розробка алгоритму функціонування та структурної схеми електронної системи	16.11.24 – 20.11.24	
4	Розробка функціональної схеми електронної системи	21.11.24 – 24.12.24	
5	Розробка схеми електричної принципової електронної системи	25.12.24 – 02.12.24	
6	Техніко-економічна частина	03.12.24 – 05.12.24	
8	Оформлення пояснювальної записки	06.12.24 – 08.12.24	
9	Оформлення графічного матеріалу	09.12.24 – 13.12.24	
10	Представлення роботи керівнику і отримання відгуку	14.12.24	
11	Представлення роботи кафедрі для отримання рецензії	15.12.24	

Студент Лопатін Дмитро Олександрович

Керівник роботи Опанасюк Анатолій Сергійович

« ___ » _____ 2024 р.

РЕФЕРАТ

Випускна робота містить : 80 с.; 19 рис.; 7 табл.; 25 джерел.

Дана робота присвячена розробці одного з модулів до адаптивної системи альтернативних джерел енергетики з використанням сонячних панелей та вітрогенераторів.

У вступі зазначено загальну інформацію про альтернативні джерела енергії, про їх масштабне впровадження в світі. Також у вступі зазначені мета роботи та загальні відомості по плану розробки та дослідженням.

У розділі «Огляд літератури» розглянуті існуючі джерела альтернативної енергії, їх добувні системи, а також різновиди цих самих систем.

У розділі «Науково-дослідна частина» розглянуто питання коливання виробництва залежно від погодних умов. Аналіз характеристик сонячних та вітрових джерел енергії і моделі сонячних панелей та вітрогенераторів для різних регіонів України.

У розділі «Розроблення електронної системи з використанням отриманих результатів дослідження» детально описано архітектуру розробленої електронної системи управління і алгоритми роботи.

У розділі «Розрахунок основних характеристик проєктованої електронної систем» було проведено розрахунки видаваної потужності стабілізаторів напруги в модулі для нашої системи.

У «Техніко-економічному» розділі електронної системи, що проєктується, було проведено підрахунок ціни елементної бази проєктованого модулю і його собівартості, а як висновок –доцільність виготовлення даного продукту.

ЗМІСТ

	ВСТУП	4
1	ОСНОВНА ЧАСТИНА	6
1.1	Огляд літератури	6
1.2	Науково-дослідна частина	16
1.3	Розроблення електронної системи з використанням отриманих даних	34
1.3.1	Обґрунтування алгоритму функціонування та структурної схеми електронної системи, що проєктується	35
1.3.2	Розроблення функціональної схеми електронної системи, що проєктується	38
1.3.3	Розроблення та розрахунок принципів електричних схем вузлів у блоків електронної системи, що проєктується	47
1.4	Розрахунок основних характеристик електронної системи, що проєктується	64
2	ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА ЕЛЕКТРОННОЇ СИСТЕМИ, ЩО ПРОЄКТУЄТЬСЯ	68
2.1	Економічна ефективність впровадження системи: гібридна адаптивна система альтернативної енергетики	68
2.2	Розрахунок економічних характеристик електронної системи, що проєктується	70
2.3	Висновки з техніко-економічної частини	75
	ВИСНОВКИ	77
	СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ	79

					<i>ЕлІТ 8.171.00.05.454 ПЗ</i>			
		<i>№ докум</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>	<i>Лопатін Д.О.</i>				<i>Адаптивна система альтернативної енергетики з використанням сонячних панелей та вітрогенераторів. Пояснювальна записка</i>	<i>Літ.</i>	<i>Аркуш</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевір.</i>	<i>Опанасюк А.С.</i>						3	45
<i>Реценз.</i>						<i>СумДУ ЕС.м-31</i>		
<i>Н. Контр.</i>	<i>Галич В.М.</i>							
<i>Затверд.</i>	<i>Опанасюк А.С.</i>							

ВСТУП

З кожним роком, людство все більше і більше розвивається, однак разом із цим, у сучасному світі з'являються супутні з цим проблеми, особливо потрібно виділити зростаючий попит на таку важливу річ, як електроенергія. Звичайно, нехватка відчувається і в таких ресурсах як нафта, вугілля та природний газ, їх довготривалий та масштабний видобуток спричинив виснаження ресурсів землі, а використання цих ресурсів згубно впливає на кліматичні умови планети, тому було б розумно знайти альтернативи генерації електроенергії. На даний момент, так звана альтернативна енергетика, якщо і не є більш ефективною, то є значно екологічнішою і має багато своїх плюсів у використанні. Особливу роль в переліку відновлюваних джерел енергетики займають енергія сонця і вітру, оскільки їх використання є найбільш розповсюдженим, незалежно від інших факторів і ландшафту місцевості.

Альтернативні джерела енергії, такі як сонячні панелі та вітрогенератори, мають багато переваг. Вони є екологічно чистими, оскільки не здійснюють шкідливих викидів в атмосферу і можуть використовуватися в різних куточках світу. Сонячна енергія майже невичерпна, а енергія вітру може забезпечити велику кількість електроенергії, особливо в прибережних районах і на великих висотах. Через ці переваги зростає інтерес до розвитку сонячної та вітрової енергетики як у науково-технічних колах, так і на стратегічному рівні розвитку потужностей електроенергії в багатьох країнах.

Однак, існують і проблеми, пов'язані з використанням цих джерел енергії. Основним недоліком є нестабільність виробництва електроенергії через погодні умови. Сонячні панелі стають менш ефективними в похмурі дні та взимку, а вітрогенератори можуть вийти з ладу за недостатньої швидкості вітру. Така ситуація вимагає розробки інтелектуальних систем управління, які дозволять максимально використовувати потенціал цих джерел, зменшити втрати та забезпечити стабільність енергопостачання.

Перспективним підходом до вирішення цієї проблеми є створення адаптивних систем альтернативної енергетики, які об'єднують декілька джерел енергії, таких як сонячні панелі та вітрогенератори. Такі системи можуть автоматично пристосовуватися до мінливих умов, контролюючи потоки енергії та розподіляючи навантаження між різними компонентами системи відповідно до умов, що склалися.

					ЕЛІТ 8.171.00.05.424 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		4

Це дозволяє збільшити корисну роботу енергодобувних установок та підвищує надійність енергопостачання, особливо у випадку, якщо джерело енергії стає неефективним.

Масштабне впровадження адаптивних систем на основі відновлюваних джерел енергії дуже важливе, і не лише для задоволення внутрішніх енергетичних потреб країн, але й для боротьби зі зміною клімату та скорочення викидів вуглецю. Багато країн вже впроваджують політику підтримки розвитку альтернативних джерел енергії через субсидії та інвестиції в дослідження і розробки, також великий плюс для підприємців, що видобувну таким чином електроенергію можна експортувати по правилам зеленого тарифу. Інноваційні технології в цій галузі також дозволяють інтегрувати такі системи в існуючі енергетичні мережі, що вказує на великі перспективи впровадження, як в локальному, так і в глобальному плані.

Метою даної роботи є розробка та дослідження адаптивної системи альтернативних джерел енергії на основі сонячних панелей та вітрогенераторів, така система може оптимізувати виробництво електроенергії, тобто розумно підлаштовуватися відповідно до мінливих погодних умов та навантаження на мережу. Ця система передбачає інтеграцію декількох джерел енергії на одній платформі з використанням сучасних методів автоматичного управління та моніторингу. Особливу увагу потрібно приділити надійності та економічній доцільності реалізації такого рішення в реальних умовах експлуатації.

У даній роботі будуть розглянуті основні принципи роботи сонячних панелей та вітрогенераторів, проаналізовано існуючі підходи до побудови гібридних систем альтернативної енергетики та планується розробити унікальну модель адаптивної системи. Тому це дослідження є важливим як для науково-технічної спільноти, так і для енергетичної галузі, сприяючи розвитку альтернативних джерел енергії та сталому енергетичному розвитку суспільства.

					<i>ЕЛІТ 8.171.00.05.424 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змін.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		5

1 ОСНОВНА ЧАСТИНА

1.1 Огляд літератури

У сучасному світі без надійного джерела енергії ніяк, тому питання енергетичної безпеки та сталого розвитку стають актуальнішими з кожним днем. Традиційні викопні ресурси, такі як нафта, газ та вугілля, незважаючи на їхню значну роль у забезпеченні енергетичних потреб, мають ряд серйозних недоліків. По-перше, вони є вичерпними, тобто їхні запаси обмежені і поступово скорочуються. По-друге, їх використання спричиняє значні викиди парникових газів, що призводить до глобального потепління та кліматичних змін. Постає питання стосовно гуманності подальшого використання таких джерел, як мінімум в таких же об'ємах.

У зв'язку з цим зростає інтерес до альтернативних, тобто відновлюваних джерел енергії, які, при правильному впровадженні, можуть забезпечити стійке енергопостачання та мінімізувати негативний вплив на довкілля. Альтернативні джерела енергії не лише знижують залежність від викопного палива, але й сприяють зменшенню викидів шкідливих речовин, що відповідає цілям сталого розвитку, визначеним ООН.

Відновлювані джерела енергії, такі як сонячна, вітрова, гідроенергія, біомаса та геотермальна енергія, набувають все більшого значення у світовій енергетиці. Завдяки технологічному прогресу ці джерела, особливо сонячна та вітрова енергія, стають економічно вигіднішими та доступнішими для впровадження на різних рівнях – від домогосподарств до великих промислових комплексів.

Кожен із видів відновлюваних джерел має свої переваги та обмеження, які визначають можливості їхнього використання у різних регіонах та умовах. У цьому огляді буде детально розглянуто основні види альтернативних джерел енергії. Буде досліджено їхні технічні характеристики, екологічний та економічний вплив, а також перспективи подальшого розвитку та впровадження.

Значення альтернативних джерел енергії
Використання відновлюваних джерел енергії має вирішальне значення для досягнення енергетичної незалежності, зменшення викидів парникових газів і боротьби з глобальними змінами клімату. Крім того, вони сприяють диверсифікації енергетичних ресурсів і можуть знижувати економічні ризики, пов'язані зі зміною цін на традиційні енергоресурси, що в наші дні є чималим

					ЕЛІТ 8.171.00.05.424 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		6

фактором. Однак для ефективного використання альтернативних джерел енергії необхідно вирішувати ряд технічних і економічних завдань, включаючи стабільність енергопостачання, збереження енергії та зменшення витрат на впровадження нових технологій.

Тепер ми проведено детальний аналіз кожного з видів альтернативних джерел енергії, що дозволить краще зрозуміти їх потенціал та можливості для подальшого розвитку в умовах глобального енергетичного переходу.

Сонячна енергія є однією з найбільш перспективних та швидких до розвитку форм відновлюваної енергії у світі. Основним джерелом цієї енергії є випромінювання Сонця, яке досягає поверхні Землі у вигляді світла та тепла. За допомогою спеціальних технологій, таких як фотоелектричні панелі (сонячні батареї), можна перетворювати сонячне випромінювання на електроенергію, що дозволяє використовувати його для забезпечення енергетичних потреб різного масштабу: від невеликих домогосподарств до великих промислових об'єктів. Типова система із сонячних панелей наведена на рисунку 1.1.



Рисунок 1.1 - Система із сонячних панелей

Сонячна енергія є абсолютно невичерпною, оскільки Сонце постійно випромінює енергію, яка може бути захоплена на Землі. За оцінками вчених, кількість сонячного випромінювання, що досягає поверхні Землі за одну годину, достатня для покриття енергетичних потреб всього людства на цілий рік. Це робить сонячну енергію дуже привабливою як для індивідуальних споживачів, так і для національних енергетичних систем.

					ЕЛІТ 8.171.00.05.424 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		7

Основною технологією для перетворення сонячної енергії в електричну є фотоелектричні панелі, або так звані сонячні батареї. Вони виготовляються на основі напівпровідникових матеріалів, найчастіше з використанням кремнію. Принцип роботи панелей полягає у тому, що при потраплянні сонячного світла на напівпровідник виникає фотоелектричний ефект – процес, за якого енергія фотонів перетворюється на електричний струм.

Сучасні фотоелектричні системи мають різний рівень ефективності, який визначає кількість електроенергії, що може бути вироблена з певної кількості сонячного випромінювання. Найбільш розповсюдженими є кремнієві сонячні панелі, які мають коефіцієнт корисної дії (ККД) у межах 15-20%. Однак з розвитком технологій з'являються більш ефективні матеріали, які обіцяють підвищити цей показник до 30% і більше. Також тривають дослідження з метою зниження вартості виробництва таких панелей і підвищення їх довговічності.

Окрім фотоелектричних панелей, існують технології концентрації сонячної енергії (CSP), які використовують дзеркала або лінзи для фокусування сонячного випромінювання на невелику площу. Це випромінювання нагріває робоче тіло (найчастіше – воду), яка перетворюється на пару і приводить у дію турбіну, що генерує електроенергію. CSP-системи використовуються переважно на великих сонячних електростанціях і можуть бути комбіновані з системами зберігання теплової енергії, що дозволяє виробляти електроенергію навіть вночі або в умовах низької інсоляції, до речі, Інсоляція — це притік сонячної радіації (в калоріях) на одиницю площі горизонтальної поверхні (1 см²) за одиницю часу (1 хв).

Переваги сонячної енергії полягають в тому, що сонячна енергія має ряд ключових переваг, які роблять її однією з найбільш привабливих форм відновлюваної енергії, а саме :

- Невичерпність ресурсу Сонце є природним і невичерпним джерелом енергії, доступним у всіх регіонах планети.-
- Екологічна чистота. Сонячні панелі не виробляють шкідливих викидів під час своєї експлуатації. Це робить їх безпечними для навколишнього середовища і сприяє зниженню рівня викидів парникових газів.-
- Широка доступність. Сонячні панелі можуть використовуватися як у віддалених регіонах, так і в міських умовах. Вони можуть бути встановлені на дахах будинків, у полях або на промислових об'єктах.
- Зниження витрат на енергопостачання. Встановлення сонячних систем на довгострокову перспективу дозволяє суттєво зменшити витрати на електроенергію, особливо для домогосподарств та малих підприємств.

					ЕЛІТ 8.171.00.05.424 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

Тим не менш, якими б не були переваги, не слід забувати про нюанси. Залежність від погодних умов. Сонячні панелі є ефективними лише за наявності достатнього сонячного світла. У похмурі дні або вночі їхня продуктивність знижується, що вимагає використання систем зберігання енергії або комбінування з іншими джерелами.

Необхідність великих площ. Для розміщення великих сонячних електростанцій потрібні значні земельні ресурси, що може стати проблемою в густонаселених або сільськогосподарських районах.

Початкові інвестиції. Хоча технології виробництва сонячних панелей стають дедалі доступнішими, початкові витрати на їх встановлення все ще залишаються значними. Це може бути стримуючим фактором для малих підприємств або домогосподарств.

Зберігання енергії. Щоб забезпечити безперервне енергопостачання, особливо вночі, необхідні ефективні системи зберігання енергії, які на сьогодні ще мають обмежені можливості та високу вартість.

Як висновок, можна почати з перспективи розвитку. Технології використання сонячної енергії активно розвиваються, і в майбутньому їхня ефективність і доступність будуть зростати. Нові матеріали, відкривають можливості для створення більш продуктивних та дешевих фотоелектричних панелей. Крім того, розвиток систем зберігання енергії дозволить ефективніше використовувати сонячну енергію, навіть у тих випадках, коли безпосереднього доступу до сонячного світла немає.

Крім інновацій в технологіях, сонячна енергетика отримує підтримку з боку урядів багатьох країн, які запроваджують субсидії, пільги та інші механізми стимулювання розвитку цієї галузі. Зокрема, у рамках глобальних зусиль зі скорочення викидів парникових газів сонячна енергія стає невід'ємною частиною національних енергетичних стратегій.

Таким чином, сонячна енергія є одним із найбільш перспективних джерел відновлюваної енергії, яке відіграє важливу роль у забезпеченні сталого розвитку енергетичного сектору.

Вітрова енергія є одним із найбільш розвинених і широко застосовуваних видів відновлюваної енергії. Її джерелом є кінетична енергія потоків вітру, яка за допомогою вітрогенераторів перетворюється на електроенергію. Це один з найстаріших способів використання природної сили для виробництва енергії, оскільки вітряки використовувалися ще в давні часи для млинів і насосних станцій.

					ЕЛІТ 8.171.00.05.424 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

Сучасна вітроенергетика представляє собою високотехнологічну галузь, яка швидко розвивається завдяки впровадженню нових матеріалів та конструкцій турбін, а також автоматизації процесів управління. Вітрогенератори можуть встановлюватися як на суші (onshore), так і в морських акваторіях (offshore), що розширює можливості для їх розміщення у різних кліматичних і географічних умовах. Візуальне зображення стандартної системи з вітрогенераторів наведено на рисунку 1.2.



Рисунок 1.2 - Звичайна система на основі вітрогенераторів

Зазвичай, основним компонентом вітроенергетичної установки є вітрогенератор – пристрій, що перетворює енергію вітру на механічну енергію обертання ротора, яка в свою чергу перетворюється на електричну енергію за допомогою генератора. Вітрогенератори зазвичай класифікують за розміром, потужністю та типом ротора. Основні типи вітрогенераторів:

-Горизонтально-осьові вітрогенератори (HAWT). Це найпоширеніший тип вітрогенераторів, де ротор розташований горизонтально відносно поверхні Землі. Вони мають високу ефективність і можуть працювати з високими швидкостями вітру. Великі вітропарки на суші і морі зазвичай використовують саме ці установки.

-Вертикально-осьові вітрогенератори (VAWT). У цих установках ротор обертається вертикально відносно поверхні Землі. Вони менш поширені, але

					<i>ЕЛІТ 8.171.00.05.424 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змін.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		10

мають перевагу в тому, що можуть працювати за будь-якого напрямку вітру, що знижує потребу в складних системах керування напрямком ротора. Однак їх ефективність зазвичай нижча, ніж у горизонтально-осьових турбін.

Крім того, вітрогенератори поділяються на сухопутні (onshore) і морські (offshore). Сухопутні генератори встановлюються на суші, зазвичай у місцях з постійними вітрами, а морські генератори розміщуються в прибережних зонах, де вітрові потоки стабільніші і сильніші.

Як і у сонячних панелей, вітрова енергія має ряд суттєвих переваг, які роблять її одним із найперспективніших видів відновлюваної енергетики:

-Невичерпність та доступність. Вітер, як і сонце, є практично невичерпним ресурсом, доступним у багатьох регіонах світу. Це робить вітрову енергію стратегічно важливим джерелом для країн, які прагнуть зменшити залежність від викопного палива.

-Екологічність. Вітрогенератори не спричиняють викидів парникових газів або інших шкідливих речовин під час роботи, що сприяє боротьбі зі зміною клімату та покращенню якості повітря.

-Ефективність та масштабованість. Вітрогенератори можуть варіюватися від невеликих установок для домогосподарств до потужних промислових вітропарків. Сучасні вітроустановки здатні виробляти значні обсяги електроенергії, що робить їх конкурентоспроможними з іншими видами енергії.

-Швидка окупність. Хоча початкові інвестиції у будівництво вітропарків є значними, ці установки мають відносно короткий термін окупності через низькі експлуатаційні витрати та тривалий термін служби (20-25 років і більше).

Попри численні переваги, вітрова енергетика має і певні недоліки, які обмежують її широке впровадження:

Нестабільність виробництва. Основною проблемою вітрової енергії є залежність від швидкості вітру. У безвітряні дні або за низьких швидкостей вітру генерація електроенергії зменшується або припиняється, що потребує додаткових систем зберігання або резервних джерел енергії.

Екологічний вплив. Великі вітропарки можуть мати негативний вплив на місцеву фауну, зокрема птахів і кажанів, що можуть потрапляти під лопати турбін. Крім того, інфраструктура вітропарків може змінювати ландшафт і викликати соціальні суперечки в місцевих громадах через естетичний вплив та шум від роботи турбін.

					<i>ЕЛІТ 8.171.00.05.424 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змін.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		11

Необхідність великих територій. Для встановлення великих вітропарків потрібно багато вільної площі, що може бути проблемою в густонаселених регіонах або регіонах з високою вартістю землі.

Початкові інвестиції. Незважаючи на швидку окупність, будівництво вітропарків вимагає значних початкових інвестицій. Крім того, морські (offshore) вітроелектростанції мають ще більші витрати на будівництво та обслуговування через складніші умови експлуатації.

Вітроенергетика активно розвивається завдяки постійному вдосконаленню технологій. Ось кілька ключових напрямків, які формують майбутнє вітроенергетики:

Збільшення розмірів турбін. Сучасні вітрогенератори постійно збільшуються в розмірах, що дозволяє збільшувати їхню потужність та ефективність. Турбіни з роторами діаметром понад 150 метрів і потужністю понад 10 МВт стають звичним явищем, особливо у морських вітропарках.

Морські вітроелектростанції (offshore). Встановлення вітрогенераторів у морських акваторіях дозволяє використовувати більш стабільні та сильні вітри. Такі станції мають більшу продуктивність, ніж їхні наземні аналоги, але потребують вищих витрат на будівництво та обслуговування. Проте ці витрати виправдовуються високою ефективністю і значними обсягами виробництва енергії.

Гібридні системи. Поєднання вітрових установок із системами зберігання енергії або іншими джерелами відновлюваної енергії, такими як сонячні панелі, дозволяє створювати гібридні системи, які є більш стійкими та ефективними в умовах змінної генерації.

Системи прогнозування та управління. Інноваційні системи прогнозування погоди дозволяють краще передбачати зміну вітрових умов, що допомагає підвищити ефективність роботи вітропарків. Також автоматизація управління турбінами дозволяє оптимізувати їхню роботу залежно від швидкості та напрямку вітру.

Майбутнє вітрової енергетики виглядає багатообіцяючим завдяки постійному зростанню потужності вітропарків та вдосконаленню технологій. За прогнозами, частка вітрової енергії у світовому енергетичному балансі продовжить зростати, оскільки багато країн інвестують у розвиток цього сектора як частину своєї стратегії щодо скорочення викидів парникових газів та забезпечення енергетичної незалежності.

					ЕЛІТ 8.171.00.05.424 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

Очікується, що до середини 21 століття вітроенергетика стане одним із ключових джерел енергії у світі завдяки її високому потенціалу та екологічній чистоті.

Гідроенергетика є одним із найстаріших і найбільш поширених видів відновлюваної енергії, наприклад всім відомий водяний млин. Вона використовує енергію води, яка за допомогою гідротурбін перетворюється на механічну, а потім і на електричну енергію. Гідроелектростанції (ГЕС) становлять значну частину енергетичного балансу багатьох країн і є важливим джерелом електроенергії як для великих промислових регіонів, так і для віддалених районів.

Головною перевагою гідроенергетики є її здатність забезпечувати стабільне та тривале виробництво електроенергії. Це досягається завдяки тому, що гідроелектростанції можуть працювати безперервно, використовуючи потенційну енергію води, накопиченої у водосховищах. Водночас гідроенергетика є екологічно чистою, оскільки не спричиняє значних викидів парникових газів під час роботи.

Гідроелектростанції поділяються на кілька типів залежно від способу використання водних ресурсів та технологій отримання енергії. Основні види ГЕС включають:

Дамбові гідроелектростанції. Ці станції використовують великі водосховища, створені за допомогою дамби, яка утримує воду і підвищує рівень води в річці або іншому водному ресурсі. Після цього вода спрямовується через турбіни, що обертаються і виробляють електроенергію. Дамбові ГЕС забезпечують стабільну потужність і можуть використовуватися для регулювання пікових навантажень завдяки можливості зберігати воду у водосховищах. Приклад дамбової ГЕС наведено на рисунку 1.3.

Річкові ГЕС. Цей тип станцій використовує потік річки без створення великих водосховищ. Вони є менш шкідливими для навколишнього середовища, оскільки не потребують перекриття русла річки і збереження великих площ під водою. Однак такі станції зазвичай мають меншу потужність і залежать від природної швидкості потоку води.

Гідроакумулюючі електростанції (ГАЕС). Це особливий тип ГЕС, який використовується для зберігання надлишкової електроенергії у вигляді потенційної енергії води. В періоди низького попиту електроенергія використовується для перекачування води з нижнього водосховища у верхнє. Коли попит на електроенергію збільшується, вода з верхнього водосховища спускається вниз через турбіни, що генерують додаткову електроенергію.

					<i>ЕЛТ 8.171.00.05.424 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змін.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		13



Рисунок 1.3 – Дамбова ГЕС

Гідроенергетика має ряд значних переваг, що робить її важливим джерелом енергії у багатьох країнах:

Стабільність та надійність. На відміну від сонячних та вітрових установок, гідроелектростанції можуть забезпечувати безперервне виробництво електроенергії, оскільки не залежать від погодних умов. Вони можуть працювати цілодобово, що робить їх важливим елементом національних енергосистем.

Регулювання пікових навантажень. Водосховища дозволяють гідроелектростанціям зберігати воду для використання в моменти найбільшого попиту на електроенергію. Це робить їх ідеальними для регулювання пікових навантажень у енергосистемах.

Низькі експлуатаційні витрати. Після побудови гідроелектростанція має відносно низькі витрати на експлуатацію та обслуговування, а термін її служби може перевищувати 50 років.

Екологічна чистота. Гідроенергетика є екологічно безпечною технологією, яка не спричиняє викидів парникових газів та інших шкідливих речовин під час експлуатації.

Незважаючи на численні переваги, гідроенергетика має також ряд недоліків і викликів, які обмежують її використання:

Екологічний вплив. Будівництво великих дамб і водосховищ може суттєво впливати на екосистеми річок. Зміни водного режиму, переселення мешканців, затоплення територій і знищення біорізноманіття є основними проблемами, які виникають при будівництві великих ГЕС.

					ЕЛІТ 8.171.00.05.424 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

Залежність від географічних умов. Гідроелектростанції можуть бути побудовані лише в регіонах з достатніми водними ресурсами. Це обмежує можливості їх використання у посушливих або низькорічкових регіонах.

Сезонні коливання рівня води. В деяких регіонах обсяги води у річках можуть коливатися залежно від сезону. Це може впливати на ефективність роботи станцій, особливо у періоди посух або надмірних опадів.

Високі початкові витрати. Незважаючи на низькі експлуатаційні витрати, будівництво великих гідроелектростанцій вимагає значних інвестицій. Це включає як витрати на створення інфраструктури, так і соціальні та екологічні витрати, пов'язані з переселенням населення та зміною екосистем.

У сучасній гідроенергетиці активно розробляються нові технології, спрямовані на підвищення ефективності та зниження негативного впливу на довкілля. Ось кілька ключових напрямків розвитку:

Малі гідроелектростанції. Малий гідроенергетичний сектор активно розвивається у країнах з обмеженими водними ресурсами або в регіонах, де великі ГЕС не є доцільними. Такі станції мають мінімальний вплив на екосистеми і можуть забезпечувати електроенергію для віддалених або малонаселених районів.

Гідроакумулюючі електростанції. ГАЕС стають все більш популярними завдяки їхній здатності зберігати надлишкову енергію та використовувати її в моменти пікового попиту. Вони відіграють важливу роль у стабілізації енергосистем, що використовують нестабільні джерела, такі як сонячна та вітрова енергія.

Екологічно чисті технології. Сучасні дослідження спрямовані на зменшення впливу ГЕС на річкові екосистеми. Зокрема, розробляються технології для захисту риб від турбін і покращення водного балансу для збереження природних середовищ існування.

Гідроенергетика, як один із найважливіших джерел відновлюваної енергії, має значний потенціал для подальшого розвитку. Очікується, що інвестиції у будівництво нових гідроелектростанцій, особливо малих і середніх, зростатимуть, оскільки багато країн прагнуть скоротити використання викопного палива і перейти на чистіші джерела енергії.

Також перспективними є інноваційні підходи до модернізації існуючих ГЕС. Це дозволить підвищити їх ефективність і зменшити екологічний вплив. У поєднанні з іншими видами відновлюваної енергії, гідроелектростанції можуть

					ЕЛІТ 8.171.00.05.424 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

забезпечувати стабільну базову генерацію, що сприятиме більш ефективному використанню ресурсів і зменшенню вуглецевого сліду.

Узагальнюючи, гідроенергетика залишається важливою частиною глобальної енергетичної стратегії, здатною забезпечувати стабільне і чисте виробництво електроенергії у різних регіонах світу, тим не менш, існує велика прив'язка до розташування.

1.2 Науково-дослідна частина

Як вже було сказано вище, існує проблема, яка полягає в зростаючому попиті на енергетичні ресурси та необхідність зменшення впливу на навколишнє середовище. Це все спонукає до переходу на відновлювані джерела енергії. Певна річ, проблема не тільки в зростаючому попиті, але й у використанні традиційних джерел видобутку енергії, тому постає питання чим їх, як мінімум доповнити, а в майбутньому і повністю, чи майже повністю витіснити, і звісно, рішенням проблеми, як і було раніше вказано, просування альтернативної енергії в широкі маси. В цій частині роботи ми поговоримо про використання сонячних панелей і вітрогенераторів, що є одним з найперспективніших напрямків розвитку енергетики, і зменшує залежність від викопних видів палива і викидів парникових газів, тобто вирішує глобальну проблему.

Однак, відновлювані джерела енергії, такі як сонячна та вітрова, мають невід'ємний недолік - коливання виробництва залежно від погодних умов. Сонячні панелі ефективні лише за наявності достатньої кількості сонячного світла, тоді як вітрові турбіни працюють лише за постійної швидкості вітру. Це робить їхню потужність нестабільною і ускладнює використання в якості основного джерела енергії.

Тому постає наукове питання, як забезпечити стабільне виробництво електроенергії з відновлюваних джерел енергії в умовах мінливого навколишнього середовища. Одним з можливих рішень є розробка адаптивних систем, які поєднують сонячні панелі та вітрові турбіни і автоматично керують їх роботою відповідно до мінливих погодних умов. Така система повинна оптимізувати розподіл потужності між різними джерелами енергії та зменшити залежність від змінних факторів.

Метою даного дослідження є розробка адаптивної системи енергопостачання, що поєднує сонячні панелі та вітрогенератори для забезпечення стабільного та ефективного виробництва електроенергії. Особлива

					ЕЛІТ 8.171.00.05.424 ПЗ	Арк.
						16
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

увага приділяється створенню системи автоматичного управління, яка здатна адаптувати роботу системи залежно від змін погодних умов, таких як інсоляція та швидкість вітру.

Під час проведення дослідження, та огляду різних ресурсів, у ході роботи було поставлено та вирішено кілька ключових завдань, необхідних для досягнення мети дослідження :

Аналіз характеристик сонячних та вітрових джерел енергії:

Проведено збір даних про кліматичні умови вибраного регіону(Україна), зокрема дані про інсоляцію (кількість сонячного випромінювання), середню та максимальну швидкість вітру, добові та сезонні коливання температур.

Для проведення дослідження були зібрані та проаналізовані дані про кліматичні умови на території України, які є важливими для ефективного використання сонячної та вітрової енергії. У вибраних регіонах були розглянуті показники інсоляції, середньої та максимальної швидкості вітру, а також добові та сезонні коливання температур. Нижче наводяться конкретні дані та їхній аналіз:

Інсоляція (кількість сонячного випромінювання)

Інсоляція – це кількість сонячної енергії, яка досягає поверхні Землі протягом певного періоду. В Україні рівень інсоляції значно варіюється залежно від географічного розташування та пори року. Основні показники інсоляції для різних регіонів України включають:

Загальний середньорічний рівень інсоляції для України становить від 1000 до 1400 кВт·год/м². Найвищі показники інсоляції спостерігаються на півдні країни, зокрема в Одеській, Херсонській областях та на Кримському півострові, де цей показник досягає 1300-1400 кВт·год/м² на рік.

Середня інсоляція в літні місяці (червень-серпень) становить близько 5,5-6,0 кВт·год/м² на день у південних регіонах та 4,0-5,0 кВт·год/м² у центральній частині України.

Взимку (грудень-лютий) рівень інсоляції значно знижується і становить приблизно 1,0-2,0 кВт·год/м² на день навіть у південних регіонах. Це ускладнює роботу сонячних панелей у зимовий період та вимагає додаткових джерел енергії або накопичення енергії.

Середня та максимальна швидкість вітру

Для ефективного використання вітрогенераторів важливим є аналіз швидкості вітру в різних регіонах України:

Середня швидкість вітру в Україні на висоті 10 метрів коливається від 2,5 до 4,5 м/с залежно від регіону:

					ЕЛІТ 8.171.00.05.424 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

У південних та західних регіонах (наприклад, Одеська, Миколаївська, Херсонська області, Карпати) середня швидкість вітру становить 3,5-4,5 м/с.

У центральних та східних регіонах (Київська, Харківська області) цей показник дещо нижчий – приблизно 2,5-3,5 м/с.

У прибережних районах та в Карпатах на висоті 50-100 метрів середня швидкість вітру може досягати 5-6 м/с, що є сприятливим для розміщення вітрогенераторів.

Максимальна швидкість вітру в Україні під час штормів та буревіїв може сягати 20-25 м/с, що вимагає врахування вітростійкості обладнання під час проектування вітрогенераторів. Особливо важливо це враховувати при встановленні вітрових турбін у прибережних районах та в гірських місцевостях.

Добові та сезонні коливання температур також відіграють важливу роль у визначенні ефективності роботи як сонячних панелей, так і вітрогенераторів. Зібрані дані включають:

Середня температура повітря влітку (червень-серпень) у більшості регіонів України становить +20°C до +25°C. У південних регіонах та в прибережних районах температура може досягати +30°C.

Середня температура взимку (грудень-лютий) коливається від -1°C до -5°C у центральних та південних регіонах і може досягати -10°C до -15°C у північних та східних областях.

Максимальні літні температури можуть сягати +35°C та більше у південних регіонах, що може впливати на ефективність роботи сонячних панелей через перегрів.

Мінімальні зимові температури в окремих регіонах можуть знижуватися до -20°C та нижче, що вимагає врахування особливостей обслуговування обладнання в умовах сильних морозів.

Тепер можна підвести невеликі висновки з аналізу кліматичних даних, аналіз кліматичних даних дозволив визначити оптимальні регіони для встановлення комбінованої адаптивної системи на основі сонячних панелей та вітрогенераторів. Зокрема:

Південні області України (Одеська, Херсонська, Миколаївська області та Крим) є найбільш сприятливими для встановлення сонячних панелей завдяки високому рівню інсоляції протягом року.

Прибережні та гірські райони (зокрема, Карпати та узбережжя Чорного моря) мають високий потенціал для використання вітрогенераторів через стабільні вітрові потоки.

					ЕЛІТ 8.171.00.05.424 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

Для досягнення стабільного виробництва електроенергії у зимовий період доцільно використовувати гібридну систему, що поєднує сонячні панелі та вітрогенератори, оскільки вітрова енергія може компенсувати зниження ефективності сонячних панелей взимку.

Отримані дані стали основою для розробки адаптивної системи управління енергопотоками, яка враховує змінні погодні умови та забезпечує ефективний розподіл енергії між джерелами.

Вивчено характеристики різних типів сонячних панелей (моно- та полікристалічних) та моделей вітрогенераторів, які найбільш підходять для встановлення у вибраному кліматичному регіоні(Україна).

Побудовано графіки змін виробництва енергії протягом року для кожного джерела, що дозволило визначити сезонні піки та спади в генерації електроенергії.

Для забезпечення ефективного функціонування адаптивної енергосистеми в умовах України було проведено дослідження характеристик найбільш поширених типів сонячних панелей та моделей вітрогенераторів. Це дозволить вибрати оптимальні технології для встановлення в конкретних кліматичних умовах, які забезпечать максимальну ефективність виробництва електроенергії. Нижче наведено конкретні дані та порівняння характеристик.

Моно- та полікристалічні сонячні панелі є двома основними типами фотоелектричних модулів, які використовуються для виробництва електроенергії з сонячного випромінювання. Їх відмінності полягають у матеріалі виготовлення та характеристиках роботи. Моно (монокристалічні) сонячні панелі:

Коефіцієнт корисної дії (ККД): 18-22%.

Стабільність виробництва: Висока, особливо за умов прямого сонячного світла. Мають кращу ефективність за умов низької освітленості, таких як похмурі дні або зимові періоди.

Термін служби: Близько 25-30 років.

Температурний коефіцієнт: Близько -0,3% на кожен градус вище 25°C, що робить їх більш стійкими до перегріву.

Підходящі регіони в Україні: Монокристалічні панелі рекомендовані для регіонів з мінливою погодою та частими похмурими днями, таких як центральна та західна Україна (Київська, Львівська, Івано-Франківська області). Вони також добре працюють у південних регіонах завдяки високій інсоляції.

Полі (полікристалічні) сонячні панелі:

Коефіцієнт корисної дії (ККД): 15-18%.

					ЕЛІТ 8.171.00.05.424 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

Стабільність виробництва: Трохи нижча, ніж у монокристалічних панелей, зниження ефективності за умов низької освітленості є більш відчутним.

Термін служби: Близько 20-25 років.

Температурний коефіцієнт: Близько -0,4% на кожен градус вище 25°C, що робить їх менш ефективними в умовах високих температур.

Підходящі регіони в Україні: Полікристалічні панелі підходять для регіонів із стабільною високою інсоляцією та теплим кліматом, таких як південна частина України (Одеська, Херсонська, Миколаївська області). Через їх нижчу вартість порівняно з монокристалічними вони також можуть бути економічно вигідними для великих сонячних станцій.

Таблиця 1.1 - Порівняння монокристалічних та полікристалічних панелей:

Тип панелі	ККД	Стабільність за низької освітленості	Термін служби	Температурний коефіцієнт	Орієнтовна вартість (за 1 Вт)
Монокристалічні	18-22%	Висока	25-30 років	-0,3%/°C	0,3-0,4 \$
Полікристалічні	15-18%	Середня	20-25 років	-0,4%/°C	0,25-0,35 \$

Моделі вітрогенераторів

Для дослідження було обрано кілька моделей вітрогенераторів, які є найбільш придатними для використання в умовах України, враховуючи середню та максимальну швидкість вітру, а також специфіку території (суша або прибережна зона). Нижче наведено ключові характеристики досліджених моделей:

Моделі вітрогенераторів для суші (onshore):

Nordex N60/1300:

Потужність: 1,3 МВт.

Швидкість запуску: 3 м/с (початок генерації).

Номинальна швидкість вітру: 12-15 м/с.

Максимальна швидкість вітру: 25 м/с (при перевищенні генератор автоматично зупиняється для захисту).

Висота вежі: 70-100 м.

Підходящі регіони: Київська, Житомирська, Львівська області, де середня швидкість вітру становить 3-5 м/с, що забезпечує стабільне виробництво енергії.

Vestas V150-4.2:

Потужність: 4,2 МВт.

Швидкість запуску: 3,5 м/с.

Номінальна швидкість вітру: 11-13 м/с.

Максимальна швидкість вітру: 25-28 м/с.

Висота вежі: 105-120 м.

Підходящі регіони: Одеська та Херсонська області, де середня швидкість вітру становить 4-6 м/с. Ця модель ідеально підходить для регіонів з сильними, але стабільними вітрами.

Моделі вітрогенераторів для прибережних районів (offshore):

Siemens Gamesa SG 8.0-167 DD:

Потужність: 8 МВт.

Швидкість запуску: 3 м/с.

Номінальна швидкість вітру: 10-12 м/с.

Максимальна швидкість вітру: 30 м/с.

Діаметр ротора: 167 м.

Підходящі регіони: Прибережні райони Чорного моря, де середня швидкість вітру може досягати 6-7 м/с. Висока потужність та велика площа лопатей забезпечують ефективну генерацію навіть за умов помірних вітрів.

Таблиця 1.2 - Порівняння характеристик вітрогенераторів:

Модель	Потужність	Швидкість запуску	Номінальна швидкість вітру	Максимальна швидкість вітру	Підходящі регіони
Nordex N60/1300	1,3 МВт	3 м/с	12-15 м/с	25 м/с	Центральні та західні регіони
Vestas V150-4.2	4,2 МВт	3,5 м/с	11-13 м/с	25-28 м/с	Південні регіони
Siemens Gamesa SG 8.0-167 DD	8 МВт	3 м/с	10-12 м/с	30 м/с	Прибережні райони Чорного моря

Висновки з аналізу

Для регіонів із середньою швидкістю вітру 4-6 м/с найбільш придатними є моделі Vestas V150-4.2, які забезпечують стабільне виробництво електроенергії завдяки великій потужності та оптимальним параметрам запуску.

У прибережних районах Чорного моря найбільш ефективним є використання потужних моделей, таких як Siemens Gamesa SG 8.0-167 DD, що здатні забезпечити високий рівень виробництва навіть за умов помірних вітрів.

Монокристалічні панелі мають кращу ефективність і довговічність, тому вони рекомендовані для регіонів з більш низькою інсоляцією, тоді як полікристалічні панелі можуть бути економічно вигідними в регіонах із стабільною високою інсоляцією.

Тепер слід розглянути ефективність видобутку енергії сонячними панелями та вітрогенераторами залежно від часу доби, сезону та погодних умов. Почнемо із сонячних панелей, дослідивши дану тему, вияснилося, що взимку найнижча ефективність, через кооткий світловий день і слабку інсоляцію. Наступний сезон – весна, підвищена ефективність завдяки помірній інсоляції, показники осінньої пори року між весною та зимою. І найкраща пора року для сонячних панелей – літо, максимальна ефективність, особливо опівдні та довгий світловий день.

Щодо ефективності, залежно від часу доби, то тут все просто, вранці та ввечері ефективність нижча через низький кут падіння сонячних променів, а пікові показники спостерігаються в середині світлового дня.

На рисунку 1.4, наведеному нижче, показано дані для ясної погоди, тобто сонячної. Для таких умов, як «частково хмарно» або «похмуро» ефективність знижується до 80% і 50% відповідно.

Стосовно погодних умов, то очевидно, що сильний вітер – максимальна ефективність, помірний вітер – зниження до 80%, а штиль (безвітряна погода) мінімальна ефективність). Графік ефективності вітряків у різний час наведено на графіку 1.5.

					ЕЛІТ 8.171.00.05.424 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

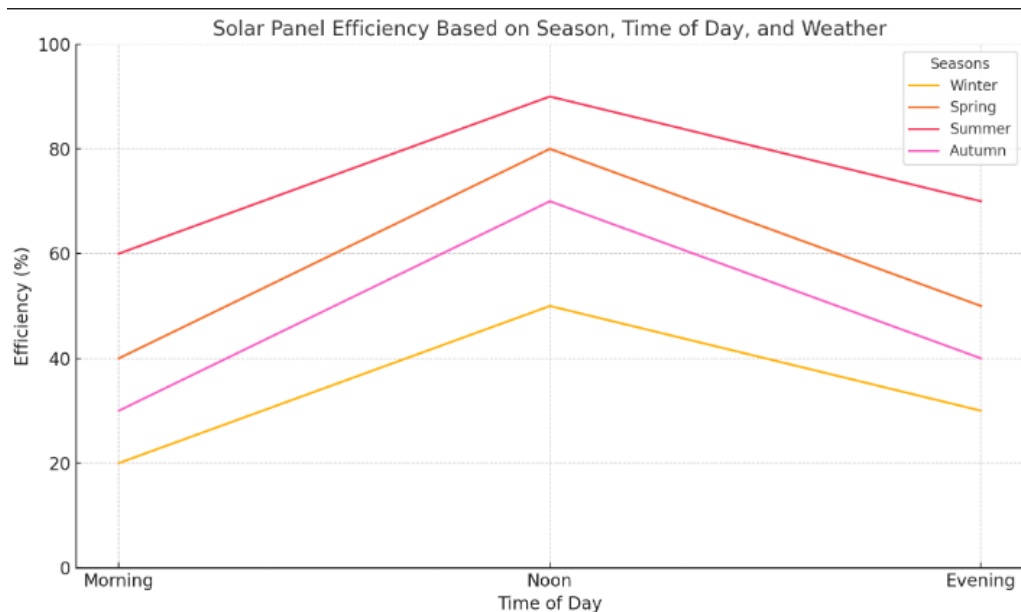
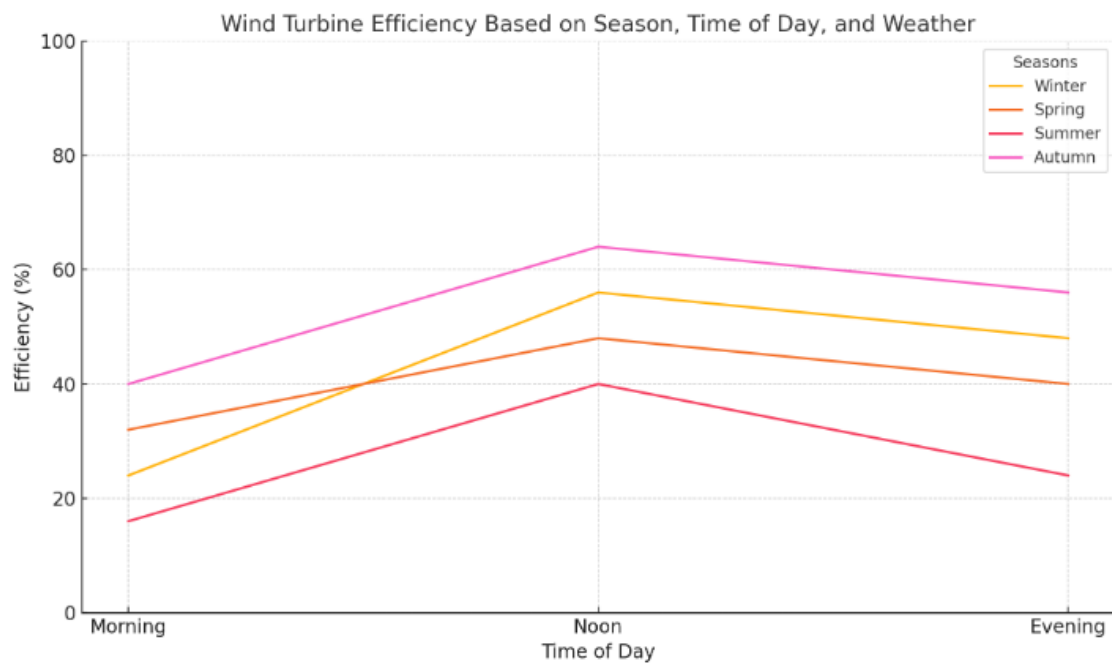


Рисунок 1.4 – Ефективність сонячних панелей у різний час

Сонячні панелі розглянули, тепер черга вітряків. То ж виходить цікава залежність, взимку ефективність висока через часті сильні вітри, весною помірна ефективність, як і швидкість вітру. Влітку низька ефективність через слабкі вітри у більшості регіонів, і осінь – пікові показники та стабільні вітри. Зазвичай вітрова активність вранці нижча ніж вдень та ввечері, тому і ефективність вітрогенераторів відповідно вранці нижча.



Графік 1.5 – Ефективність вітрогенераторів у різний час

Тепер спробуємо співмістити графіки ефективності окремих джерел альтернативної енергетики і зробимо порівняльну гістограму, на основі якої будуть висновки стосовно використання цих джерел енергії. Гістограма наведена на рисунку 1.6.

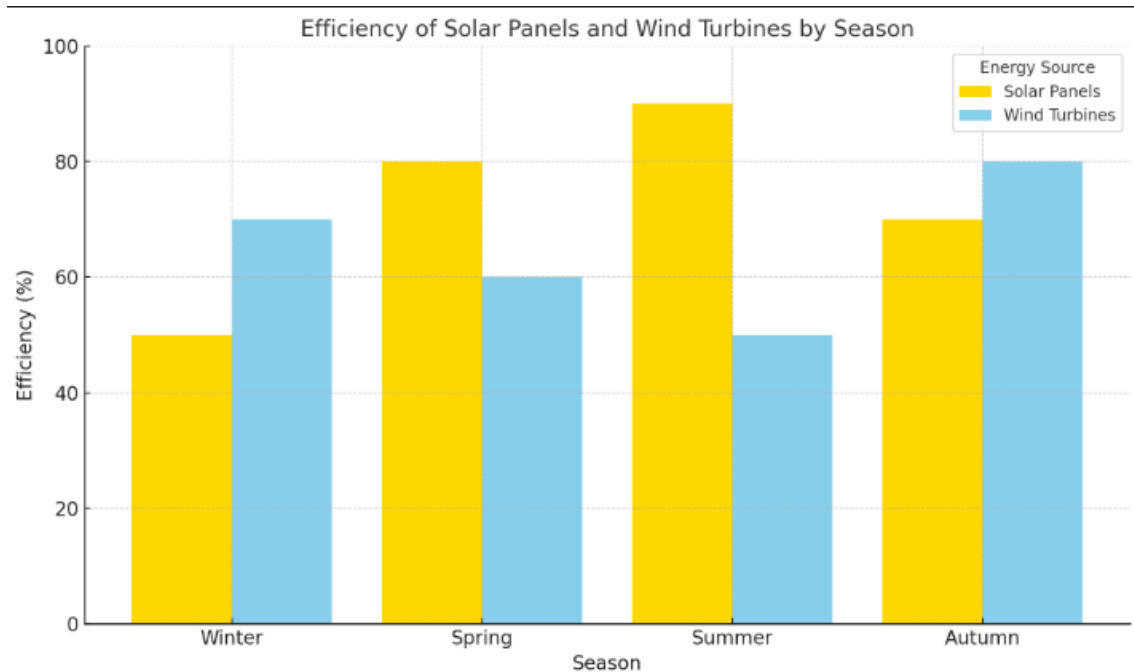


Рисунок 1.6 - Гістограма ефективності

Судячи з гістограми, можна зробити висновок, що сонячні панелі добре себе показують весною та влітку, натомість же, вітряні генератори ефективніші восени та взимку, а отже є доречним використовувати ці джерела гібридно, для покращення стабільності видобутку енергії.

Ці дані дозволять розробити ефективну адаптивну систему, що враховує специфіку кліматичних умов України та оптимізує використання відновлюваних джерел енергії для стабільного енергопостачання, на основі більш підходящих до конкретних умов розташування, моделей вітрової та сонячної енергетики.

Розглянемо блок акумуляторів. В подібних системах можуть використовуватися, як звичайні автомобільні (свинцево-кислотні) акумулятори, так і найновітніші (літій-залізофосфат, або гелеві). Вибір акумуляторів на пряму впливає на ефективність і ціну системи, оскільки, наприклад свинцево-кислотні акумулятори хоч і дешевші, але термін їх служби менший, а використання ємності, при якій акумулятор не вийде з ладу швидко, зазвичай становить 30-50% від загальної, в той час, як використовувана ємність літєвих акумуляторів досягає приблизно 85%. Також до мінусів автомобільних акумуляторів відноситься

повільне заряджання, складніше обслуговування і проблеми з розміщенням, оскільки вони виділяють ядовитий кислотний газ, тому розташовувати їх вдома не рекомендується. Детальніша інформація по порівнянню акумуляторів наведена в таблиці 1.3 нижче.

Таблиця 1.3 – Порівняльна характеристика акумуляторів

Характеристика	Свинцево-кислотні акумулятори	Сучасні акумулятори (Li-ion, LFP)
Енергетична щільність	Низька (30-50 Вт·год/кг)	Висока (100-265 Вт·год/кг)
Термін служби	Короткий (3-5 років, ~300-500 циклів)	Довгий (8-15 років, 2000-5000 циклів)
Вартість	Низька початкова (дешевше за кВт·год)	Вища початкова, але нижчі витрати за життєвий цикл
Ефективність заряд/розряд	70-80%	90-98%
Робочий температурний діапазон	-20°C до +50°C, але знижена ефективність при низьких температурах	-20°C до +60°C, стабільна продуктивність
Вага	Важкі (більша маса на одиницю енергії)	Легкі (менша маса на одиницю енергії)
Саморозряд	Високий (~5-10% на місяць)	Низький (~1-2% на місяць)
Обслуговування	Потребують регулярного обслуговування (доливання електроліту)	Практично не потребують обслуговування
Безпека	Можливість витоку електроліту, корозія	Висока безпека (особливо для LFP), але чутливі до перегріву
Екологічність	Потребують спеціальної утилізації через токсичні матеріали	Менш токсичні, але потребують переробки
Придатність для циклічної роботи	Обмежена через деградацію пластин	Відмінна, стійкі до глибоких розрядів

Підводячи підсумки по вибору акумуляторів, виграють сучасні їх типи, хоч вони й дорожче.

Що ж до схем підключення акумуляторів, то в таких системах можуть використовуватися три види, а саме послідовна схема підключення – коли акумулятори підключаються один до одного протилежними полюсами, в такому випадку загальна їх ємність не змінюється, але збільшується видавана напруга,

наприклад якщо взяти три акумулятори по 12Вольт, то при такому підключенні вони разом будуть видавати 48Вольт. Важливо пам'ятати, що при такому типі підключення слід використовувати акумулятори з однаковою ємністю, оскільки це може привести до виходу з ладу системи.

Наступний тип підключення – паралельний. В такому випадку клеми акумуляторів підключаються відповідно до своїх полюсів. Даний спосіб не збільшує загальну видавану напругу, але збільшує ємність при тій же напрузі. Важливий момент, при цьому типі підключення не важлива різниця в ємності акумуляторів, але важлива напруга, яку вони видають, а саме однакова.

І третій спосіб підключення акумуляторів – комбінований. Судячи з назви, не складно здогадатись, що він поєднує в собі попередні два способи, при цьому зберігаючи, як недоліки, так і плюси даних типів підключення. Даний спосіб найбільше підходить для систем альтернативної енергетики в тому випадку, якщо акумуляторів багато, а підходящий інвертор знайти складно, тому при такому способі можна вплинути як на ємність, так і на видавану напругу акумуляторів.

Не менш важливими компонентами в цих системах є контролери заряду/розряду, які значною мірою впливають на роботу системи, у випадку надмірного генерування енергії і розрядженості акумуляторів, контролери перенаправляють надлишки для стабілізації резервів системи, а у протилежному випадку, навпаки – направляють енергію з акумуляторів до споживача.

І, певна річ, в такій системі повинні бути інвертори, які будуть перетворювати енергію з системи на розсуд споживача. Інвертори, в основному використовуються для контролю вхідної напруги, наприклад з блоку акумуляторів, що зазвичай від 12 до 48 Вольт до мережі будинку, а це приблизно 220 Вольт. Не менш важливою характеристикою інверторів є їх потужність, яку вони можуть взяти з джерела живлення і передати споживачу, в залежності від потреб, їх потужність дуже варіюється від декількох сотень ват, до десятка кіловат.

Огляд існуючих підходів до адаптивного управління гібридними енергосистемами:

Адаптивне управління гібридними енергосистемами, що поєднують сонячні панелі та вітрогенератори, є важливим завданням для забезпечення стабільного постачання електроенергії в умовах змінних кліматичних умов.

Насправді, в інтернеті не так багато інформації не те що, про адаптивні системи, а й про спільне використання сонячної та вітрової енергії, тобто гібридні системи, тому в силу моїх можливостей, дослідження може бути не точним, а його

					ЕЛІТ 8.171.00.05.424 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

результати трохи не співпадати із запланованими цілями. Тож приступимо до аналізу досліджених систем управління.

Такі системи повинні автоматично регулювати роботу обладнання залежно від доступності сонячної та вітрової енергії, а також враховувати потреби споживачів. У ході дослідження було проаналізовано основні підходи та алгоритми, які застосовуються для управління такими системами. Нижче наведено огляд цих підходів, їхні особливості та конкретні приклади застосування.

Прогнозне управління (Model Predictive Control, MPC)

Метод прогнозного управління – це метод управління, що базується на використанні математичної моделі системи для прогнозування її поведінки на певний час уперед. MPC дозволяє знаходити оптимальну стратегію управління, враховуючи обмеження на ресурси та змінні умови. У випадку гібридної енергетичної системи MPC використовується для розподілу енергії між джерелами (сонячними панелями, вітрогенераторами та акумуляторами) з урахуванням прогнозів погоди і споживання енергії.

Принцип роботи MPC

Прогнозування майбутнього стану системи:

Використовується математична модель для оцінки майбутніх значень змінних стану (наприклад, рівень заряду акумуляторів, виробництво енергії від панелей і генераторів) на основі поточних даних і прогнозів погоди.

Визначення оптимальної стратегії управління:

Модель мінімізує або максимізує певну цільову функцію, наприклад, зменшення втрат енергії, забезпечення стабільності подачі енергії чи зменшення зносу акумуляторів. Цільова функція наведена нижче:

$$J = \sum_{k=1}^N (\omega_1 \cdot P_{\text{дод}}(k) + \omega_2 \cdot \Delta E_{\text{акум}}(k) + \omega_3 \cdot U_{\text{вих}}(k))$$

Де $P_{\text{дод}}(k)$ – потужність, що може бути недоданою до системи (енергетичний дефіцит);

$\Delta E_{\text{акум}}(k)$ – зміна енергії в акумуляторі;

$U_{\text{вих}}(k)$ – стабільність вихідної напруги;

$\omega_1, \omega_2, \omega_3$ – вагові коефіцієнти, що визначають пріоритети.

Динамічна модель системи:

$$x(k+1) = A_x(k) + B_u(k)$$

					ЕЛІТ 8.171.00.05.424 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

Де $x(k)$ – вектор стану системи(рівень заряду акумуляторів, поточна генерація);

$u(k)$ - вектор управління (розподіл енергії між джерелами);

A, B - матриці динаміки системи.

MPC враховує технічні обмеження системи, такі як максимальна потужність генераторів, обсяг акумуляторів чи обмеження на рівень заряду.

Реалізація оптимального рішення:

На кожному кроці вибирається найкраще рішення для поточного стану системи. Через певний час (крок прогнозування) процес повторюється, враховуючи нові дані.

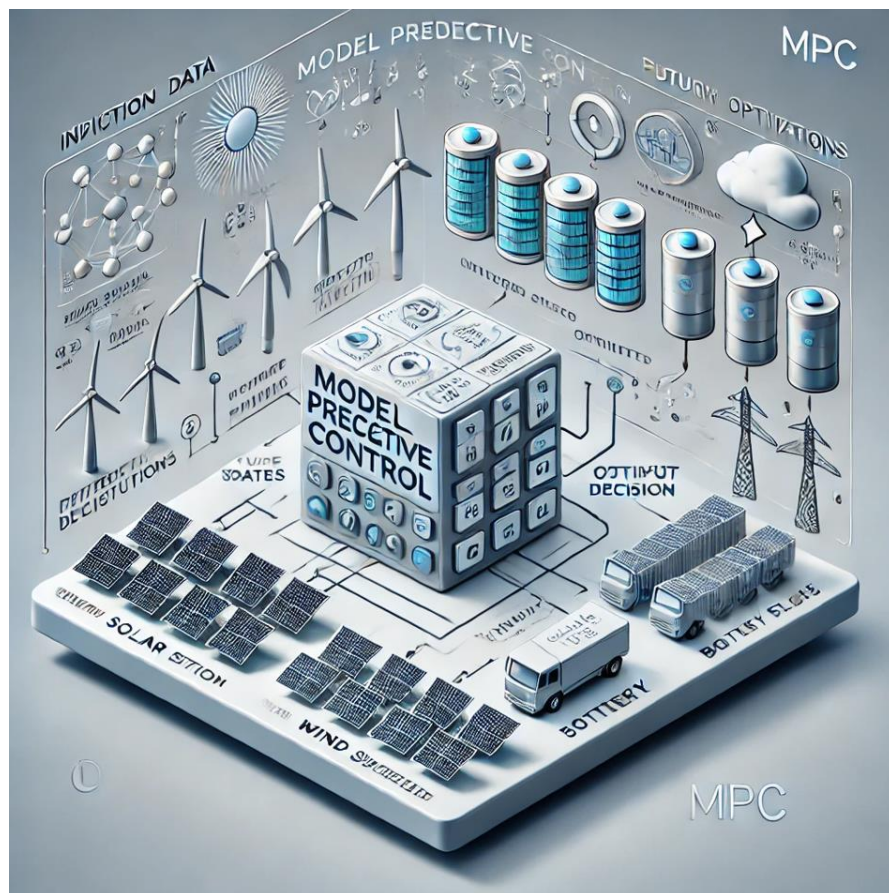


Рисунок 1.7 – Робота MPC

На зображенні представлена робота прогнозного управління (Model Predictive Control, MPC) у гібридній енергетичній системі. Вхідні дані, такі як сонячна радіація, швидкість вітру та рівень заряду акумуляторів, використовуються центральним блоком для прогнозування та оптимізації. Результати передаються

до блоку рішень, який визначає оптимальний розподіл енергії між джерелами, накопичувачами та споживачами.

Дослідження в Німеччині на основі моделі MPC показало, що така система може знизити коливання виробництва енергії на 15-20% у порівнянні з традиційними статичними системами управління. Це досягається завдяки можливості адаптації до змін погодних умов протягом дня та врахуванню сезонних коливань.

У дослідженні, проведеному в Іспанії, прогнозне управління дозволило знизити загальні витрати на експлуатацію системи на 10-12% завдяки оптимізації використання енергетичних ресурсів та мінімізації втрат під час зберігання та передачі електроенергії.

Адаптивне управління на основі нечіткої логіки (Fuzzy Logic Control)

Метод нечіткої логіки (FLC) — це метод управління, що імітує людське мислення, працюючи з поняттями та умовами, які не мають точних меж. Це особливо корисно в системах, де є висока невизначеність або нечіткість у вхідних даних, таких як погодні умови (інсоляція, швидкість вітру) або потреби в енергії. FLC дозволяє приймати рішення на основі нечітких правил типу "якщо... то", забезпечуючи гнучке управління гібридною енергетичною системою.

Як воно працює :

Нечітке введення – вхідні дані(наприклад інсоляція, швидкість вітру, рівень заряду акумуляторів) переводяться в нечіткі змінні за допомогою функцій належності. Приклад :

- Низька інсоляція $\mu(x) = [0,0.5]$
- Висока швидкість вітру $\mu(y) = [0.7,1]$

База правил – рішення приймається на основі набору правил:

"Якщо інсоляція низька, а швидкість вітру висока, то пріоритет — вітрогенератор."

"Якщо інсоляція висока і швидкість вітру середня, то заряджай акумулятори."

Набір правил використовується для оцінки вихідної змінної (наприклад, розподілу енергії). Кожне правило дає свій внесок у результат.

Дефазифікація:

Нечіткий результат переводиться у чітке значення, яке система використовує для прийняття конкретного рішення.

					ЕЛІТ 8.171.00.05.424 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

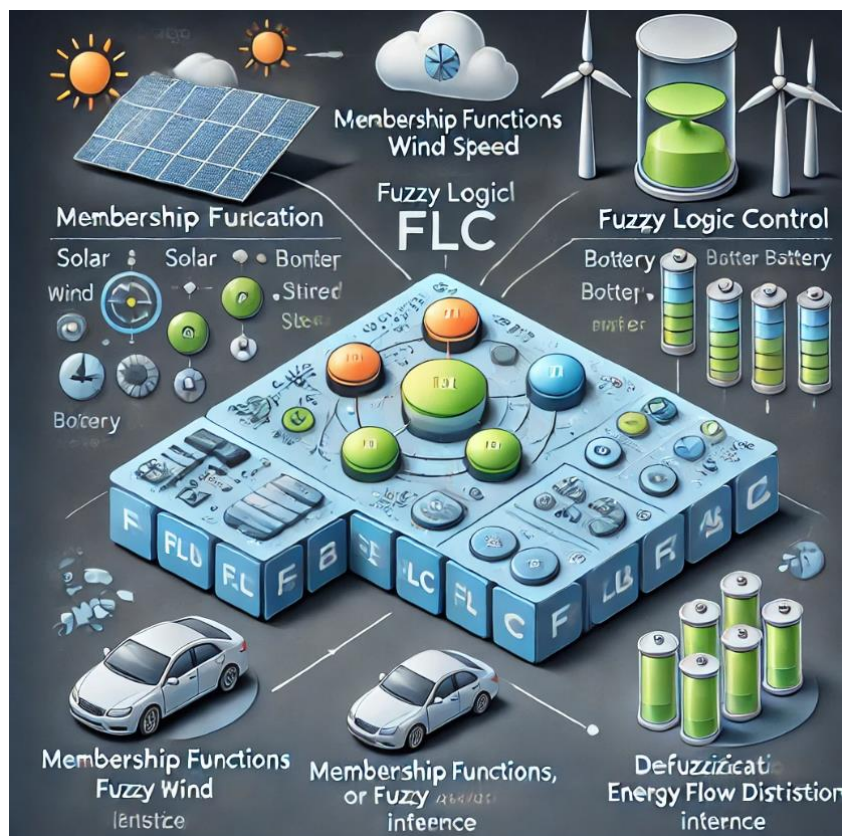


Рисунок 1.8 – Робота FLC

На зображенні представлена концепція Адаптивного управління на основі нечіткої логіки (Fuzzy Logic Control, FLC) для гібридної енергетичної системи. Вхідні дані, такі як інсоляція, швидкість вітру та рівень заряду акумуляторів, обробляються через блок нечіткої логіки (застосування функцій належності та правил). У кінцевому етапі виконується дефазифікація, яка забезпечує прийняття чітких рішень щодо розподілу енергопотоків.

У Китаї було проведено дослідження адаптивної системи з використанням нечіткої логіки для гібридної сонячно-вітряної установки. Результати показали, що система змогла збільшити ефективність використання енергії на 18% та зменшити частоту використання резервних джерел енергії.

В Індії аналогічна система на основі нечіткої логіки показала, що вона може адаптувати розподіл енергії між сонячними панелями та вітрогенераторами залежно від зміни погодних умов у реальному часі, забезпечуючи стабільне постачання електроенергії протягом доби.

Алгоритми на основі машинного навчання (Machine Learning)

Алгоритми машинного навчання, такі як штучні нейронні мережі (Artificial Neural Networks, ANN) забезпечують автоматичну оптимізацію системи, дозволяючи їй адаптуватися до змін умов і вдосконалювати свою продуктивність на основі

						ЕЛІТ 8.171.00.05.424 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			30

історичних і поточних даних. У гібридній енергетичній системі ML використовується для прогнозування генерації, споживання енергії, виявлення аномалій і вдосконалення управління джерелами енергії.

Опис роботи ML у гібридній системі:

-Алгоритми аналізують дані від сенсорів (інсоляція, швидкість вітру), історичні показники генерації та споживання, а також прогнози погоди.

- Набори даних проходять очищення та нормалізацію. Наприклад, швидкість вітру переводиться у стандартизовану шкалу для зручності обробки.

- Моделі машинного навчання, такі як нейронні мережі чи алгоритми регресії, навчаються на історичних даних для створення прогнозів і оптимізації управління.

- Прогнозування та прийняття рішень:

Алгоритми прогнозують:

-Генерацію енергії від сонячних панелей і вітрогенераторів.

-Рівень споживання енергії в майбутньому.

-Результати використовуються для оптимального розподілу енергії між компонентами системи.

- Система автоматично вдосконалює свої моделі на основі нових даних, зберігаючи точність і адаптивність у змінних умовах.

Математичний підхід у ML :

Регресія для прогнозування генерації - $\hat{y} = \beta_0 + \beta_1x_1 + \beta_2x_2 + \dots + \beta_nx_n$

Де : \hat{y} –прогнозована генерація ;

x_1, x_2, \dots, x_n - вхідні змінні (інсоляція, швидкість вітру тощо) ;

$\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_n$ – коефіцієнти регресії

Нейронна мережа для складних прогнозів:

Вхідний шар: x — інсоляція, швидкість вітру, рівень заряду акумулятора;

Приховані шари: виконують нелінійну обробку даних;

Вихідний шар: видає прогнозовану генерацію чи споживання.

Виявлення аномалій через класифікацію – алгоритм визначає, чи відповідає поточний стан системи нормальним робочим умовам :

$P(\text{аномалія}|\text{дані}) = \sigma(\omega_1x_1 + \omega_2x_2 + \dots + b)$ Де: σ – сигмоїдна функція;

$\omega_1, \omega_2, \dots$ - ваги моделі.

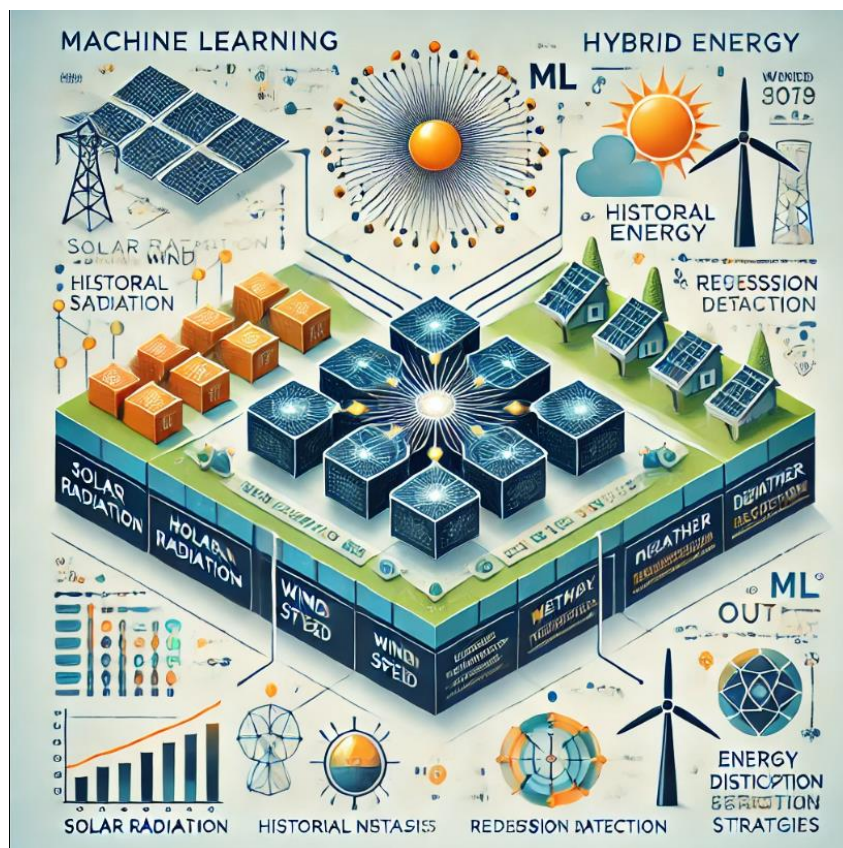


Рисунок 1.9 – Концепція ML

Вхідні дані, такі як інсоляція, швидкість вітру, історичні дані генерації та споживання, аналізуються моделями машинного навчання. У результаті моделі прогнозують генерацію, виявляють аномалії та оптимізують управління енергопотоками, забезпечуючи адаптивність і точність роботи системи.

В Японії використання нейронної мережі для прогнозування виробництва енергії від сонячних панелей показало, що точність прогнозу може досягати 95%, що дозволило знизити втрати енергії на 10% при інтеграції в локальну мережу.

У США дослідження з використанням алгоритму глибинного навчання (Deep Learning) для адаптивного керування вітрогенераторами показало, що це дозволило покращити стабільність роботи системи на 12-15% завдяки точному прогнозуванню змін швидкості вітру та корекції роботи турбін.

Тепер узагальнимо усі методи адаптивного управління:

Системи на основі нечіткої логіки добре працюють у випадках, коли є багато невизначеностей у вхідних даних, таких як мінливі погодні умови. Нечітка логіка дозволяє приймати рішення на основі умовних правил типу: "якщо швидкість вітру висока, а інсоляція низька, використовуй вітрогенератори".

					ЕЛІТ 8.171.00.05.424 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

Однак такі системи мають обмеження в адаптації до нових умов. Наприклад, якщо клімат у регіоні зазнає довгострокових змін, правила можуть втратити свою актуальність, що потребуватиме їхнього оновлення вручну.

Системи на основі машинного навчання є потужним інструментом для аналізу великих обсягів даних, створення прогнозів і самонавчання. Наприклад, алгоритми можуть прогнозувати споживання електроенергії та генерацію на основі історичних даних і погодних умов.

Проблема полягає в тому, що такі системи потребують великої кількості якісних даних для навчання. Крім того, вони можуть бути "чорною скринькою", тобто результати управління не завжди легко інтерпретувати, особливо якщо виникнуть нестандартні ситуації.

Системи на основі прогнозного управління добре підходять для короткострокового планування, коли потрібно оптимізувати роботу системи на основі поточних умов і прогнозів на найближчі години. MPC дозволяє враховувати обмеження ресурсів, наприклад, рівень заряду акумуляторів.

Проте цей підхід потребує високих обчислювальних ресурсів для виконання складних розрахунків у реальному часі, що може бути проблемою для малих або віддалених систем.

Жоден із перелічених підходів не може повністю задовольнити всі потреби адаптивної гібридної енергетичної системи. Наприклад, нечітка логіка пропонує простоту та гнучкість, але не завжди достатньо точна. Системи на основі машинного навчання мають високу прогнозну здатність, але інколи надто складні для впровадження. Тому було вирішено поєднати сильні сторони цих підходів у гібридній системі управління, яка інтегрує кілька методів, забезпечуючи баланс між гнучкістю, точністю та адаптивністю. З огляду на існуючі види адаптивного управління для нашої системи, було вирішено обрати саме *гібридну* систему, оскільки, на мою думку, вона буде найбільш ефективна в кліматичних умовах України до того ж така багаторівнева структура забезпечує оптимальне управління енергетичними ресурсами, високу стабільність і надійність системи, навіть в умовах швидких змін. Це рішення стало логічним вибором, оскільки дозволяє максимально ефективно використовувати можливості гібридної енергетичної установки. Тож як працює гібридна система управління?

Гібридна система управління складається з кількох рівнів, які доповнюють один одного:

Нечітка логіка забезпечує базове управління в умовах невизначеності:

					ЕЛІТ 8.171.00.05.424 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

Наприклад, якщо сенсори фіксують низьку інсоляцію та середню швидкість вітру, система автоматично збільшує генерацію від вітрогенераторів, а надлишки спрямовує на заряд акумуляторів.

Прогнозне управління (MPC) використовується для короткострокового планування:

На основі прогнозу погоди система оцінює, скільки енергії потрібно генерувати та накопичувати, щоб покрити потреби споживачів у найближчі години.

Машинне навчання дозволяє постійно вдосконалювати систему:

Алгоритми аналізують історичні дані та налаштовують параметри нечіткої логіки та MPC, підвищуючи точність прогнозів і оптимізуючи використання ресурсів.

Ручне втручання через модуль моніторингу:

У разі виникнення аномальних ситуацій оператор може переглянути візуалізовані дані та скоригувати роботу системи вручну.

1.3 Розроблення електронної системи з використанням отриманих результатів дослідження

Розроблення адаптивної електронної системи управління для гібридної енергетичної установки на основі сонячних панелей та вітрогенераторів є важливим кроком для забезпечення стабільного та екологічного постачання електроенергії в умовах змінного клімату України. Гібридні енергосистеми, що інтегрують різні відновлювані джерела енергії, дозволяють збалансувати енергопотоки, компенсуючи сезонні та добові коливання, властиві окремим джерелам.

Однак для досягнення оптимальної ефективності таких систем недостатньо просто поєднати різні типи установок. Необхідно розробити адаптивну систему управління, яка забезпечить автоматичне регулювання роботи сонячних панелей і вітрогенераторів у режимі реального часу, враховуючи прогноз на можливі погодні зміни, рівень поточного споживання, а також інші, не менш важливі, зовнішні фактори. Такий підхід дозволяє мінімізувати втрати енергії, більше того, дозволяє збільшити потужність системи, уникати простоїв, знижувати експлуатаційні витрати та зменшувати вплив на навколишнє середовище.

					ЕЛІТ 8.171.00.05.424 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

На основі результатів попереднього аналізу та дослідження кліматичних умов України були визначені ключові вимоги до системи управління. Головними з них стали можливість гнучкого управління енергопотокami, точного прогнозування виробництва енергії залежно від погодних умов, а також інтеграція з прогнозами погоди. Узагальнюючи висновки з науково-дослідної частини, використання методів прогнозного управління (MPC), алгоритмів нечіткої логіки та машинного навчання забезпечує адаптивність системи до змін клімату, підвищуючи її ефективність.

Цей розділ детально описує архітектуру розробленої електронної системи управління і алгоритми, що забезпечують оптимальний розподіл енергетичних ресурсів. Система буде спроектована таким чином, щоб забезпечити її гнучке налаштування та можливість адаптації до зміни умов, що дозволяє створити ефективну, економічну та екологічно чисту енергетичну установку для сучасних вимог.

1.3.1 Обґрунтування алгоритму функціонування та структурної схеми електронної системи, що проєктується . У цьому пункті розглядається архітектура системи, що складається з модулів збору даних, управління енергопотокami, обробки даних і моніторингу. Детальна структура кожного модуля описана в пунктах нижче.

Модуль збору даних забезпечує безперервний моніторинг навколишнього середовища та внутрішніх параметрів системи, які впливають на ефективність роботи гібридної енергетичної установки. Цей модуль складається з комплексу сенсорів та датчиків, які встановлені на різних етапах системи для відстеження зовнішніх і внутрішніх умов. Зібрані дані є основою для подальших етапів обробки та управління, дозволяючи адаптивно реагувати на зміни погоди, інсоляції та інших зовнішніх факторів.

Як і було описано вище, в модулі збору даних використовуються різні сенсори та датчики для більш точного слідкування за зовнішніми та внутрішніми показниками, що прямо впливають на роботу системи. В модулі будуть використовуватися такі пристрої :

Датчики інсоляції: вимірюють рівень сонячного випромінювання, що надходить на поверхню сонячних панелей. Дані про інсоляцію використовуються для прогнозування та регулювання генерації сонячної енергії. Залежно від отриманих значень, система може коригувати обсяги енергопостачання.

Датчики швидкості та напрямку вітру: дозволяють визначати швидкість вітру, яка є ключовим параметром для оцінки ефективності роботи

					ЕЛІТ 8.171.00.05.424 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

вітрогенераторів. Дані про напрямок і швидкість вітру дозволяють адаптивно керувати вітрогенераторами, щоб уникати роботи в умовах низької або надмірно високої швидкості, що може бути небезпечно для установки.

Датчики температури повітря: температурні показники враховуються при оцінці ефективності сонячних панелей, оскільки їхня продуктивність залежить від температури. При високих температурах ефективність панелей може знижуватися, тому система використовує ці дані для корекції прогнозів та розподілу енергії.

Сенсори потужності: ці датчики контролюють потужність, яка виробляється кожним джерелом енергії (сонячні панелі та вітрогенератори). Це допомагає оцінити ефективність роботи кожного компонента системи у реальному часі, а також планувати енергоспоживання.

Датчики стану акумуляторів: відстежують рівень зарядки та стан акумуляторних блоків, що забезпечує своєчасне управління процесом зарядки та розрядки. Це дозволяє уникати перевантаження або надмірного розряду акумуляторів, продовжуючи термін їх служби.

Модуль управління енергопотоками є центральним компонентом системи, що відповідає за оптимальний розподіл енергії між джерелами генерації (сонячні панелі та вітрогенератори) і накопичувальними системами (акумуляторними блоками). Використовуючи прогнозне управління та нечітку логіку, модуль забезпечує адаптивне керування енергопотоками, яке дозволяє збалансувати енергетичні ресурси відповідно адаптуючи до змінних умов зовнішнього середовища та поточних потреб.

Основні функції модуля управління енергопотоками полягають в аналізі вхідних даних, тобто модуль отримує та аналізує дані від модуля збору даних, а саме сенсорів про поточну інсоляцію, швидкість вітру, температуру повітря, рівень зарядки акумуляторів та потреби споживачів. На основі цих даних визначаються оптимальні параметри для роботи гібридної системи.

На основі отриманих даних та поєднання декількох типів адаптивних систем, кожна з яких базується на певному методі, виходить, що частина яка відповідає за прогнозне управління дозволяє знизити ризики енергетичного дефіциту або надлишку шляхом адаптації системи до мінливих погодних умов, зменшуючи втрати енергії на передачу або зберігання.

Частина, яка відповідає за адаптивне управління на основі нечіткої логіки використовується для прийняття рішень щодо поточних пріоритетів у розподілі

					ЕЛІТ 8.171.00.05.424 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

енергії між сонячними панелями та вітрогенераторами, особливо в умовах високої невизначеності (зміни погодних умов у реальному часі).

Нечітка логіка дозволяє встановлювати рівні пріоритетів для різних джерел енергії залежно від поточної інсоляції та швидкості вітру. Наприклад, якщо швидкість вітру знижується, система автоматично переходить на сонячну генерацію за умови достатньої інсоляції.

Модуль обробки даних відповідає за аналіз, зберігання та обробку історичних і поточних даних від датчиків, прогнозних моделей і зовнішніх джерел інформації. Цей модуль використовує алгоритми машинного навчання та аналітичні методи, на основі яких, модуль вчиться і вдосконалює свої алгоритми по підлаштуванню до навколишнього середовища та внутрішніх параметрів системи. Основною метою модуля є забезпечення ефективності та стабільної роботи енергосистеми завдяки адаптивному управлінню на основі отриманих даних.

Модуль збирає історичні дані про погодні умови, рівень виробництва та споживання енергії, а також про стан акумуляторів. Ці дані зберігаються у базі даних і використовуються для довгострокового аналізу та покращення моделей прогнозування.

Зібрані дані дозволяють створити більш точні прогнози і враховувати сезонні та кліматичні особливості, характерні для конкретного регіону.

Щоб мінімізувати похибки, модуль виконує фільтрацію та валідацію отриманих даних. Використовуються алгоритми для визначення та відсіювання аномальних значень, які можуть виникати через несправність сенсорів або зовнішні перешкоди.

Це підвищує точність подальших етапів обробки, забезпечуючи коректну роботу системи навіть при наявності шумів або неточностей у вхідних даних.

Модуль моніторингу та візуалізації виконує функцію забезпечення зручного доступу до інформації про роботу системи, даючи можливість операторам контролювати стан енергоустановки в режимі реального часу. Цей модуль надає інтерфейс для відображення поточних параметрів системи, історичних даних і прогнозів, а також дозволяє здійснювати аналіз ефективності роботи системи. Завдяки візуалізації даних оператори отримують можливість швидко реагувати на зміни та оптимізувати роботу гібридної енергосистеми.

Модуль відображає ключові показники роботи системи, такі як потужність сонячних панелей та вітрогенераторів, рівень зарядки акумуляторів, обсяг енергії, що споживається і генерується, а також поточні погодні умови.

					ЕЛІТ 8.171.00.05.424 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

Усі дані оновлюються в режимі реального часу, дозволяючи операторам контролювати роботу системи та виявляти можливі відхилення від нормальних показників.

Модуль візуалізації також відображає короткострокові прогнози виробництва та споживання енергії на основі прогнозу погоди, отриманого з модуля обробки даних.

Прогнози дозволяють операторам заздалегідь підготуватися до пікових або критичних умов, зокрема високих навантажень чи змін у погоді, які можуть вплинути на ефективність роботи системи.

Попередження про можливі аномалії або несправності сенсорів надсилаються операторам у разі виявлення відхилень, що потребує швидкої реакції.

Також для повноцінного функціонування схеми потрібні такі елементи як інвертори для кожного із джерел енергії, які дадуть змогу отримувати електроенергію в тих значеннях, на які розрахована система.

Не менш важливою частиною системи є блок акумуляторних батарей, який накопичує надлишки енергії, а також частково або повністю закриває недостатність енергопостачання при низьких генераціях системи.

Узагальнюючи, в систему входять такі частини :

- Джерела енергії
- Акумуляторні батареї
- Модуль управління енергопотоками
- Модуль обробки даних
- Модуль моніторингу та візуалізації
- Контролери заряду/розряду акумуляторів:
- Зв'язок між модулями(загальна шина)

Тож, поєднавши усі частини, можна побудувати структурну схему, яка наведена на рисунку 1.10.

1.3.2 Розроблення функціональної схеми електронної системи, що проєктується. Для створення гібридної системи, що поєднує сонячні панелі та вітрогенератори з адаптивним управлінням, необхідно встановити чіткі вимоги, що забезпечать стабільну роботу системи в умовах мінливого клімату України. На основі аналізу кліматичних особливостей і характеристик вибраного обладнання, в цій частині розглядаються ключові вимоги до системи та базовий алгоритм її функціонування.

					ЕЛІТ 8.171.00.05.424 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38



Рисунок 1.10 – Схема електрична структурна

Гібридна енергосистема повинна забезпечувати стабільність енергопостачання та оптимально розподіляти енергетичні ресурси в умовах змінних параметрів навколишнього середовища. Оскільки сонячні панелі та вітрогенератори мають залежність від погодних умов, система повинна автоматично адаптуватися до рівня інсоляції, швидкості вітру та інших зовнішніх факторів. На основі цього сформульовано такі ключові вимоги:

Система має забезпечувати безперебійне постачання електроенергії незалежно від змін погодних умов, таких як коливання інсоляції або швидкості вітру.

Для стабілізації постачання енергії планується інтеграція акумуляторних блоків, які будуть накопичувати надлишкову енергію для використання у періоди низької генерації. Це дозволить забезпечити надійність роботи системи навіть при тимчасовому дефіциті ресурсів.

Система має здатність в реальному часі аналізувати поточні погодні умови і параметри роботи, щоб адаптувати потужність генерації та використання енергії. Для цього передбачено модулі прогнозного управління (Model Predictive Control, MPC) та алгоритми нечіткої логіки, які забезпечують автоматичне прийняття рішень щодо розподілу енергії.

Модуль управління забезпечує швидке перемикання між джерелами енергії (сонячними панелями, вітрогенераторами та акумуляторами) відповідно до поточних умов, наприклад, під час підвищення інсоляції збільшується використання сонячних панелей, а при зростанні швидкості вітру — вітрогенераторів.

Враховуючи сезонні та добові коливання потужності сонячної та вітрової енергетики, система повинна ефективно розподіляти ресурси для максимізації продуктивності та мінімізації втрат енергії.

Використання акумуляторів дозволить накопичувати енергію в пікові періоди генерації, знижуючи потребу в підключенні до зовнішньої мережі під час пікових навантажень.

Урахування цих вимог обумовлене особливостями клімату України, де рівень інсоляції та швидкість вітру мають суттєві сезонні та добові коливання. Відтак, гібридна система, яка базується на використанні лише одного джерела відновлюваної енергії, не здатна забезпечити стабільне постачання електроенергії в умовах таких змін. Поєднання сонячних панелей, вітрогенераторів та акумуляторів дає змогу максимізувати виробництво енергії за рахунок ефективного використання ресурсів у різних умовах і зменшити залежність від зовнішніх мереж.

Алгоритм функціонування гібридної системи побудований так, щоб забезпечити автоматичне управління енергопотоками на основі поточних даних від сенсорів і прогнозу зовнішніх умов. Основні етапи алгоритму охоплюють аналіз вхідних даних, прогнозування, адаптивний розподіл енергопотоків і управління акумуляторами:

Система збирає дані від сенсорів інсоляції, швидкості вітру, температури повітря та рівня заряду акумуляторів. Дані передаються в модуль обробки для аналізу в режимі реального часу.

На основі даних від сенсорів система виконує короткострокове прогнозування рівня генерації енергії від сонячних панелей та вітрогенераторів на 1-3 години вперед.

Прогнозування дозволяє заздалегідь оцінити очікуваний рівень генерації та споживання електроенергії, забезпечуючи оптимальний розподіл потужності між джерелами. Наприклад, якщо прогнозується зниження інсоляції, система збільшує обсяг енергії, що зберігається в акумуляторах.

Алгоритм розподілу енергії базується на методах нечіткої логіки, що дозволяє приймати рішення на основі умовних правил. Наприклад, якщо

					ЕЛІТ 8.171.00.05.424 ПЗ	Арк.
						40
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

швидкість вітру знижується, система збільшує частку енергії від сонячних панелей і, за потреби, підключає акумулятори.

Модуль управління перемикає джерела енергії залежно від поточних значень інсоляції, швидкості вітру та рівня заряду акумуляторів, забезпечуючи постійне постачання енергії.

Алгоритм автоматично регулює процес зарядки та розрядки акумуляторів, щоб уникати надмірного розряду або перевантаження, що продовжує їхній термін служби.

Акумулятори накопичують надлишкову енергію у періоди пікової генерації, а під час дефіциту енергії забезпечують додаткове живлення для підтримки стабільності системи.

Система надсилає попередження про можливі аномалії чи несправності, виявлені на основі аналізу даних. При критичному рівні заряду або несприятливих умовах система може автоматично перейти у режим економного використання енергії.

Алгоритм забезпечує надійне функціонування системи в умовах мінливого клімату, що особливо важливо для України, де зміна погоди може суттєво впливати на потужність генерації. Як і було вказано раніше, поєднання прогнозного управління та нечіткої логіки дозволяє адаптувати систему до непередбачуваних змін умов у реальному часі, зберігаючи стабільність постачання енергії та ефективно розподіляючи ресурси. Управління акумуляторами дозволяє максимально використовувати надлишкову енергію та забезпечити резервне живлення у періоди низької генерації, знижуючи залежність від зовнішніх джерел енергії.

Функціональна схема описує детальну взаємодію між компонентами гібридної енергетичної системи, визначаючи конкретні функції кожного елемента та їхнє взаємне узгодження для забезпечення оптимальної роботи системи. Така схема є логічним продовженням структурної схеми, і вона дозволяє детально розглянути процеси, що забезпечують адаптивне управління, моніторинг і обробку даних.

Датчики інсоляції: вимірюють рівень сонячного випромінювання, необхідний для розрахунку поточної потужності сонячних панелей та прогнозування генерації.

Датчики швидкості вітру та напрямку: дані використовуються для оцінки поточної генерації вітрогенераторів та прогнозування її змін у найближчі години.

					ЕЛІТ 8.171.00.05.424 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

Датчики температури та вологості: контролюють температуру повітря і рівень вологості для кращої оцінки умов роботи панелей, оскільки підвищена температура може впливати на ефективність їх роботи.

Інвертор сонячних панелей: перетворює постійний струм, який виробляється сонячними панелями, у змінний струм, що подається на загальну шину живлення системи.

Інвертор вітрогенераторів: виконує аналогічну функцію для вітрових турбін, перетворюючи вироблений постійний струм у змінний для сумісності з іншими джерелами енергії.

Контролери заряду/розряду акумуляторів здійснюють управління процесами зарядки та розрядки акумуляторів залежно від рівня генерації та поточного попиту. Вони забезпечують накопичення надлишкової енергії у періоди пікової генерації та подачу додаткової енергії у випадках її дефіциту.

Модуль управління енергопотоками включає в себе алгоритми прогнозного управління (MPC) для короткострокового прогнозування та нечіткої логіки для адаптивного розподілу енергії. Цей модуль контролює інвертори та контролери заряду/розряду, приймаючи рішення щодо оптимального розподілу енергії між джерелами.

Модуль обробки даних приймає дані від сенсорів, виконує фільтрацію та обробку цих даних, а також виконує довгостроковий аналіз і прогнозування. Наприклад, дані про інсоляцію зберігаються для подальшого покращення моделей прогнозування.

Модуль обробки оновлює налаштування системи на основі історичних даних і прогнозів погоди для адаптивного управління.

Модуль моніторингу та візуалізації відображає всі ключові параметри системи в режимі реального часу, забезпечуючи операторам можливість контролювати поточний стан генерації, рівень заряду акумуляторів і погодні умови.

Оператори отримують також сповіщення про аномалії або відхилення від нормальних умов для швидкого реагування.

Сенсори безперервно збирають дані, які надходять у модуль обробки через інтерфейс зв'язку (Modbus або CAN-шина). Модуль обробки виконує фільтрацію даних, видаляючи аномальні значення, та зберігає інформацію для довгострокового аналізу.

					ЕЛІТ 8.171.00.05.424 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

На основі оброблених даних модуль управління здійснює прогнозування на найближчий період (1-3 години) та визначає оптимальний розподіл енергії між джерелами на основі очікуваних умов.

Модуль управління передає команди контролерам інверторів і акумуляторів, адаптуючи їхню роботу до поточних і прогнозованих умов. Це дозволяє автоматично підвищувати використання сонячних панелей у періоди високої інсоляції або вітрогенераторів під час сильного вітру.

У випадках надлишкової генерації контролери заряду/розряду заряджають акумулятори, тоді як у випадках дефіциту енергії акумулятори автоматично підключаються для покриття потреби.

Усі отримані дані та показники передаються в модуль моніторингу, який відображає поточний стан роботи системи та надсилає сповіщення у разі виникнення критичних ситуацій або необхідності втручання.

Функціональна схема забезпечує чітке розмежування ролей кожного компонента та логічну взаємодію між ними. Це дозволяє досягти максимальної ефективності та надійності роботи системи:

Автоматизація процесів: використання контролерів і модулів управління дозволяє автоматизувати процес розподілу енергії та управління акумуляторами, знижуючи необхідність ручного втручання.

Адаптивність до умов: модуль управління забезпечує швидке реагування на зміни погодних умов, перемикаючись між джерелами енергії залежно від прогнозу. Використання алгоритмів нечіткої логіки дозволяє враховувати неточності у вхідних даних і приймати оптимальні рішення.

Контроль і моніторинг: завдяки модулю моніторингу оператори отримують доступ до даних про роботу системи, що дозволяє своєчасно виявляти відхилення та вживати необхідних заходів для забезпечення стабільності системи.

Перш ніж побудувати функціональну схему, спочатку розберемося та структуруємо, у вигляді блок-схеми, роботу нашої адаптивної системи.

Також, в пояснювальну записку слід додати алгоритм роботи модулю, що розробляється, почнемо з його опису.

Модуль візуалізації починає свою роботу після подачі живлення на систему. Спочатку перевіряється справність усіх компонентів: чи всі датчики працюють, чи є зв'язок із дисплеєм, та чи підключені інші модулі. Якщо виявлено несправності, система повідомляє про це користувача та намагається повторно запуститися через певний час.

					ЕЛІТ 8.171.00.05.424 ПЗ	Арк.
						43
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Якщо всі компоненти працюють, система збирає дані з датчиків, таких як температура, напруга, струм, і передає їх для відображення. Паралельно модуль перевіряє стан сонячних панелей і вітрогенераторів та, якщо потрібно, коригує їхнє положення для максимально ефективної роботи. Також оцінюється рівень заряду акумулятора.

Якщо акумулятор заряджений, він може використовуватись як джерело енергії у разі недостатньої генерації від сонячних панелей і вітрогенераторів. Якщо акумулятор розряджений або виникають критичні ситуації (наприклад, перевантаження системи), модуль інформує користувача.

На завершення зібрані дані постійно оновлюються на екрані, а також передаються користувачу через Wi-Fi. Весь процес працює циклічно: система постійно збирає, обробляє і відображає нові дані, щоб забезпечити ефективний контроль і нагляд за роботою всієї системи.

Функціональна схема формує основу для детального опису принципів роботи та реалізації основних функцій одного з модулів, забезпечуючи надійну працездатність та можливість масштабування.

Після проведеного літературного огляду зазвичай складають алгоритм функціонування системи чи пристрою, який розробляється. Крім докладного опису алгоритму словами складають схему алгоритму, яку ще називають ГСА - графічне подання роботи автомата, у якому кожний з його етапів зображений геометричною фігурою, які з'єднані стрілками, що показують послідовність виконання етапів, за необхідності з поясненнями. Інколи дають ще одне означення: ГСА називають зв'язний орієнтовний граф, що містить одну початкову вершину (Початок), одну кінцеву вершину (Кінець) та довільну множину умовних та операторних вершин.

У початковий оператор, який інколи позначають A_0 не входить жодна дуга, а виходить із нього тільки одна. У кінцевий оператор A_k можуть входити одна або декілька дуг, але не виходить жодна дуга.

Оператори, які розміщені між операторами початку і кінця, можна поділити на два типи: керуючі оператори – оператори, за якими формуються вихідні керуючі сигнали, і логічні – оператори, за якими перевіряються логічні умови. Вершини керуючих операторів відображають за допомогою прямокутників, в середині яких прописують словами керуючу команду або позначають символічно великими літерами латинського алфавіту, наприклад, A_1, A_2, \dots, A_j .

					ЕЛІТ 8.171.00.05.424 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

Логічні оператори називають ще умовними. Їх вершини відображають ромбами, що містять умову, яка записана словами або символічно позначена маленькими літерами латинського алфавіту: $x_i, p_i, i = 1, 2, \dots, n$.

Керуюча вершина може мати тільки один вихід, в той же час логічна вершина має два виходи, які позначають, як правило, 0 і 1. Інколи їх заміняють словами «Ні» і «Так» відповідно. Це впливає з того, що результатом перевірки деякої логічної умови x можливі два виходи: $x = 1$ або $x = 0$.

Побудована ГСА повинна задовольняти наступним умовам:

1. Має одну початкову і одну кінцеву вершину, які не нумеруються.
2. Містить кінцеву кількість вершин, кожна з яких є або початковою, або кінцевою, або керуючою, або логічною.
3. Входи і виходи вершин з'єднуються між собою за допомогою дуг, направлених завжди від виходу до входу.
4. Кожний вихід об'єднаний тільки з одним входом.
5. Будь-який вхід об'єднується не менше ніж з одним виходом.
6. Будь-яка вершина ГСА лежить, принаймні, на одному шляху з вершини «Початок» у вершину «Кінець».
7. Один з виходів умовної вершини може бути з'єднаний з її входом, що неприпустимо для керуючої вершини.
8. В кожній умовній вершині записується логічна умова з множини логічних умов. Дозволяється в різних умовних вершинах записувати однакові логічні умови.
9. В кожній операторній вершині записується оператор, що являє собою вихідний сигнал або сукупність вихідних сигналів керуючого автомата.

Спочатку на основі аналізу мовного опису умов роботи пристрою чи системи, що проектується, формують змістовну граф-схему алгоритму:

Спочатку зображується початкова вершина ГСА. Після неї одержують першу операторну вершину, яка є, як правило, оператором введення початкових даних. Потім викреслюються наступні вершини, які є як керуючими, так і логічними операторами, і усі зв'язки між ними. Останньою відображається кінцева вершина. У вершинах проставляються змістовні означення команд чи умови, які перевіряються.

Сформована змістовна ГСА для системи, що проектується подана на рисунку 1.11.

Змістовна схема алгоритму (ГСА) відрізняється наочністю та зручністю подання алгоритму функціонування, але для перевірки правильності складеної схеми

					ЕЛІТ 8.171.00.05.424 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

алгоритму здійснюється перехід до символної ГСА шляхом заміни змістовних операторів символами. Потім виконується перехід до МСА, аналізуючи яку, можна або підтвердити правильність складання ГСА, або виявити помилки, які на жаль трапляються нерідко.

МСА (матрична схема алгоритму) - це квадратна матриця, рядки якої позначені символами керуючих операторів від нульового до передостаннього, а стовпці - символами операторів від першого до останнього. Елементами α_{ij} матриці, де i приймає значення $0, 1, 2, \dots, k-1$, $j = 1, 2, \dots, k$ є логічні функції переходу від операторів, що відповідають рядку до операторів, що відповідають стовбцям:

	A_1	A_2	...	...	A_k
A_0	α_{01}	α_{02}	...	...	α_{0k}
A_1	α_{11}	α_{12}	...	...	α_{1k}
...
...
A_{k-1}	$\alpha_{(k-1)1}$	$\alpha_{(k-1)2}$	...	...	$\alpha_{(k-1)k}$

Елементи $\alpha_{ij} \in \{0, 1\}$ матриці, де i приймає значення $i = 0, 1, 2, \dots, k-1$, $j = 1, 2, \dots, k$ є кон'юнкціями однієї або декількох змінних із запереченням або без них, що відображають значення відповідної кількості логічних операторів.

Елементи $\alpha_{ij} \in \{0, 1\}$, що задають переходи від операторів рядка до операторів стовпця, називаються логічними функціями переходів.

Якщо функція переходу α_{ij} , $i = 0, 1, 2, \dots, k-1$, $j = 1, 2, \dots, k$ тотожно дорівнює нулю, то це означає, що відповідна їй пара операторів A_i і A_j ніколи не виконується один за одним. Для простоти заповнення МСА нульові функції переходів в матрицю можуть не заноситися.

Якщо логічна функція переходу тотожно дорівнює одиниці, то це означає, що після оператора A_i завжди виконується оператор A_j . У матриці в цьому випадку ставиться одиниця.

Якщо який-небудь керуючий оператор A_j виконується після керуючого оператора A_i при певних значеннях логічних умов, то у відповідній клітині МСА (на перетині рядка з оператором A_i і стовпця з оператором A_j) проставляється кон'юнкція логічних умов при певних значеннях яких здійснюється перехід. При цьому символ логічної умови записується в кон'юнкцію в прямому вигляді x_i ,

										Арк.
										46
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ЕЛІТ 8.171.00.05.424 ПЗ					

якщо перехід здійснюється при одиничному значенні, і в інверсному \bar{x}_i , якщо перехід здійснюється при нульовому значенні. Якщо перехід від оператора A_i до оператора A_j виконується при декількох можливих комбінаціях значень логічних умов, то відповідна функція переходу є диз'юнкцією кон'юнкцій логічних умов і їх заперечень, кожна з яких відповідає одній з логічних умов переходів від оператора A_i до оператора A_j .

Побудовану матрицю необхідно перевірити на несуперечливість. Повинні виконуватися дві умови:

Логічний добуток двох різних функцій переходу в рядку завжди має дорівнювати нулю:

$$\alpha_{ij} \wedge \alpha_{il} = 0;$$

Логічна сума всіх k - операторів в рядку має дорівнювати одиниці:

$$\bigvee_{j=1}^k \alpha_{ij} = 1.$$

Перша властивість виходить із того, що після виконання будь-якого керуючого оператора A_i алгоритм може перейти до виконання тільки одного оператора A_j і не більше. Тому якщо одна функція переходу $\alpha_{ij}=1$, то будь-яка інша повинна дорівнювати 0.

Друга властивість визначається умовою, що після виконання алгоритмом оператора A_i обов'язково повинен виконатись хоча б один із операторів $A_j, j = 1, 2, \dots, k$.

Алгоритм роботи адаптивної системи представлено на рисунку 1.12, а алгоритм роботи модулю представлено на рисунку 1.13, далі, на основі функціональної схеми, зображеної на рисунку 1.14 буде розроблено принципову схему з конкретним описом електричних з'єднань між елементами для остаточного інтегрування компонентів у робочу систему.

1.3.3 Розроблення та розрахунок принципових електричних схем вузлів у блоків електронної системи, що проєктується. Адаптивна система на основі альтернативних джерел енергетики має складну структуру у вигляді декількох модулів, поєднаних між собою не просто електричним з'єднанням, а й передачею важливих даних для коректного функціонування системи. Звісно, кожен модуль важливий, але в першу чергу оператор зверне увагу саме на модуль моніторингу та візуалізації, саме тому розглянемо його детальніше і розробимо для нього принципову схему.

Взагалі, модуль служить саме для зручності управління системою, оскільки завдяки оперативному доступу до інформації, користувачі можуть запобігти

					ЕЛІТ 8.171.00.05.424 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

аварійним ситуаціям, а ще візуалізація параметрів системи на дисплеї дозволяє відстежувати її стан навіть тим, в кого мінімальні технічні знання.

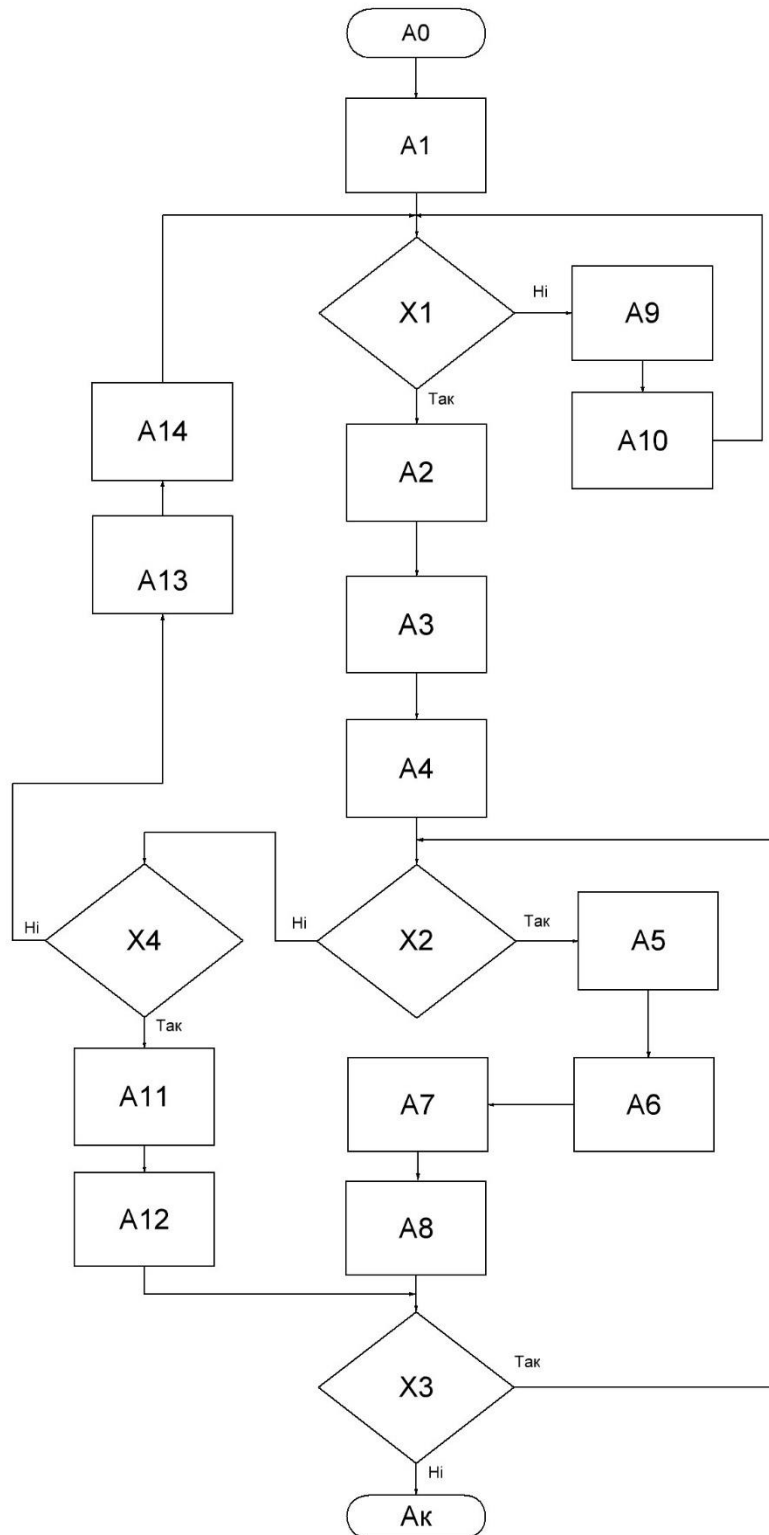


Рисунок 1.11 - Змістовна ГСА для системи

Складемо матричну схему алгоритму для одержаної ГСА, вона має вигляд:

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12	A13	A14	Ак
A0	1														
A1		x1							$\overline{x1}$						
A2			1												
A3				1											
A4					x2						$\overline{x2x4}$		$\overline{x2 \ x4}$		
A5						1									
A6							1								
A7								1							
A8					x3x2						$x3\overline{x2x4}$		$x3\overline{x2 \ x4}$		$\overline{x3}$
A9										1					
A10		x1							$\overline{x1}$						
A11												1			
A12					x3x2						$x3\overline{x2x4}$		$x3\overline{x2 \ x4}$		$\overline{x3}$
A13														1	
A14		x1							$\overline{x1}$						

Перевіримо МСА на суперечливість. Тобто перевіримо, чи виконуються для нашої МСА обидві властивості. Перша властивість для побудованої МСА очевидна. Перевіримо другу властивість.

Запишемо для рядків МСА, в яких не стоїть одиничка диз'юнкцію всіх логічних переходів рядка.

A1: $x1 \vee \overline{x1} = 1$ згідно закону виключення третього. Арифметичні одиниці маємо для рядків, що відповідають операторам A10 та A14.

$$A4: x2 \vee \overline{x2x4} \vee x1 \vee \overline{x2 \ x4} =$$

спочатку з другої та третьої кон'юнкції згідно закону дистрибутивності винесемо спільний множник : $= x2 \vee \overline{x2} (x4 \vee \overline{x4}) =$

згідно закону виключеного третього диз'юнкція змінної з її запереченням дорівнює одиниці, тому маємо: $x2 \vee \overline{x2} * 1 =$

згідно властивості кон'юнкції множення змінної на одиницю не змінює її значення, тому: $x2 \vee \overline{x2} = 1$

знову записуємо закон виключеного третього. В результаті маємо одиничку.

$$A8: x3x2 \vee x3\overline{x2x4} \vee x3\overline{x2 \ x4} \vee \overline{x3} =$$

з трьох перших кон'юнкцій згідно дистрибутивного закону виносимо спільну змінну $x3$: $= x3(x2 \vee \overline{x2x4} \vee \overline{x2 \ x4}) \vee \overline{x3} =$ вираз, отриманий в дужках відповідає (схожий) для функції переходів для A4, тому :

$$= x3(x2 \vee \overline{x2}(x4 \vee \overline{x4})) \vee \overline{x3} = x3(x2 \vee \overline{x2} * 1) \vee \overline{x3} = x3(x2 \vee \overline{x2}) \vee \overline{x3} = x3 \vee \overline{x3} = 1.$$

Аналогічно виглядає функція переходів для оператора A12.

Таким чином, ми довели, що для даної МСА для всіх рядків виконується друга властивість. Ця властивість відповідає за зв'язність ГСА, що й доведено.

					ЕЛІТ 8.171.00.05.424 ПЗ					Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

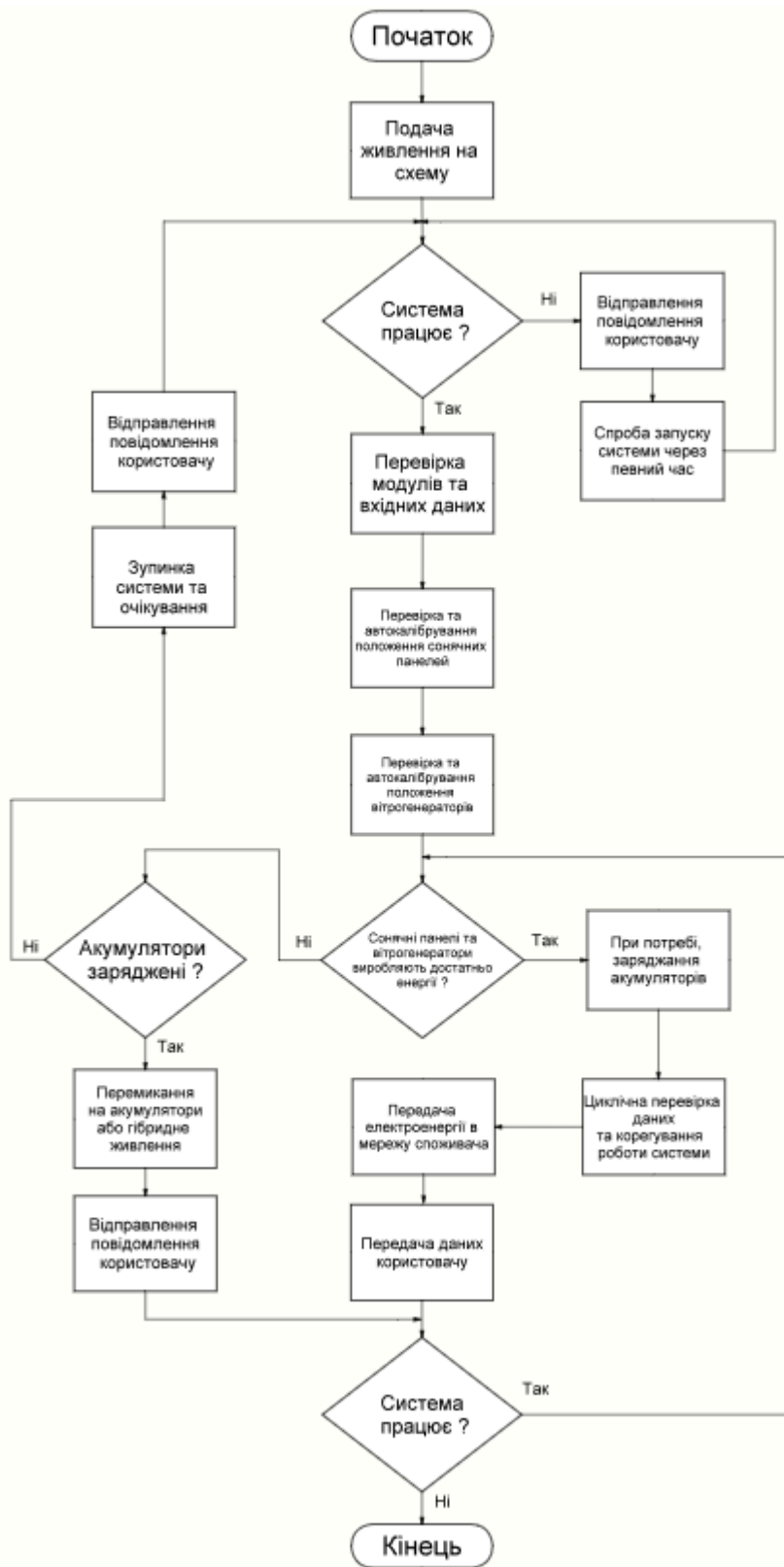


Рисунок 1.12 - Алгоритм роботи адаптивної системи

Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата



Рисунок 1.13 - Алгоритм роботи візуалізаційного модуля

Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата



Рисунок 1.14 - Схема електрична функціональна

Для початку, слід зазначити, що в таких складних енергетичних системах надзвичайно важливо забезпечити контроль за її станом. Модуль візуалізації представляє користувачу такі дані, як генерована, сонячними панелями та вітрогенераторами, на даний момент енергія, рівень заряду акумуляторів, споживання енергії. Також оператор зможе слідкувати за прогнозуванням та плануванням роботи адаптивної системи, не кажучи про діагностику несправностей, таких як критичний рівень заряду акумуляторів або аномалії, виявлення перевантаження та несправності компонентів.

Для роботи модуля, що візуалізує, його потрібно збирати дані, а для цього потрібні датчики для вимірювання електроенергії та температури, а також передача інформації через центральний контролер UART з інших модулів, які в свою чергу обмінюються між собою і також беруть інформацію зі своїх датчиків та сенсорів.

Також після отримання даних, їх якось потрібно обробляти, звичайно з таким справляються мікроконтролери, вони фільтрують дані, усувають шум, перевіряють на відповідність нормальним діапазоном, а також формують аварійні сигнали у разі виявлення різного роду відхилень від норми.

Потім на основі зібраних даних формується сигнал, який потрібно якось відобразити для користувача, саме для цього потрібен дисплей. Екран буде відображати основні параметри, потужність генерації, рівень заряду акумуляторів та споживання енергії, також для більшої надійності було б непогано продублювати три основних сигнали, як на екрані, так і окремими світлодіодами,

					ЕЛІТ 8.171.00.05.424 ПЗ	Арк.
						52
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

пропонується використати три кольорових індикатори для можливих режимів роботи. Червоний – критична ситуація(перегрів, низький заряд); жовтий – активний резервний режим(енергія береться з акумуляторів), і зелений – система працює в нормальному режимі.

Розробка візуалізуючого модуля потребує ретельного вибору компонентів, які забезпечать надійну, енергоефективну та функціональну роботу. Давайте спробуємо підібрати найпідходящі варіанти для схеми.

Для початку розберемося з мікроконтролером, на власному досвіді, та з оброблених джерел інформації, найкращим вибором буде STM32F103C8T6 – Atmega328P. Забезпечує високу продуктивність при низькому споживанні енергії, а вбудована підтримка протоколів I2C і UART допоможе для взаємодії з дисплеєм та сенсорами. Також великий обсяг пам'яті (64 кБ Flash, 20 кБ RAM), що дозволяє працювати зі складними алгоритмами і підтримка низьковольтного живлення (3.3 В), що може бути сумісно з іншими компонентами. Ще трішки характеристик - Вхідна напруга (рекомендована): 7-12В; Цифрових входів / виходів: 14 (з яких 6 можуть бути використані як ШІМ); Аналогових входів: 8; Сила струму на входах / виходах: 40 мА. Схема пінів мікроконтролера наведена на рисунку 1.15.

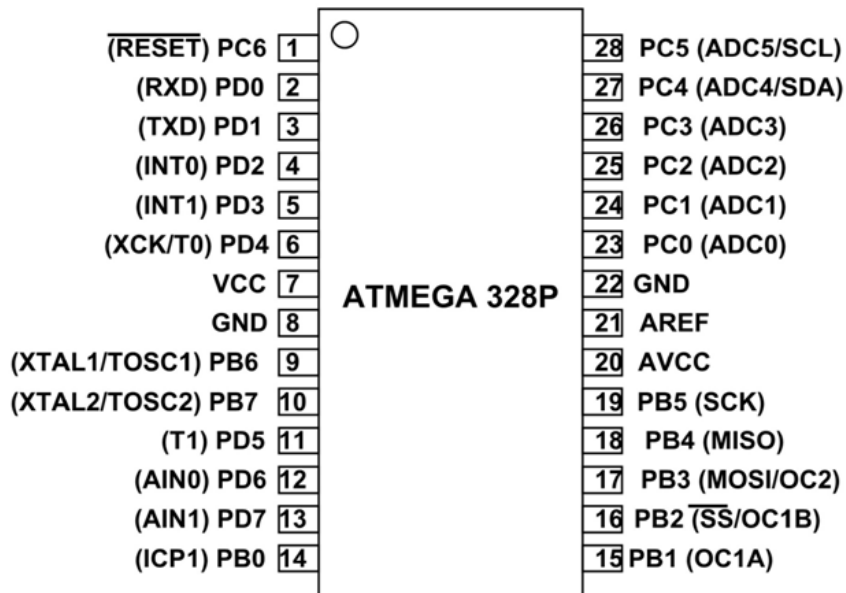


Рисунок 1.15 – Схема виводів мікроконтролера ATMEGA 328P

Що до дисплею, то тут було вирішено відійти від застарілих сегментних дисплеїв, а застосувати сучасний ssd1306 – oled з роздільною здатністю 128x64 пікселі, що є необхідним мінімумом для чіткого та якісного відображення

інформації (рівень заряду, температуру, поточну потужність). OLED-технологія забезпечує чітке відображення при низькому енергоспоживанні (~20 мА). Інтерфейс I2C мінімізує кількість з'єднань (лише SDA, SCL), що спрощує схему. Розмір дисплею складає 0,96 дюйма, а кольори, що використовуються в ньому – жовтий та синій. Робоча температура дисплею складає діапазон від -20°C до +70°C. В дисплеї присутні такі контакти – VCC – напруга живлення (3,3В-5В), GND – спільний, NC – не використовується, DIN – вхід даних, CLK – вхід тактових імпульсів, CS – вибір кристалу, активний низький рівень, D/C – вибір команди/дані, низький рівень для команд, високий для даних, RES – сигнал збросу, активний низький рівень. Інтерфейс для підключення 3-х провідний SPI, або 4-х провідний I2C. Дисплей зображено на рисунку 1.16.

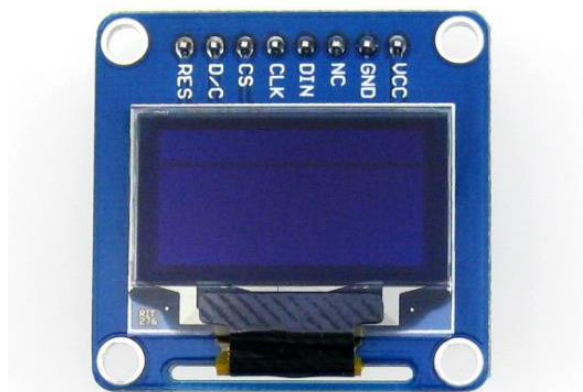


Рисунок 1.16 – Дисплей ssd1306

Для поточних вимірювань і подальшого виведення на екран потрібні датчики, почнемо з датчика струму, попередньо дослідивши і порівнявши потреби та пропозиції на ринку, було обрано INA219, який має високу точність вимірювань струму (до 1%) і напруги, а також має інтерфейс I2C, що спрощує підключення до мікроконтролера. Також слід віднести до переваг широкий діапазон струмів (± 3.2 А), що підходить для моніторингу гібридних систем із змінним навантаженням. Ще розглядався датчик ACS712, але він має меншу точність.

Ще в схемі нашого модулю буде присутній вайфай модуль, для оперативного реагування і зручного моніторингу даних, пропонується

					ЕЛІТ 8.171.00.05.424 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

використати розповсюджений, і проведений на роботі з Arduino – ESP 2866, з такими характеристиками :

- RISC процесор Tensilica L106 з тактовою частотою 160 МГц
- Максимальний обсяг зовнішньої Flash – пам'яті програм до 16 Мбайт
- Частота зовнішнього тактового резонатора від 24МГц до 52 МГц
- Вбудований високочастотний 2,4 ГГц приймально-передавач з підтримкою стандартів IEEE802.11 b/g/n
- Вбудований стек протоколів TCP / IP і повна підтримка протоколу 802.11b / g / n WLAN MAC
- Доступні для програмування периферійні інтерфейси GPIO, SDIO, SPI, HSPI, I2C, I2S, UART, PWM, IRDA, ADC.

Також для нього знадобиться своя прошивка, яка буде наведена в наступному розділі. Сам модуль зображений на рисунку 1.17.

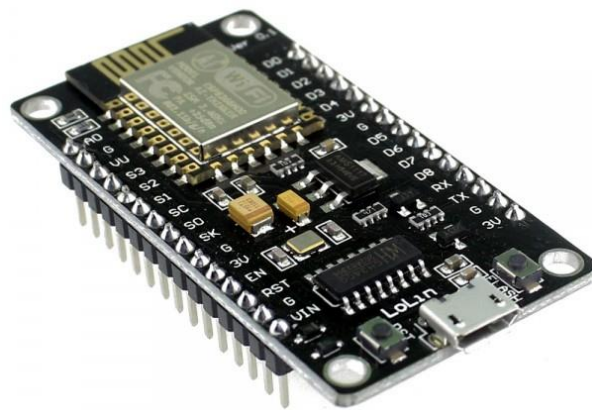


Рисунок 1.17 – Wi-Fi модуль ESP8266

Далі датчик температури, доволі розповсюджений DS18B20, який обирають за високу точність вимірювання температури ($\pm 0.5^{\circ}\text{C}$), датчики вже відкалібровані із заводу, можна підключати по довгим проводам, а також простий протокол 1-Wire, що дозволяє підключити кілька датчиків до одного порту, а також має непогану завадостійкість. Діапазон робочих температур (-55°C до $+125^{\circ}\text{C}$) підходить для моніторингу компонентів, які можуть нагріватися. Детальніше ознайомитися з типовою схемою підключення даного датчика можна на рисунку 1.18. Альтернативно розглядався варіант: LM35, але він складніший у підключенні.

					ЕЛІТ 8.171.00.05.424 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55

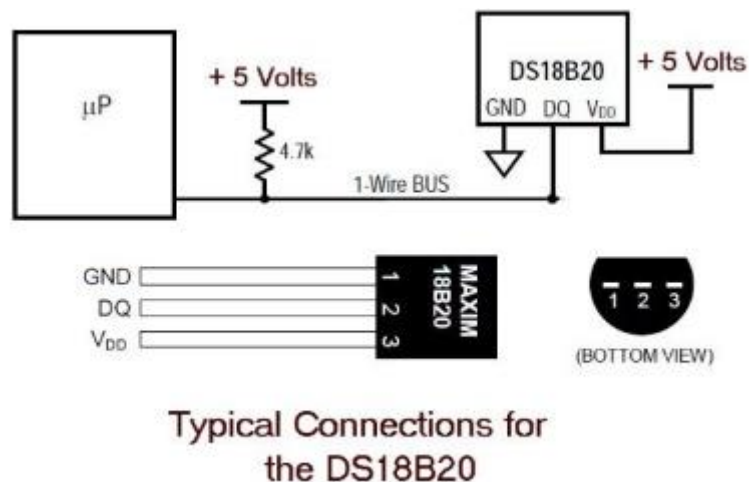


Рисунок 1.18 Типова схема підключення DS18B20

Не менш важливою частиною схеми, так би мовити живлячою частиною є стабілізатори напруги, саме завдяки їм будуть працювати мікроконтролер, дисплей та сенсори. Перший претендент - LM7805, що забезпечує стабільне 5 В живлення для мікроконтролера та інших компонентів із високою надійністю. Другий - AMS1117, необхідний для забезпечення живлення OLED-дисплея та сенсорів, які працюють від 3.3 В. Обидва стабілізатори доступні, прості в інтеграції та мають достатню потужність (до 1 А). Можна було б вибрати й інші стабілізатори, але в цих відносно низький коефіцієнт нагріву.

До стабілізаторів також слід додати конденсатори для фільтрації їх живлення, пропонується поставити 10 мкФ на вхід, це зменшить високочастотні перешкоди, а на вихід 100 мкФ + 0.1 мкФ, це забезпечить стабільність вихідної напруги.

Як раніше вже описувалось, про дублюючий сигнал трьох світлодіодів, що відображають активний режим роботи системи, потрібні зелений, жовтий та червоний світлодіоди, взагалі підійдуть майже будь-які, але за умови додання до них резисторів на 150-330 Ом, що будуть обмежувати струм, захищаючи світлодіоди від пошкоджень.

Ще для роботи схеми знадобиться компонент, який забезпечить достатній запас напруги для стабілізатора LM7805. Саме тому було вирішено використати LM317, який буде брати енергію напругу з силової лінії нашої системи, а на всякий випадок, в схему модулю буде вмонтовано резервне джерело живлення, яке буде вмикатися при втраті основного, за допомогою двох діодів Шоттки, які будуть стояти на початку схеми живлення, одразу за стабілізатором LM7805. Також слід вказати, що резервний акумулятор буде стояти разом з платою

					ЕЛІТ 8.171.00.05.424 ПЗ	Арк.
						56
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

зарядки, наприклад TP4056, і підвищувачем напруги до 5 В, оскільки акумулятор буде використовуватися звичайний Li-ion 18650 з робочою напругою до 4.2 В. Взагалі, усі обрані компоненти майбутньої схеми забезпечують оптимальне поєднання продуктивності, енергоспоживання, доступності та простоти інтеграції. Вони гарантують надійну роботу модуля моніторингу та візуалізації навіть у складних умовах, таких як коливання навантаження чи екстремальні температури.

Перед тим, як почати розробляти саму принципову схему, потрібно розібратися з алгоритмом роботи і що куди під'єднувати. Напруга 12 вольт подається з стабілізатора LM317 на вхід стабілізатора LM7805, який знижує її до 5 В. Ця напруга забезпечує живлення мікроконтролера та інших компонентів, які працюють від 5 В. Далі стабілізатор AMS1117 отримує 5 В від LM7805 і знижує напругу до 3.3 В, необхідних для OLED-дисплея, датчика струму (INA219) і датчика температури (DS18B20). Для забезпечення стабільності роботи компонентів використовуються конденсатори 10 мкФ на вході LM7805 знижує шум. 100 мкФ і 0.1 мкФ на виході LM7805 усувають коливання напруги, аналогічні конденсатори застосовуються для AMS1117.

І схема резервного живлення, вихід якої, паралельно з виходом стабілізатора LM7805 з'єднуються через діоди Шоттки. Усі компоненти підключені до спільної "землі" і забезпечуючи стабільну роботу схеми.

Мікроконтролер Arduino є центральним елементом схеми. Після увімкнення мікроконтролер налаштовує інтерфейси I2C для взаємодії з OLED-дисплеєм і датчиком струму (INA219), а також 1-Wire для роботи з датчиком температури (DS18B20). Датчик струму (INA219) через інтерфейс I2C передає мікроконтролеру значення напруги та струму.

Дані використовуються для розрахунку потужності генерації або споживання: $P=U \times I$. Наприклад, якщо $U=12\text{В}$ і $I=2\text{А}$, потужність становить $P=24\text{Вт}$.

Датчик температури (DS18B20) через 1-Wire передає температуру, яка використовується для моніторингу акумуляторів або інших компонентів системи. Мікроконтролер перевіряє отримані значення на відповідність нормальним діапазнам:

Рівень заряду:

<20%: аварійний стан.

20-80%: резервний режим.

80%: нормальний режим.

Температура:

					ЕЛІТ 8.171.00.05.424 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57

60°C: перегрів.

0-60°C: нормальний стан.

GPIO мікроконтролера управляють світлодіодами: Червоний: включається при аварійному стані (низький заряд, перегрів). Жовтий: сигналізує про активний резервний режим. Зелений: свідчить про стабільну роботу.

Дисплей через I2C отримує текстові дані для виведення, наприклад:

Генерація: 24 Вт

Заряд: 75 %

Температура: 35 °C

Стан: Стабільний

Датчик струму (INA219) підключений до силової лінії системи через порти VIN+ і VIN-, він вимірює напругу та струм, перетворюючи їх у цифровий формат. Підключення через I2C забезпечує швидку передачу даних на мікроконтролер.

Датчик температури (DS18B20) отримує живлення від 3.3 В, а дані передає через лінію DATA. Використання підтягувального резистора (4.7 кОм) стабілізує сигнал.

Червоний, жовтий і зелений світлодіоди підключені до GPIO через резистори (150 Ом), що обмежують струм.

Вмикаються або вимикаються мікроконтролером залежно від стану системи.

OLED-дисплей відображає дані про генерацію, заряд акумуляторів, температуру та загальний стан системи. Інтерфейс I2C дозволяє мінімізувати кількість з'єднань.

Взаємодія з іншими модулями являє собою передачу даних через UART: У разі аварійного стану (низький заряд, перегрів) мікроконтролер надсилає сигнали через UART до центрального контролера для активації резервного живлення. Також модуль може отримувати команди для зміни режиму роботи або перезапуску.

Приклад роботи

Ситуація: Генерація енергії перевищує споживання.

Мікроконтролер отримує від INA219 дані: $U=12\text{В}$, $I=1.5\text{А}$

Розраховує потужність: $P=18\text{Вт}$

Виводить на дисплей: "Генерація енергії: 18 Вт".

Вмикає зелений світлодіод.

Ситуація: Заряд акумулятора впав до 10%.

Мікроконтролер визначає критичний рівень заряду.

					ЕЛІТ 8.171.00.05.424 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		58

Виводить на дисплей: "Низький заряд! Активовано економний режим".

Вмикає червоний світлодіод.

Надсилає UART-сигнал до центрального контролера.

Стосовно принципу роботи ми вже розібрались, то ж враховуючи все вище написане, а також додаткові пошуки інформації по правильному підключенню та налаштуванню системи, виходить принципова схема, зображена на рисунку 1.19.

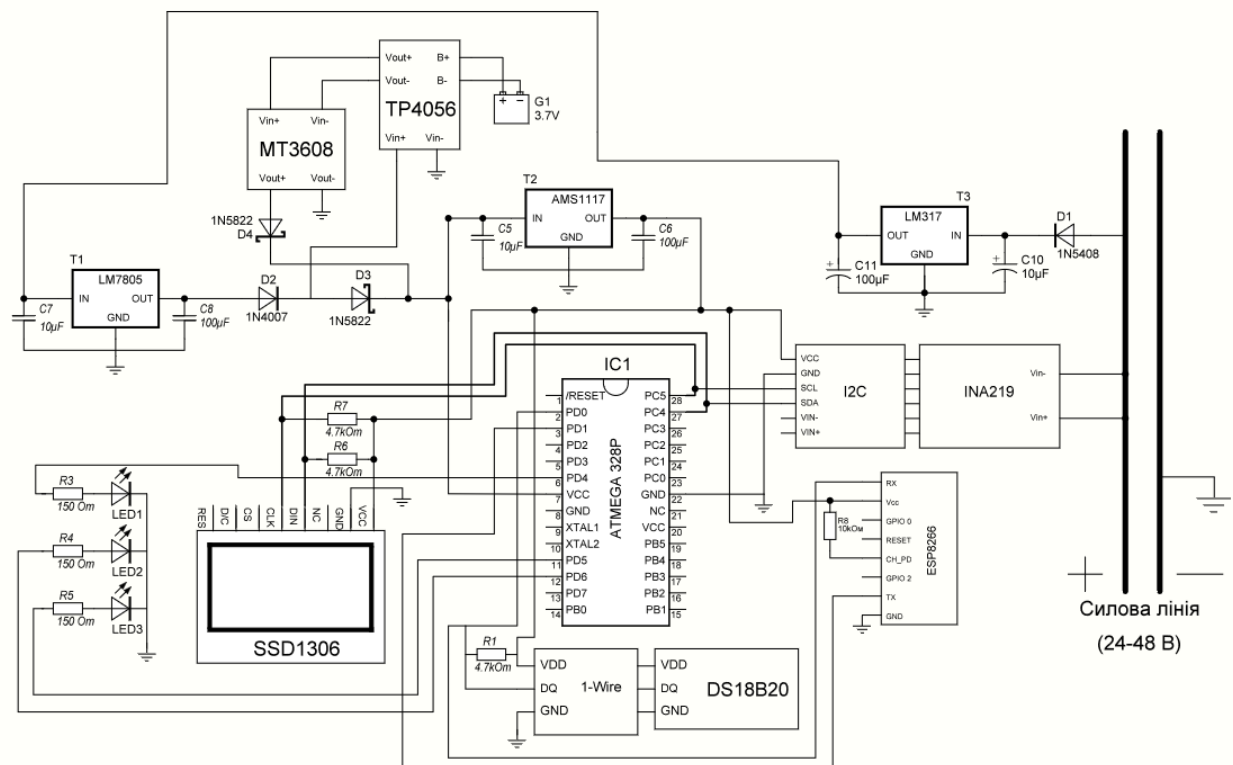


Рисунок 1.19 - Схема електрична принципова

Слід вказати, що в схемі використовується багато підтягувальних резисторів різних потенціалів для узгодження сигналів на датчиках, модулях і дисплеї.

1.3.4 Розроблення програмного забезпечення електронної системи, що проєктується. Програмне забезпечення (ПЗ) є важливим елементом роботи електронної системи моніторингу та візуалізації. Воно забезпечує збір, обробку, виведення даних і управління компонентами. У цьому розділі розглянемо основні аспекти розробки ПЗ для цієї системи.

Основні завдання програмного забезпечення

Налаштування інтерфейсів I2C (для OLED-дисплея та датчика струму INA219) і 1-Wire (для датчика температури DS18B20). Ініціалізація GPIO для керування світлодіодами.

									Арк.
									59
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ЕЛІТ 8.171.00.05.424 ПЗ				

Зчитування даних із сенсорів (напруги, струму, температури) через відповідні інтерфейси.

Перевірка отриманих даних на відповідність заданим діапазонам. Розрахунок потужності, стану акумуляторів, споживання та генерації. Виявлення аномалій або аварійних ситуацій. Відображення інформації на OLED-дисплеї. Індикація стану системи за допомогою світлодіодів. Відправлення сигналів через UART або I2C на інші модулі. Активація аварійного або резервного режиму роботи.

Тепер потрібно описати, як завантажити нашу майбутню програму на мікроконтролер. Arduino Nano — один із найпоширеніших мікроконтролерів, і процес завантаження прошивки є простим завдяки інтуїтивно зрозумілому інструменту Arduino IDE. Для початку, нам потрібен сам мікроконтролер Arduino, також кабель Mini-USB: для підключення Arduino до комп'ютера ну і сам комп'ютер із встановленим Arduino IDE.

Кроки завантаження прошивки: Завантажте останню версію Arduino IDE з офіційного сайту Arduino, установіть програму, дотримуючись інструкцій на екрані. Підключіть Arduino Nano до комп'ютера за допомогою кабелю Mini-USB. Система автоматично визначить пристрій. Якщо це відбувається вперше, Windows/MacOS/Linux може запропонувати встановити драйвери. Запустіть Arduino IDE. Перейдіть до меню Інструменти > Плата і виберіть Arduino Nano. У меню Процесор виберіть правильний варіант: ATmega328P (Old Bootloader) — для старіших пристроїв.

ATmega328P — для новіших пристроїв.

У меню Порт виберіть COM-порт, до якого підключений ваш Arduino Nano.

Напишіть програму в Arduino IDE або завантажте готовий скетч (наприклад, для моніторингу датчиків).

Натисніть кнопку Перевірити (Check) для компіляції коду та перевірки помилок. Натисніть кнопку Завантажити (Upload), щоб прошити мікроконтролер: IDE компілює код і автоматично завантажує його на мікроконтролер.

Якщо все успішно, у нижній частині IDE з'явиться повідомлення Done uploading.

Алгоритм роботи ПЗ:

1. Ініціалізація компонентів.
2. Початок циклічної роботи:
 - Читання даних із сенсорів.
 - Обробка даних.

					ЕЛІТ 8.171.00.05.424 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		60

- Перевірка на аварійні стани.
- Виведення результатів на дисплей.
- Оновлення стану світлодіодів.
- Відправка сигналів через UART.

3.Повторення циклу.

Тепер напишемо код для мікроконтролера:

```
#include <Wire.h>
#include <Adafruit_SSD1306.h>
#include <Adafruit_INA219.h>
#include <OneWire.h>
#include <DallasTemperature.h>

// OLED дисплей
#define SCREEN_WIDTH 128
#define SCREEN_HEIGHT 64
Adafruit_SSD1306 display(SCREEN_WIDTH, SCREEN_HEIGHT, &Wire);

// INA219 датчик струму
Adafruit_INA219 ina219;

// DS18B20 температурний сенсор
#define ONE_WIRE_BUS 2
OneWire oneWire(ONE_WIRE_BUS);
DallasTemperature sensors(&oneWire);

// LED піни
#define RED_LED 4
#define YELLOW_LED 5
#define GREEN_LED 6

void setup() {
  // Ініціалізація комунікації
  Serial.begin(9600);

  // Ініціалізація OLED дисплею
```

					ЕЛІТ 8.171.00.05.424 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		61

```

if (!display.begin(SSD1306_I2C_ADDRESS, 0x3C)) {
  Serial.println("OLED initialization failed");
  while (1);
}
display.clearDisplay();

// Ініціалізація INA219 сенсору
if (!ina219.begin()) {
  Serial.println("INA219 initialization failed");
  while (1);
}

// Ініціалізація температурного сенсору
sensors.begin();

// Налаштування LED пінів як виходів
pinMode(RED_LED, OUTPUT);
pinMode(YELLOW_LED, OUTPUT);
pinMode(GREEN_LED, OUTPUT);
}

void loop() {
  // Зчитування напруги та струму з INA219
  float busVoltage = ina219.getBusVoltage_V();
  float current = ina219.getCurrent_mA() / 1000.0; // Convert to A
  float power = busVoltage * current; // Calculate power

  // Читання температури з DS18B20
  sensors.requestTemperatures();
  float temperature = sensors.getTempCByIndex(0);

  // Визначення стану системи
  if (temperature > 60 || busVoltage < 11.0) {
    digitalWrite(RED_LED, HIGH);
    digitalWrite(YELLOW_LED, LOW);
    digitalWrite(GREEN_LED, LOW);
  }
}

```

					ЕЛІТ 8.171.00.05.424 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		62


```

} else if (busVoltage < 12.0) {
  digitalWrite(RED_LED, LOW);
  digitalWrite(YELLOW_LED, HIGH);
  digitalWrite(GREEN_LED, LOW);
} else {
  digitalWrite(RED_LED, LOW);
  digitalWrite(YELLOW_LED, LOW);
  digitalWrite(GREEN_LED, HIGH);
}

```

// Виведення даних на дисплей

```

display.clearDisplay();
display.setTextSize(1);
display.setCursor(0, 0);
display.print("Voltage: ");
display.print(busVoltage);
display.println(" V");
display.print("Current: ");
display.print(current);
display.println(" A");
display.print("Power: ");
display.print(power);
display.println(" W");
display.print("Temp: ");
display.print(temperature);
display.println(" C");
display.display();

```

// Очікування нового циклу

```

delay(1000); // одна секунда
}

```

І код для нашого вайфай модулю ESP8266, який ініціалізує обмін даними через інтернет.

```
#include <SoftwareSerial.h>
```

					ЕЛІТ 8.171.00.05.424 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		63

```
SoftwareSerial espSerial(2, 3); // RX, TX для ESP-01
```

```
void setup() {  
  Serial.begin(9600);      // Для обміну з комп'ютером  
  espSerial.begin(9600);   // Для обміну з ESP-01  
  espSerial.println("AT"); // Перевірка з'єднання  
}
```

```
void loop() {  
  if (espSerial.available()) { // Якщо є дані від ESP  
    Serial.write(espSerial.read());  
  }  
  if (Serial.available()) { // Якщо є дані від ПК  
    espSerial.write(Serial.read());  
  }  
}
```

1.4 Розрахунок основних характеристик електронної системи, що проєктується

У цьому розділі виконується розрахунок ключових параметрів електронної системи моніторингу та візуалізації, включаючи потужність споживання, вибір параметрів живлення, а також розрахунок основних компонентів схеми.

Почнемо з підрахунку споживання елементів нашого модулю візуалізації, енергоспоживання системи визначається сумарною потужністю всіх підключених компонентів., для цього буде зручніше зробити таблицю 1.4.

Тепер порахуємо споживаний струм для модулю, для цього треба поділити потужність на напругу, в нашому випадку беремо 5В, і округлимо 993 мВт до 1 Вт, тоді :

$$I = \frac{1}{5} = 0.2 \text{ A}$$

					ЕЛІТ 8.171.00.05.424 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		64

Таблиця 1.4 – Споживання підключених компонентів

Компонент	Споживання струму, мА	Напруга живлення, В	Потужність, мВт
Arduino Nano	40	5	200
OLED-дисплей	25	5	125
Wi-Fi модуль ESP8266	200	3.3	660
INA219	1	3.3	3.3
DS18B20	1	5	5
Разом	267 мА		993.3 мВт

Також слід розрахувати охолодження для стабілізаторів напруги, оскільки чим стабільніша температура, тим надійніше працюватиме схема. Почнемо розрахунок тепловідведення для стабілізаторів:

Стабілізатори LM7805 і LM317 мають втрати потужності, які потрібно врахувати для вибору радіаторів. Втрати потужності для LM7805:

$$P_{\text{loss}} = (V_{\text{in}} - V_{\text{out}}) \times I_{\text{total}}$$

Для $V_{\text{in}} = 24 \text{ В}$, $V_{\text{out}} = 5 \text{ В}$, $I_{\text{total}} = 0.2 \text{ А}$.

$$P_{\text{loss}} = (24 - 5) \times 0.2 = 3.8 \text{ Вт}$$

Втрати потужності для LM317:

Для $V_{\text{in}} = 5 \text{ В}$, $V_{\text{out}} = 3.3 \text{ В}$, $I_{\text{total}} = 3.3 = 0.201 \text{ А}$:

$$P_{\text{loss}} = (5 - 3.3) \times 0.201 \approx 0.34 \text{ Вт}$$

Розрахунок радіатора:

Для LM7805 потрібен радіатор із тепловим опором не більше $R_{\text{th}} = 15^\circ\text{C}/\text{Вт}$

Тепер зробимо вибір акумулятора для резервного живлення, нам необхідна ємність акумулятора для забезпечення роботи системи протягом 8 годин:

$$C = I_{\text{total}} \times t = 0.2 \text{ А} \times 8 \text{ год} = 1.6 \text{ А/год}$$

В результаті було обрано літій-іонний акумулятор 18650 з ємністю 2 А·год. Зазвичай в інтернеті пишуть в mA, тому акумулятор на 2000 міліампер/годин.

Тепер зробимо висновки по розділу :Система споживає близько 1 Вт потужності при повному навантаженні; живлення стабілізовано за допомогою LM7805 і LM317, що забезпечує надійну роботу модулів; для забезпечення стабільності системи в аварійних умовах використовується акумулятор на 2

									Арк.
									65
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ЕЛІТ 8.171.00.05.424 ПЗ				

А год, який забезпечує 8 годин автономної роботи; вибрані компоненти забезпечують економічну ефективність і енергетичну стабільність системи.

Тепер можна зробити загальний висновок по основній частині роботи.

У результаті виконаної роботи було створено адаптивну гібридну енергетичну систему, яка поєднує використання сонячних панелей і вітрогенераторів із сучасним модулем моніторингу та візуалізації. Система розроблена для забезпечення максимальної автономності, ефективності й адаптивності до змінних умов експлуатації. У процесі виконання дослідження було проведено всебічний аналіз існуючих підходів до проектування гібридних систем, детально вивчено літературні джерела, що охоплюють сучасні методи управління, зокрема прогнозне управління (MPC), алгоритми на основі нечіткої логіки та машинного навчання. Це дозволило обґрунтувати вибір адаптивного підходу до управління, який поєднує переваги різних методів для оптимізації роботи системи.

У науково-дослідній частині було проаналізовано кліматичні умови України, включаючи середні показники інсоляції, швидкості вітру та температурні коливання, що впливають на ефективність роботи сонячних панелей і вітрогенераторів. Отримані дані дозволили визначити оптимальні типи обладнання, здатного працювати з високою ефективністю у цих умовах. Крім того, вивчено існуючі підходи до інтеграції компонентів у гібридну систему, що дозволило сформулювати вимоги до її архітектури.

На основі отриманих результатів було розроблено модуль моніторингу та візуалізації, який забезпечує збір, обробку, візуалізацію й передачу даних про параметри системи, такі як напруга, струм і температура. Основу модуля становлять мікроконтролер Arduino Nano, енергоефективний OLED-дисплей, сенсори INA219 і DS18B20, а також Wi-Fi модуль ESP8266 для віддаленого моніторингу. Розроблена структурна, функціональна та принципова схеми демонструють, як усі компоненти системи взаємодіють для досягнення стабільності й надійності роботи. Зокрема, система включає стабілізатори напруги LM7805 і LM317 для забезпечення стабільного живлення компонентів, а також акумулятори для резервного живлення, які дозволяють підтримувати роботу системи в умовах аварійного відключення основного живлення.

Особлива увага була приділена розробці алгоритму функціонування, який включає послідовні етапи збору даних, аналізу, прийняття рішень і оптимізації енергоспоживання. Реалізовано систему захисту від збоїв напруги та автоматичного переходу на резервне живлення. Виконано розрахунки основних характеристик системи, включаючи споживану потужність, параметри

					<i>ЕЛІТ 8.171.00.05.424 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змін.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		66

стабілізаторів і ємність акумулятора для забезпечення тривалого часу автономної роботи.

Розроблена система відповідає сучасним вимогам до енергетичних рішень: вона ефективно використовує відновлювані джерела енергії, забезпечує гнучкість і надійність роботи, має значний потенціал для впровадження в умовах України. Модуль моніторингу є ключовим елементом, який забезпечує зручність експлуатації, інтеграцію з іншими системами та можливість віддаленого управління.

					<i>ЕліТ 8.171.00.05.424 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змін.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		<i>67</i>

2 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА ЕЛЕКТРОННОЇ СИСТЕМИ, ЩО ПРОЄКТУЄТЬСЯ

2.1 Економічна ефективність впровадження системи: Гібридна адаптивна система альтернативної енергетики

Мета економічного аналізу - оцінити, наскільки вигідним є впровадження гібридної системи (сонячні панелі + вітрогенератори) для автономного енергопостачання в домогосподарствах чи малих підприємствах порівняно з традиційними джерелами живлення, такими як централізована енергомережа або дизельні генератори.

Вхідні дані для аналізу :

Вартість компонентів системи:

Сонячні панелі: \$150 за панель потужністю 300 Вт.

Вітрогенератор: \$500 за 1 кВт.

Контролери заряду: \$100.

Інвертор: \$200.

Акумулятори (літій-іонні): \$300 за 1 кВт·год.

Інші елементи (кабелі, стабілізатори, монтаж): \$200.

Потужність системи:

Потужність сонячних панелей: 1.5 кВт.

Потужність вітрогенераторів: 1 кВт.

Тривалість експлуатації:

Сонячні панелі: 20–25 років.

Вітрогенератори: 15–20 років.

Акумулятори: 5–10 років (залежить від режиму використання).

Рівень генерації енергії (залежить від клімату):

Сонячні панелі: ~4.5 кВт·год/день у середньому.

Вітрогенератори: ~3 кВт·год/день у середньому.

Ціна електроенергії в мережі:

\$0.15 за 1 кВт·год (для побутового споживання).

Розрахунок первісних витрат

Сонячні панелі (1.5 кВт): 150 дол./панель × 5 панелей = 750 дол.

150дол./панель×5панелей=750дол.

Вітрогенератор (1 кВт): 500 дол./1 кВт

Контролер заряду: 100 дол.

					ЕЛІТ 8.171.00.05.424 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		68

Інвертор: 200 дол.

Акумулятори (5 кВт·год): 300 дол./1 кВт· год × 5 = 1500 дол.

Монтажні роботи та інші компоненти: 200 дол.

Сумарна вартість: 750+500+100+200+1500+200=3250дол.

Генерація та економія енергії

Річна генерація енергії: Сонячні панелі: 4.5 кВт · год/день × 365 днів = 1642.5 кВт·год/рік

Вітрогенератори:

3кВт·год/день×365днів=1095кВт·год/рік

Сумарна генерація: 1642.5+1095=2737.5кВт·год/рік.

Економія на енергії:

Вартість електроенергії з мережі:
2737.5кВт·год×0.15дол./кВт·год=410.63дол./рік.

Термін окупності

Формула: Термін окупності = $\frac{\text{Первісна вартість}}{\text{Річна економія}}$

Розрахунок: $\frac{3250}{410.63} \approx 7.9$ років.

Додаткові фактори

Заміна акумуляторів:

Через 7–10 років потрібна заміна акумуляторів (вартість ~\$1500).

Збільшення тарифів на електроенергію:

У разі підвищення тарифів річна економія зросте, а термін окупності скоротиться.

Надлишкова енергія:

Можливість продажу надлишкової енергії до мережі за "зеленим тарифом" зменшить термін окупності.

Порівняння з дизельним генератором

Первісна вартість: \$1000–1500 за генератор потужністю 3–5 кВт.

Річна вартість пального (5 годин роботи на день):
2л/год×365днів×1.5дол./л=1095дол./рік.

Окупність гібридної системи:

Гібридна система заощаджує ~\$1000 щороку на пальному та обслуговуванні.

Як висновок, можна підвести результати аналізу та підрахунків, почнемо з терміну окупності гібридної системи, який становить приблизно 8 років, що є конкурентоспроможним для довгострокового інвестування. Як переваги, можна виділити економію \$410 щороку (без урахування зростання тарифів) і зниження

					ЕЛІТ 8.171.00.05.424 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		69

витрат на обслуговування порівняно з дизельними генераторами, а також підвищення енергетичної незалежності.

Що ж до недоліків, то це початкові інвестиції приблизно в \$3250 і потреба в періодичній заміні акумуляторів.

Проведені розрахунки показують економічну доцільність впровадження системи, особливо в умовах високих тарифів чи обмеженого доступу до мережевої енергії.

2.2 Розрахунок економічних характеристик електронної системи, що проєктується

В даному розділі буде описано і прораховано економічні аспекти розробки проєктованої електронної системи, а точніше одного з її основних частин – візуалізаційного модуля, який і було розроблено. На основі розрахунку економічної частини, можна буде зробити окремі висновки, стосовно доцільності розробки даного електронного пристрою.

Собівартість продукції – це виражені у грошовій формі, поточні витрати на продукцію та її сбут. Витрати на виробництво утворюють виробничу собівартість, а витрати на виробництво та сбут – повну собівартість. Розрахунок собівартості продукції за статтями витрат називається калькуляцією. Калькулювання собівартості продукту здійснюється відповідно до «Національного положення(стандарту) бухгалтерського обліку» відповідно до наказу Міністерства фінансів України від 31 грудня 1999 року №318, остання редакція від 29 вересня 2020 року №588.

Витрати пов'язані із виробництвом і сбутом, продукту «Адаптивна електронна система лінійної модуляції сигналів даних», пов'язані із наступними величинами:

- Адміністративні витрати;
- Виробничі витрати;
- Обслуговування обладнання;
- Заробітна плата;
- Додаткова заробітна плата;
- Матеріали та компоненти;
- Комерційні витрати.

Витрати на заробітну плату вираховуються за наступною формулою:

					ЕЛІТ 8.171.00.05.424 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		70

$$Z_0 = T * Ч * K * A \quad (2.1)$$

Де Т- сумарний час розробки. (60 годин)

Ч – середня ставка робітника, грн/ч. (100 грн.)

К – коефіцієнт розрядності. (1.2)

А – кількість робітників. (3)

$$Z_0 = 21\ 600 \text{ грн}$$

Додаткова заробітня плата вираховується за наступною формулою

$$Z_d = Z_0 * \frac{K_d\%}{100} \quad (2.2)$$

Де $K_d\%$ – в діапазоні між 10 - 30 %.

$$Z_d = 4\ 320 \text{ при } K_d \ 20\%$$

Витрати на утримування та експлуатацію обладнання вираховується за наступною формулою:

$$P_{CEO} = Z_0 * \frac{P_{CEO}\%}{100} \quad (2.3)$$

Де $P_{CEO}\%$ – в діапазоні між 120 – 150 %.

$$P_{CEO} = 29\ 160. \text{ при } 135\%$$

Виробничі витрати вираховуються за формулою:

$$P_{\Pi} = Z_0 * \frac{P_{\Pi}\%}{100} \quad (2.4)$$

Де $P_{\Pi}\%$ – в діапазоні 130 – 250%.

$$P_{\Pi} = 41\ 040 \text{ при } 190\%$$

					ЕЛІТ 8.171.00.05.424 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		71

Таблиця 2.1 – Витрати на комплектуючі частини

Назва	Вартість, грн	Кількість, шт.	Сума на виріб, грн
Мікросхеми			
Arduino Atmega 328P	700	1	700
Wi-Fi модуль ESP8266	140	1	140
Підвищуючий перетворювач MT3608	25	1	25
Контролер заряду TP4056	13	1	13
Датчик струму INA219	90	1	90
Стабілізатор напруги AMS1117	26	1	26
Стабілізатор напруги LM7805	30	1	30
Стабілізатор напруги LM317	30	1	30
Назва	Вартість, грн	Кількість, шт.	Сума на виріб, грн
Резистори			
Резистор підтягуючий 4.7 кОм	2	3	6
Резистор 150 Ом	2	3	6
Конденсатори			
Конденсатор 10 μ F	4	3	12
Конденсатор 100 μ F	2	3	6
Інше			
Дисплей SSD 1306	150	1	150
Світлодіод кольоровий 3.2В	6	3	18
Діод Шоттки 1N5822	7	2	14
Діод 1N4007	1	1	1
Діод 1N5408	3	1	3
Акумулятор 18650 Li-ion	300	1	300
Датчик температури DS18B20	82	1	82
ВСЬОГО			1652

					ЕЛІТ 8.171.00.05.424 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		72

Таблиця 2.2 – Розрахунок витрат на сировину та матеріали

Матеріал, сировина	Одиниця виміру	Норма витрати	Ціна за одиницю, грн	Вартість, грн
Провід монтажний	кг	0.015	300	4.5
Склотекстоліт	м ²	0.195	500	97.5
Каніфоль	кг	0.01	200	2
Флюс	кг	0.006	1500	9
Припій	кг	0.04	800	32
Лак	кг	0.05	400	20
Сировина для корпусу	кг	0.2	300	60
Сумарні витрати				200

Тепер ми можемо порахувати виробничу собівартість:

$$C_{\Pi} = Z_0 + Z_d + P_{CEO} + P_{\Pi} = 96\,120 \text{ грн.}$$

Адміністративні витрати вираховуються за наступною формулою:

$$P_a = Z_0 * \frac{P_a\%}{100} \quad (2.5)$$

Де $P_a\%$ – в діапазоні 140-200%.

$$P_a = 36\,720 \text{ при } 170\%$$

Комерційні витрати вираховуються за наступною формулою:

$$P_B = C_{\Pi} * \frac{P_B\%}{100} \quad (2.6)$$

Де $P_B\%$ – в діапазоні 5-10%.

$$P_B = 7\,209 \text{ грн при } 7,5\%$$

Таблиця 2.3 – Зведені розрахунки повної собівартості продукту

Назва	Сума, грн
Адміністративні витрати	36 720
Виробничі витрати	41 040
Обслуговування обладнання	29 160
Заробітна плата	21 600
Додаткова заробітна плата;	4 320
Матеріали та компоненти	1 852
Комерційні витрати	7 209
Всього	141 901

Тепер можемо порахувати повну собівартість продукту:

$$C = 141\,901 \text{ грн}$$

Після розрахунку повної собівартості продукту, нам необхідно визначити ціноутворення для нього. Проведемо розрахунок оптової ціни продукту за наступною формулою:

$$C_{\text{ОПТ}} = C + П \quad (2.7)$$

Де C – це повна собівартість продукту;

$П$ – прибуток.

Величина $П$ вираховується за допомогою показника рентабельності R , який встановлюється підприємством:

$$R = \frac{П}{C} * 100\% \quad (2.8)$$

Величина R зазвичай складає до 35%.

Перетворюємо формулу (6.7) у наступний вираз:

$$C_{\text{ОПТ}} = C + \frac{R * C}{100} \quad (2.9)$$

Підставляємо значення:

$$C_{\text{опт}} 4257 = \text{грн.}$$

Також, знаходимо ціну для роздрібною торгівлі за наступним співвідношенням:

$$C_{\text{розд}} = 1,2 * C_{\text{опт}} \quad (2.10)$$

Підставляємо значення:

$$C_{\text{розд}} 5108 = \text{грн.}$$

2.3 Висновки з техніко-економічної частини

Собівартість створення модуля: Аналіз витрат показав, що створення модуля візуалізації, включаючи компоненти, розробку програмного забезпечення та монтаж, потребує приблизно 4 000–5 000 грн. Ця сума охоплює вартість таких ключових компонентів, як дисплей, мікроконтролер, сенсори, модулі живлення, стабілізатори напруги, корпус та витратні матеріали (каніфоль, флюс, припій тощо).

Трудовитрати: При середній погодинній ставці працівника (100 грн/год) та оцінці загального часу на розробку (60 годин), заробітна плата команди розробників становить близько 21 600 грн. Ця сума може бути зменшена за рахунок автоматизації процесів або використання менш складних компонентів.

Порівняння з ринковими аналогами: Аналоги на ринку коштують від 1 500 до 5 000 грн залежно від комплектації та функціональних можливостей. Однак більшість із них мають фіксовані параметри і не дозволяють гнучкого налаштування під специфіку сонячних та вітроенергетичних систем. У цьому контексті наша розробка має перевагу завдяки оптимізації під конкретні умови та можливості розширення.

Додаткова вартість інтеграції: Включення додаткових функцій, таких як Wi-Fi-модуль або акумулятор, збільшує собівартість модуля на 500–1 000 грн. Однак ці опції забезпечують значне розширення функціональності, наприклад, віддалений моніторинг і підвищену енергонезалежність.

Економічна вигода власної розробки: Хоча початкові витрати на розробку високі (через оплату праці розробників), створення власного модуля окупається при масштабуванні. У серійному виробництві, за рахунок оптової закупівлі

					ЕЛІТ 8.171.00.05.424 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		75

компонентів та оптимізації процесів, собівартість одиниці значно знизиться, що зробить модуль конкурентоспроможним на ринку.

Енергетична ефективність і ROI: Впровадження модуля у гібридну енергетичну систему дозволяє підвищити ефективність використання ресурсів, оптимізуючи роботу сонячних панелей та вітрогенераторів. Це забезпечує економію енергії та зменшення витрат на експлуатацію, що може окупати початкові інвестиції у розробку модуля протягом 1–2 років.

Додатково слід зазначити, що впровадження адаптивних гібридних систем у майбутньому є економічно вигідним і стратегічно важливим рішенням. Завдяки здатності таких систем адаптуватися до змінних умов навколишнього середовища та оптимізувати використання ресурсів, вони мають потенціал для значного зниження експлуатаційних витрат і мінімізації впливу на навколишнє середовище. Використання структурних і функціональних схем та алгоритмів у проектуванні дозволяє підвищити надійність і функціональність системи, що робить її перспективною для застосування у широкому спектрі задач від домашніх господарств до великих підприємств.

Таким чином, створення адаптивних гібридних систем із використанням сучасних підходів до моніторингу, управління та візуалізації не лише є економічно виправданим, але й сприяє впровадженню сталих енергетичних рішень, що відповідають потребам майбутнього.

					<i>ЕЛІТ 8.171.00.05.424 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змін.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		76

ВИСНОВКИ

У даній роботі було проведено комплексний аналіз, розроблення та моделювання електронної системи моніторингу та візуалізації для адаптивної гібридної енергосистеми, яка об'єднує сонячні панелі та вітрогенератори. Спершу досліджено особливості кліматичних умов України, щоб визначити оптимальні компоненти для генерування енергії, враховуючи сезонність, добові цикли та погодні умови. Було детально вивчено характеристики сонячних панелей (моно- та полікристалічних) і вітрогенераторів, обґрунтовано вибір компонентів для енергосистеми, орієнтуючись на їхню продуктивність і доцільність у визначених умовах.

На основі аналізу адаптивних систем управління розглянуто методи, що дозволяють максимально ефективно керувати енергосистемою, включаючи прогнозне управління (MPC), адаптивне управління на основі нечіткої логіки та алгоритми машинного навчання. Було обґрунтовано вибір гібридного підходу до управління, який поєднує переваги кожного із методів, забезпечуючи адаптацію до змінних умов і оптимізацію роботи системи.

У процесі роботи було розроблено структурні, функціональні та алгоритмічні схеми системи. Структурна схема деталізує компоненти модуля та зв'язки між ними, забезпечуючи чітке розуміння функціональних вузлів. Функціональна схема демонструє, як система виконує основні завдання, такі як моніторинг, управління та передача даних. Алгоритм роботи модуля побудований для забезпечення послідовного виконання задач у реальному часі, від збору даних із сенсорів до їх аналізу та відображення на дисплеї чи передачі на віддалений сервер.

Розроблений модуль, що візуалізує базується на платформі Arduino Nano, OLED-дисплеї та сенсорах, таких як INA219 для вимірювання напруги та струму, а також датчик температури DS18B20. Для розширення функціональності інтегровано Wi-Fi модуль ESP8266, що забезпечує передачу даних на віддалений сервер. У модулі реалізовано стабілізацію напруги за допомогою LM7805 і LM317, а також додано резервне живлення з використанням акумуляторів, яке забезпечує стабільну роботу системи у разі збоїв.

Програмне забезпечення модуля було створене з урахуванням необхідності обробки даних у реальному часі, зокрема моніторингу енергоспоживання, стану акумуляторів, температури й потужності. Алгоритм роботи модуля забезпечує

					ЕЛІТ 8.171.00.05.424 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		77

автоматичне реагування на критичні ситуації, такі як низький заряд акумуляторів, а також передбачає збереження та візуалізацію даних.

Економічний аналіз показав, що розробка модуля є доцільною, враховуючи значно нижчу вартість у порівнянні з комерційними аналогами. Крім того, впровадження такого рішення дозволяє значно підвищити ефективність використання гібридної енергосистеми та забезпечити довготривалу стабільність у постачанні електроенергії.

Отже, створений модуль моніторингу та візуалізації є ефективним, гнучким і доступним рішенням, яке можна інтегрувати в різні гібридні енергосистеми для покращення їхньої продуктивності та адаптивності до зовнішніх умов. Відповідно до побудованих схем і алгоритмів, розробка демонструє високу надійність і гнучкість у виконанні поставлених завдань.

					<i>ЕЛІТ 8.171.00.05.424 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змін.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		<i>78</i>

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

- 1 Abdalrahman, Y., Ahmed, M., Khalaf, O. Design and Optimization of Hybrid Renewable Energy Systems Using Machine Learning. *Renewable Energy Journal*. 2021. URL: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.05.010>
- 2 Anderson, L., Brackett, T. IoT Monitoring Solutions for Hybrid Power Systems. *Energy Reports*. Elsevier, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.egyр.2022.01.020>.
- 3 Datasheet для Arduino Nano. URL: <https://docs.arduino.cc/hardware/nano>.
- 4 Rehman, S., Al-Sulaiman, F., Badruddin, I. Economic Analysis of Hybrid Solar and Wind Systems in Different Climates. *Sustainable Energy Reviews*. Elsevier, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.07.018>.
- 5 McCloy, R., Li, P. Integration of Adaptive Control in Renewable Energy Systems. *IEEE Transactions on Energy Conversion*. 2023. DOI: <https://doi.org/10.1109/TEC.2023.3270291>.
- 6 Офіційна технічна документація ESP8266 Wi-Fi модуля. URL: <https://www.espressif.com/en/products/socs/esp8266>.
- 7 Sandhu, T., Xu, C., Kandasamy, P. Comparative Study of Power Stabilization in Hybrid Solar-Wind Systems. *Energy Procedia*. Springer, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10845-021-01620-6>.
- 8 Гайдук, Д. Гібридні системи на базі відновлювальних джерел енергії. *Наукові записки Національного університету Львівська політехніка*. 2021. URL: <https://nulp.edu.ua/nautsi>.
- 9 Blume, C. Fuzzy Logic and Predictive Control in Energy Management Systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Elsevier, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.02.015>.
- 10 Панасюк, М., Іваненко, В. Оцінка ефективності інтеграції Wi-Fi модулів у системи моніторингу. *Енергетика: Економіка, Технології, Екологія*. 2020. URL: <https://energetyka-journal.kpi.ua>.
- 11 Офіційна документація датчика струму INA219. URL: <https://www.adafruit.com/product/904>.
- 12 Friesen, R., Mitrovic, D. Development of Voltage Stabilization Circuits for Hybrid Systems. *Journal of Renewable Power Systems*. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jrps.2020.06.011>.
- 13 Khan, M., Shahbaz, M. Hybrid Energy Systems: Design, Optimization, and Control. *Wiley Renewable Energy Series*. Wiley, 2021.
- 14 Munir, A., Safdar, A. Adaptive Algorithms for Hybrid Energy Systems. *International Journal of Renewable Energy Research*. 2022. URL: <https://ijrer.org/>.
- 15 Chandel, S., Agrawal, D. Economic Feasibility of Renewable Hybrid Systems. *Solar Energy Reports*. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.solener.2021.08.034>.

					ЕЛІТ 8.171.00.05.424 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		79

- 16 Бондаренко, Ю. Оцінка ефективності гібридних енергетичних систем в Україні. *Енергетика України*. 2021. URL: <https://energyukraine.ua>.
- 17 Thorpe, J., Wang, H. Advanced Monitoring Solutions for Renewable Energy Systems. *IEEE Renewable Energy Journal*. 2022. DOI: <https://doi.org/10.1109/RJ.2022.3123911>.
- 18 Плахотний, І. Розробка економічно ефективних систем моніторингу для відновлювальних джерел енергії. *Технічні науки*. 2021. URL: <https://techscience.ua>.
- 19 Hussein, M., Al-Harthy, M. Smart Monitoring of Hybrid Solar-Wind Systems. *Energy Procedia*. Elsevier, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ep.2023.06.019>.
- 20 Deogun, J., Patel, R. Energy Storage and Monitoring in Hybrid Systems. *Sustainable Power Systems Journal*. 2022. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00339-021-01655-8>.
- 21 Протасова Т.О. Лопатін Д.О. Пристрій індикації параметрів заряду для малопотужних систем енергоефективної вітрогенерації : Матеріали конференції факультету ЕЛІТ СумДУ "Фізика. Електроніка. Електротехніка 2023" С. 97-98.
- 22 OLED дисплей 0.96 I2C/SPI інтерфейси 128x64 жовто-синій. Arduino.ua. URL: <https://arduino.ua/prod2121-oled-displei-0-96-i2c-spi-interfeisi-128x64-jelto-sinii>.
- 23 Стабілізатор напруги LM7805 TO-220. Arduino.ua. URL: <https://arduino.ua/prod1844-stabilizator-napryajeniya-lm7805-to-220>.
- 24 Датчик температури DS18B20 цифровий. Arduino.ua. URL: <https://arduino.ua/prod190-datchik-temperatyri-ds18b20-cifrovoi>.
- 25 ATmega328P: Pinout, Features, and Datasheet. Components101. URL: <https://components101.com/microcontrollers/atmega328p-pinout-features-datasheet>.