

Центральноукраїнський національний технічний університет
Факультет будівництва, транспорту та енергетики
Кафедра автоматизації виробничих процесів

«Допущено до захисту»
Зав. кафедри АВП
канд. техн. наук, доцент
_____ Олександр ДІДИК
« ____ » _____ 2024 р.

ВИПУСКНА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
за другим (магістерським) рівнем вищої освіти

на тему
«Інтелектуальна система керування автономним
електропостачанням з елементами "Smart home"»

Виконав здобувач ІІ курсу групи АК-23М-1
ОПП «Автоматизація та комп'ютерно-
інтегровані технології»
спеціальності 174 «Автоматизація,
комп'ютерно-інтегровані технології та
робототехніка»
_____ Сергій КРАВЦОВ
« ____ » _____ 2024 р.

Керівник роботи
доцент, канд. техн. наук
_____ Роман ЖЕСАН
« ____ » _____ 2024 р.

Рецензент
доцент, канд. техн. наук
_____ Іван САВЕЛЕНКО
« ____ » _____ 2024 р.

м. Кропивницький

Центральноукраїнський національний технічний університет

Факультет будівництва, транспорту та енергетики
Кафедра автоматизації виробничих процесів
Рівень вищої освіти магістр
Галузь знань 17 Електроніка, автоматизація та електронні комунікації
Спеціальність 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка»
Освітньо-професійна програма «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри Дідик О. К.

«___» _____ 2024 р.

**ЗАВДАННЯ НА ВИПУСКНУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ
ЗА ДРУГИМ (МАГІСТЕРСЬКИМ) РІВНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ
ЗДОБУВАЧА ВИЩОЇ ОСВІТИ**

Кравцова Сергія Вікторовича

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Інтелектуальна система керування автономним електропостачанням з елементами "Smart home"
2. Керівник роботи: Жесан Роман Володимирович, канд. техн. наук, доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
3. Строк подання студентом роботи до захисту: 25.12.2024 р.
4. Мета та завдання випускної кваліфікаційної роботи: Розробити та дослідити інтелектуальну систему керування автономним електропостачанням будівлі із застосуванням елементів концепції «Smart home» та комбінованого використання відновлюваних джерел енергії.
5. Перелік графічного матеріалу: Схеми електричні: структурна та функціональна системи автономного електропостачання (САЕП). Структура нейронечіткої САК САЕП. Схема електрична принципова САК САЕП. Алгоритм роботи САК САЕП. Результати моделювання роботи САК САЕП.
6. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів роботи

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	Жесан Р. В.		

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів випускної кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Обґрунтування впровадження автономного електропостачання будівель.	10.10.2024 р.	
2.	Пошук шляхів підвищення енергоефективності генерації, розподілу та споживання енергії, із застосуванням відновлюваних джерел енергії та елементів "Smart home".	20.10.2024 р.	
3.	Проектування інтелектуальної САК автономним електропостачанням.	15.11.2024 р.	
4.	Моделювання роботи інтелектуальної САК автономним електропостачанням.	01.12.2024 р.	
5.	Графічні матеріали (презентація).	20.12.2024 р.	
4.	Кінцеве оформлення випускної кваліфікаційної роботи.	25.12.2024 р.	

Дата видачі завдання « ____ » _____ 2024 р.

Керівник роботи _____ Р. В. Жесан « ____ » _____ 2024 р.

Завдання прийнято до виконання

Здобувач _____ С. В. Кравцов « ____ » _____ 2024 р.

АНОТАЦІЯ

Магістерська робота містить ключові слова: інтелектуальна система керування, автономне електропостачання, система орієнтації сонячних батарей, інтелектуальний розподіл енергії, розумний будинок, автоматизоване керування, штучний інтелект, нечітка логіка, штучні нейронні мережі, системи керування будівлею, системи керування енергоспоживанням будівлі, енергоефективна будівля.

Об’єкт дослідження: процес автономного електропостачання будівель, з використанням ВДЕ та САК.

Мета кваліфікаційної роботи: розробка інтелектуальної системи керування автономним електропостачанням будівлі із застосуванням елементів концепції «Smart home» та комбінованого використання ВДЕ.

Магістерська робота виконана в текстовому редакторі *Microsoft Word* та з використанням пакету прикладних програм системи *MatLab*[®].

ANNOTATION

The master's thesis contains keywords: intelligent control system, autonomous power supply, solar panel orientation system, intelligent energy distribution, smart home, automated control, artificial intelligence, fuzzy logic, artificial neural networks, building control systems, building energy consumption control systems, energy-efficient building.

Object of research: the process of autonomous power supply of buildings, using RES and ACS.

The purpose of the qualification work: development of an intelligent control system for autonomous power supply of a building using elements of the "Smart home" concept and combined use of RES.

The master's thesis was completed in the *Microsoft Word* text editor and using the *MatLab*® application package.

ЗМІСТ

ВСТУП	3
РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ОБ’ЄКТ КЕРУВАННЯ	9
1.1 Основні поняття і визначення	9
1.2 Вивченість питання та попередні дослідження	14
1.3 Види систем електропостачання в залежності від джерела енергії	18
1.4 Різновиди енергоефективних будинків. Технології побудови	22
1.5 Початкові дані для проектування та дослідження	28
РОЗДІЛ 2. ПРОЕКТУВАННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ САК АВТОНОМНИМ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯМ З ЕЛЕМЕНТАМИ «SMART HOME»	31
2.1 Особливості концепції «Smart home»	31
2.2 Система електропостачання з ВДЕ	39
2.2.1 Вибір оптимальних джерел енергії системи електропостачання	39
2.2.2 Комбінована система автономного електропостачання	57
2.3 Структурна та функціональна схеми САК	59
2.3.1 Структурна схема	60
2.3.2 Функціональна схема	61
2.4 Схема електрична принципова мікроконтролерного модуля САК	64
2.4.1 Проміжні перетворювачі та модулі прийому сигналів	65
2.4.2 Засоби передачі інформації та технології зв’язку	69
2.4.3 Засоби відображення інформації та керування	74
2.4.4 Вибір та обґрунтування мікроконтролера	77

2.5 Алгоритм роботи САК	79
2.6 Вибір автоматичного регулятора	85
РОЗДІЛ 3. МОДЕЛЮВАННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ САК АВТОНОМНИМ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯМ	88
3.1 Передумови застосування штучного інтелекту в енергетичних системах	88
3.2 Нечітка логіка та нейронні мережі в системах автоматичного керування	90
3.3 Нейронечітка мережа керування системою автономного електропостачання	96
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	115
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ	118
ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ ТА СПЕЦІАЛЬНИХ ТЕРМІНІВ	130
ДОДАТКИ	132
Додаток А. Схема електрична структурна САЕП	133
Додаток Б. Схема електрична функціональна САЕП	134
Додаток В. Схема електрична принципова мікроконтролерного модуля САК	135
Додаток Г. Схема електрична принципова мікроконтролерного модуля САК	136
Додаток Д. Охорона праці	137

ВСТУП

Актуальність теми. Стан розвитку будь-якого суспільства, досконалість техніки і технологій, що в ньому реалізовані, зручність і комфортність умов життєдіяльності, обслуговування та виробництва для населення в переважній мірі залежить від рівня розвитку енергетичних технологій. Незворотне збільшення потреб людства у енергетичних ресурсах, виснаження у недалекому майбутньому, земних паливно-енергетичних ресурсів (ПЕР), та відчутне забруднення енергетичною промисловістю навколишнього природного середовища змушують фахівців зосереджувати свою увагу на комплексному розв'язанні глобальних енергетичних проблем, що є необхідною умовою сталого розвитку суспільства та енергетичної безпеки прийдешніх поколінь.

Без зайвого перебільшення можна говорити про те, що незалежність нашої держави, як суб'єкта міжнародних відносин, її суверенітет, безпека та спроможність конкурувати на глобальних ринках, не можливі без належної енергонезалежності. І збройна агресія росії проти України, що супроводжується постійними ракетно-дроновими атаками ворога на енергетичну інфраструктуру країни, лише підтверджує важливу значимість надійного та безпечного функціонування енергосистеми країни, з метою мінімізації зовнішнього впливу на процеси державотворення країни, як в контексті функціонування окремих галузей економіки, так і розвитку в цілому. Адже, як відомо, до початку повномасштабної війни власними ПЕР Україна була забезпечена приблизно на третину, все інше закуповувалося за кордоном [34].

На шляху до енергетичної незалежності, постійна модернізація енергообладнання та вдосконалення техніки, систем і технологій, зменшення шкідливого антропогенного впливу на екологію є неможливими без впровадження сучасних енергозберігаючих та енергоефективних заходів.

У напрямку кращих європейських традицій, в процесі інтеграції до Європейського Союзу та на виконання міжнародних зобов'язань, Україна крок за кроком адаптує національне законодавство до глобальних викликів у сфері енергетичної безпеки. Так, одним з ключових базових законів, який регулює

відносини, що виникають у сфері енергетичної ефективності, та спрямований на посилення енергетичної безпеки, скорочення енергетичної бідності, сталий економічний розвиток, збереження первинних енергетичних ресурсів став прийнятий 21.10.2021 р. Закон України «Про енергетичну ефективність» [67]. Серед основних напрямків державної політики у сфері енергетичної ефективності, які передбачені у даному законі, є стимулювання споживачів до використання відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) та сприяння науковим дослідженням у сфері енергоефективності, з метою впровадження новітніх енергоефективних процесів та технологій.

У схваленій урядом країни Енергетичній стратегії України на період до 2050 року [69] заплановане досягнення Україною вуглецевої нейтральності енергетичного сектору. Місією Енергетичної стратегії заявлене створення умов для сталого розвитку національної економіки через забезпечення доступу до надійних, стійких і сучасних джерел енергії. Крім того, енергетичний сектор має бути максимально наближений до кліматичної нейтральності [69, 83].

Оскільки в сучасному світі досягнення високого рівня енергоефективності неможливе без впровадження ВДЕ, серед інших законодавчих норм, які покликані підвищити енергонезалежність України, слід відмітити Закон України «Про альтернативні джерела енергії» [66], який впроваджує засади економного витрачання традиційних ПЕР та зменшення залежності від їх імпорту. Закон визначає види енергій, які відносять до альтернативних (відновлюваних) джерел енергії, заохочує вітчизняні та іноземні інвестиції у сфері альтернативних джерел енергії, а також сприяє науково-технічному забезпеченню відновлюваної енергетики, популяризації та впровадженню наукових досягнень у цій сфері.

Питання енергоефективності та енергозбереження не оминули й сферу архітектури та містобудування, оскільки, за даними ЄС [89], близько 40 % всієї енергії споживають саме будівлі та споруди, і цей відсоток, очевидно, має тенденцію до зростання протягом наступних років. При цьому, відмічено, що значна частка споживаної енергії нині використовується неефективно [18, 25, 28, 42, 69].

Саме з метою підвищення енергетичної ефективності будівель, з урахуванням природно-кліматичних умов, та забезпечення належних умов життєдіяльності людей у таких будівлях, було прийнято Закон України «Про енергетичну ефективність будівель» [68], який передбачає пріоритетні напрямки надання державної підтримки енергоефективних заходів у будівлях, що забезпечується, серед іншого, шляхом встановлення засобів автоматичного регулювання споживання енергетичних ресурсів і води, впровадженням автоматизованих систем моніторингу та керування інженерними системами, застосуванням систем акумуляції теплової та електричної енергії, а також використанням ВДЕ, у поєднанні з інженерними системами будівель.

Поряд з цим, у напрямку до енергонезалежності країни, важливе місце займає осучаснення технологій виробництва, постачання та розподілу енергії. І серед таких, зокрема є системи розподіленої генерації енергії. Віце-прем'єр з відновлення України – міністр розвитку громад та територій О. Кулеба заявив, що на найближчі роки пріоритетом буде створення системи розподіленої генерації електроенергії [77]. За загальною концепцією системи розподіленої генерації, вона має складатись із безлічі малих електростанцій – генераторів енергії, що сприятиме диверсифікації джерел енергії, тим самим збільшуючи безпеку енергосистеми від масштабних руйнувань.

Ключовими елементами в сучасних системах розподіленої генерації є ВДЕ і системи автоматичного керування (САК) розподілом та споживанням енергії. А їх органічне поєднання може суттєво збільшити енергоефективність окремих об'єктів, зокрема будівель і споруд. Більше того, саме в системах розподіленої генерації, будівля з автономним електропостачанням та САК, успішно може виступати в якості активного споживача, який не тільки потребує певної кількості енергії, але й сам може бути джерелом енергії. Але така синергія можлива лише за певних умов і технологій побудови будівель, серед яких, найбільше уваги з точки зору питань розподіленої енергії, заслуговує «активний будинок», що побудований з використанням ВДЕ та за концепцією «Smart home», де переважна більшість процесів автоматизовано за рахунок впровадження сучасних

інтелектуальних САК.

Отже, враховуючі глобальні екологічні та економічні виклики, які пов'язані з використанням традиційних ПЕР, всебічну державну підтримку сфери енергозбереження, сьогодні актуальним є впровадження національного і світового досвіду енергоефективних технологій у архітектурі й містобудуванні, зокрема з точки зору впливу автоматизованого керування на ефективне функціонування інженерних систем будівель, серед яких головне та базове місце займає система електропостачання, з використанням ВДЕ.

Мета кваліфікаційної роботи: розробка інтелектуальної системи керування автономним електропостачанням будівлі із застосуванням елементів концепції «Smart home» та комбінованого використання ВДЕ.

Об'єкт дослідження: процес автономного електропостачання будівель, з використанням ВДЕ та САК.

Предмет дослідження: САК автономним електропостачанням будівель, на основі сучасних методів та засобів автоматизації.

Для досягнення поставленої мети необхідно розв'язати наступні **задачі:**

1. Провести бібліографічний пошук та аналіз проблеми та наявності попередніх досліджень і практичних реалізацій.
2. Дослідити можливості комбінованого застосування ВДЕ з метою забезпечення надійного автономного електропостачання будівель.
3. Обґрунтувати можливість застосування елементів концепції «Smart home» в системах автономного електропостачання будівлі, поряд з іншими інженерними системами.
4. Спроектувати інтелектуальну систему керування автономним електропостачанням будівлі, з використанням ВДЕ.
5. Виконати моделювання роботи запропонованої системи, або її складових частин, з метою визначення і оптимізації параметрів..

Методи дослідження: Елементи теорій: електричних та магнітних кіл; автоматичного керування; «нечіткої логіки» («fuzzy-logic»). Основні принципи

алгоритмізації. Концепція «розумного дому» («smart home», «digital house»). Комп'ютерне моделювання, з використанням сучасних програмних пакетів. Методи оптимізації.

Наукова новизна: набули подальшого розвитку методи комп'ютерного моделювання, зокрема із застосуванням елементів «нечіткої логіки».

Практична цінність отриманих результатів: розроблені схеми електричні: структурна, функціональна принципова системи автономного електропостачання (САЕП), з використанням ВДЕ та схема електрична принципова САК САЕП; розроблені алгоритми функціонування САК, які, поряд із результатами комп'ютерного моделювання, можуть бути використані для широкого класу систем; набули подальшого розвитку методи використання «нечіткої логіки» при створенні сучасних систем керування.

Обґрунтованість та достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій підтверджені посиланнями на джерела інформації, а також використання спеціальних математичних методів та пакетів прикладних програм.

Апробація результатів досліджень.

Взято участь і зроблено доповіді на науковій конференції та науковому семінарі:

VI Міжнародна науково-практична конференція «Прикладні науково-технічні дослідження» (1416 травня 2024 р., м. Івано-Франківськ, Академія технічних наук України). Тема доповіді: «Основні складові зростання енергоефективності в Україні» / Жесан Р., Голик О., Кравцов С., Зубенко В.

Науковий семінар «Автоматика та комп'ютерно-інтегровані технології в промисловості та агропромисловому комплексі (АПК)» (9 листопада 2023 р., м. Кропивницький, Центральноукраїнський національний технічний університет). Тема доповіді: «Базові компоненти зростання енергоефективності та енергонезалежності» / Кравцов С. Жесан Р. Жесан Р., Голик О.

Публікації.

За темою магістерської роботи опубліковано 1 статтю [43] та 2 тез доповідей [28, 42].

Структура та обсяг магістерської роботи.

Магістерська робота складається з 3-х розділів, висновків, списку використаних джерел та 5-ти додатків. Повний обсяг роботи становить 131 сторінки.

РОЗДІЛ 1

ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ОБ'ЄКТ КЕРУВАННЯ

1.1 Основні поняття і визначення

В межах обраної теми роботи, коротко розглянемо основні поняття та терміни, якими будемо оперувати в подальшому.

Почнемо з найвизначальнішого поняття *енергія*.

Енергія (з давньогрецьк. *енергія* – діло, діяти, діяльність) – це скалярна фізична величина, загальна кількісна міра руху і взаємодії всіх видів матерії. Енергія не виникає ні з чого і нікуди не зникає, вона може тільки переходити з одного стану в інший (закон збереження енергії). Поняття енергії пов'язане зі здатністю фізичного тіла або системи виконувати роботу. При цьому тіло або система частково втрачає енергію, витрачаючи її на зміни в навколишніх тілах. розрізняють кілька типів енергії: механічна, електрична, хімічна, атомна, теплова та ін. Цей поділ є досить умовним. Так, хімічна енергія складається з кінетичної енергії руху електронів, їхньої взаємодії та взаємодії з атомами. У різноманітних фізичних процесах різні види енергії можуть перетворюватися один у інший. У подальшому ми будемо говорити про енергію у її прикладному значенні – як про основоположну складову виробництва, побуту і життя в цілому [8, 21, 34].

Енергетичні ресурси (енергоресурси) або джерела енергії – це матеріальні об'єкти, в яких зосереджена енергія, придатна для практичного використання людиною [34, 96].

Енергоресурси поділяють на:

– *первинні енергоресурси (первинні джерела енергії)* – це природні ресурси, які не переробляли і не перетворювали: сира нафта, природний газ, вугілля, горючі сланці, вода річок і морів, гейзери, вітер тощо [34, 37].

– *вторинні енергоресурси (вторинні джерела енергії)* – енергія різних видів, що вивільняється з технологічного процесу чи установки, використання якої не є обов'язковим для здійснення основного техногенного процесу; у вужчому розумінні, – це енергетичний потенціал продукції, відходів, побічних і проміжних продуктів, який утворюється в технологічних агрегатах (установках,

процесах), не використовується в самому агрегаті, але може бути частково або повністю використаний для енергопостачання інших агрегатів (процесів) [34, 37, 67].

Паливно-енергетичні ресурси (ПЕР) – природні та перетворені види палива та енергії [67].

Раціональне використання ПЕР – досягнення максимальної ефективності використання, при існуючому рівні розвитку техніки та технології й одночасному зниженні техногенного впливу на навколишнє природне середовище [34].

Всі існуючі на сьогодні джерела енергії прийнято поділяти на два класи:

відновлювані джерела енергії (ВДЕ) – це джерела, на основі постійно існуючих або таких, що періодично виникають в навколишньому середовищі, потоків енергії; відновлювана енергія присутня у навколишньому середовищі у вигляді енергії, що не є наслідком цілеспрямованої діяльності людини, і це її найхарактерніша відмінна ознака.

невідновлювані джерела енергії (НВДЕ) – це природні запаси речовин і матеріалів, які можуть бути використані людиною для виробництва енергії; енергія НВДЕ, на відміну від ВДЕ, знаходиться в природі у зв'язаному стані (в родовищах) і вивільняється, в результаті цілеспрямованих дій людини (вугілля, нафта, газ, ядерне паливо, тощо) [34, 96].

Термін ВДЕ часто використовується як синонім словосполучення *альтернативні джерела енергії*, до яких відносять первинну енергію: сонячну, вітрову, геотермальну, гідротермальну, аеротермальну, гідроенергію (в т. ч. енергію хвиль та припливів), енергію біомаси, а також вторинні енергоресурси: *біогаз* (газ з біовідходів та газ каналізаційно-очисних станцій), доменний та коксівний газ у металургії, газ метан дегазації вугільних родовищ, скидного енергопотенціалу технологічних процесів, придатний для перетворення [8, 10, 37, 53, 66, 96].

Геотермальна енергія – енергія, що накопичена у формі теплової енергії під твердим шаром земної поверхні (від грецьк. *геос* – земля, *термос* – тепло) [53, 66, 96].

Гідроенергія – енергія води (від грецьк. *гідρ* – вода) [8].

Гідротермальна енергія – теплова енергія води (від грецьк. *гідρ* – вода, *термос* – тепло) [8, 96].

Аеротермальна енергія – теплова енергія повітря (від грецьк. *айρ* – повітря, *термос* – тепло) [8].

Геліоенергетика (сонячна енергетика) – галузь енергетики, пов'язана з використанням сонячної енергії для виробництва електроенергії та тепла (від грецьк. *геліос* – Сонце) [8, 20, 34, 96].

Електроенергетика – галузь енергетики, що охоплює процеси виробництва, передавання, акумулювання, розподілення електроенергії та її перетворення в інші види енергії [14, 102].

Енергопостачання (електропостачання) – забезпечення споживачів енергією (електричною енергією), технічні та економічні показники якої (частота, напруга, безперервність, максимум навантаження, пункт живлення, тариф) відповідають рекомендованим вимогам [20].

Енергозбереження, енергоощадність або енергоощадження – зменшення споживання енергії шляхом використання меншої кількості енергетичних послуг [8, 10].

Будівля – різновид наземної споруди, пов'язаної фундаментом із землею (грунтом), що складається з несучих та огорожувальних сполучених (несучоогорожувальних) конструкцій, які утворюють приміщення, інженерних систем та в якій використовується енергія, з метою створення належних умов проживання та/або життєдіяльності людей [77].

Енергетична ефективність (енергоефективність) – кількісне співвідношення між роботою, послугами, товарами або енергією на виході та витраченою енергією на вході [67]; іншими словами – використання меншої кількості енергії за ту саму послугу чи роботу [8, 10]. Коли мова йде про *енергетичну ефективність будівлі*, то під цим розуміють властивість будівлі, яка характеризується кількістю енергії, необхідної для створення належних умов проживання та/або життєдіяльності людей у такій будівлі [68]. Близьким є

поняття *енергоекономічна споруда* – це споруда, яка спроектована таким чином, щоб її енергетичне споживання з метою опалення, кондиціонування повітря, освітлення і гарячого водопостачання задовольнялося при мінімальному використанні покупної енергії, т. т. споруда, яка може експлуатуватися при мінімальних витратах на енергоносії [34].

Клас енергетичної ефективності будівлі – позначення (маркування) властивості будівлі, що відповідає розрахунковому рівню енергетичної ефективності будівлі, визначене за інтервалом значень загального показника енергетичної ефективності, що встановлюється відповідно до вимог законодавства у сфері енергетичної ефективності будівель [68].

Мінімальні вимоги до енергетичної ефективності будівель – вимоги до показників енергетичної ефективності будівель, інженерних систем та їх елементів, теплотехнічних характеристик огорожувальних конструкцій [68].

Будівля, з близьким до нульового рівнем споживання енергії (будинок нуль енергії) – будівля з рівнем енергетичної ефективності, що перевищує встановлені мінімальні вимоги, в якій для формування належних умов проживання та/або життєдіяльності людей використовується енергія із значною часткою енергії, виробленої з ВДЕ. Цьому поняттю відповідає англійська аббревіатура *ZEB* (англ. *Zero Energy Building* – будинок нульової енергії) [4, 37, 42, 43, 51, 54, 68].

Активна економія енергії – поняття, що застосовується для діючого енергетичного та енергоспоживаючого обладнання; економія, яка досягається за рахунок запрограмованого керування опаленням і кондиціонуванням повітря [34, 50, 51].

До *пасивної економії енергії* належать: теплоізоляція, використання сучасного енергоефективного обладнання та будівельних матеріалів з високими показниками енергоефективності (люмінесцентні лампи, сучасні вікна тощо) [4, 34, 54].

Активний споживач – це споживач, який реагує та впливає на ринок енергії через систематичні дії і реакції, які націлені на мінімізацію витрат і збільшення власного та колективного прибутку; це такий споживач енергії, який є

не тільки її пасивним покупцем, але може деяким чином взаємодіяти з мережею енергопостачання, впливати на її стан та ціни на ринку, в основному, через можливість самостійно генерувати та зберігати енергію [15, 61].

Інженерні системи – комплекс технічних установок та внутрішніх інженерних мереж будівлі (її відокремлених частин), призначених для опалення, охолодження, кондиціонування, вентиляції, постачання гарячої води, освітлення, автоматизації, керування енергоспоживанням чи для поєднання цих функцій [51, 54, 68].

Часто інженерні системи будинків характеризують поняттям *системи життєзабезпечення* – це комплекси, які допомагають створити комфортні, оптимальні, прийнятні умови для проживання та життєдіяльності жителів будівель, функціонування екіпажу і пасажирів якого-небудь об'єкта, судна, апарата. За своїм призначенням вони можуть поділятися на дрібніші підсистеми: кондиціонування повітря, санітарно-побутові тощо [51, 54, 78].

В сучасному світі, однією з основних та базових інженерних систем, що забезпечує функціонування інших систем життєзабезпечення є електрична.

Електричною системою називається частина енергосистеми, яка складається з генераторів, розподільчих пристроїв, електричних мереж і електроприймачів. Таким чином, електрична система виробляє, розподіляє і перетворює електричну енергію [86].

Системою електропостачання називається сукупність пристроїв для виробництва і розподілу електричної енергії. Система електропостачання забезпечує живлення електроенергією споживачів [79, 86].

Керують всіма процесами *системи автоматичного керування (САК)*.

Коли мова йде про різноманітні системи будівель і споруд, важливим поняттям є *інтелектуальна система обліку* – автоматизована система, яка інформаційно об'єднує інтелектуальні лічильники та забезпечує приймання, обробку та передавання вимірюваної та іншої інформації каналами зв'язку для цілей проведення комерційних розрахунків, моніторингу та контролю [67].

Запрограмоване керування опаленням і кондиціонуванням – автоматичне

керування системою опалення та кондиціонування повітря в будівлі, у відповідності до програми, яка заздалегідь розроблена таким чином, щоб люди в приміщенні знаходилися в необхідних комфортних умовах, при мінімальних енергетичних витратах, а під час відсутності людей у приміщенні, навантаження на установки із опалення і кондиціонування повітря автоматично знижувалися [34, 54, 67, 79].

При розгляді питань енергії, енергоефективності, енергоощадності тощо неможливо обійти поняття сучасної *розумної енергосистеми* (англ. термін *Smart Grid*) – електричної мережі, що містить різноманітні оперативні та енергоощадні засоби, включаючи розумні лічильники, розумних споживачів, ВДЕ та ресурси забезпечення енергоефективності [8, 16, 32, 79]. Електронне керування параметрами електроенергії, її виробництвом і розподілом є важливими аспектами розумної енергосистеми [8, 32, 80].

1.2 Вивченість питання та попередні дослідження

Дослідженням різних аспектів у сфері енергопостачання, енергозбереження та енергоефективності в будівництві присвячено чимало робіт зарубіжних та вітчизняних науковців.

Вагомий внесок у науково обґрунтоване застосування ВДЕ зробили американські вчені Твайделл Дж. та Уейр А., які у своїй праці [96] досліджували можливості застосування сонячної енергії та її похідних, приливної енергії та теплової енергії надр. Серед іншого, в роботі наведено наукові принципи використання відновлюваних джерел енергії, технічні проблеми їх використання та соціально-економічні наслідки розвитку енергетики на ВДЕ.

Перспективні форми відновлюваної енергії, досліджувались фізиком Соренсеном Б. Е., який вивчав інженерні аспекти перетворення, передачі та акумулювання енергії. В роботі [95] вчений звертає увагу на те, що деякі джерела енергії є непостійними та мінливими у різних географічних зонах, а тому зберігання енергії має також розглядатись, як важливий елемент систем ВДЕ.

Альтернативні стійкі енергетичні системи були предметом дослідження

вченого Геворкяна П. [91], який досліджує питання енергозбереження, технології сонячної енергетики, а також вивчає інші види джерел відновлюваної енергії.

Окремо слід відмітити вчених, що займалися питаннями автоматизованого керування енергоефективними будівлями. Зокрема, Левермор Дж. свою працю [93] присвячує системам керування енергоспоживанням будівель, в контексті якої досліджує керування енергетичним балансом сучасних будівель через впровадження енергоефективних систем опалення, вентиляції та кондиціонування. Дослідник Шенвей Ванг [94], досліджує сучасний стан систем автоматизації будівель, вивчає питання контролю й оптимізації параметрів типових систем опалення, кондиціонування та вентиляції. Розглядає системи автоматизованого керування освітленням, безпекою, зокрема пожежною, а також приділяє увагу питанням технологій та впровадження систем автоматизації будівель і споруд, автоматичного керування їх основними інженерними системами.

Серед праць вітчизняних вчених можна, перш за все, виділити розробки Денисюка С. П. Зокрема, у його роботах [14, 15, 18] велика увага приділяється питанням сталого розвитку енергетики України, енергетичної ефективності, стійкої роботи інтелектуальних енергетичних систем та оптимального керування енергоспоживанням, пріоритети розвитку енергетики на період до 2050 року, досліджуються такі поняття як *Smart Grid* та *активний споживач*. А у навчальному посібнику [17] та монографії [16] розглянуто загальні відомості про системи електропостачання та приймачі електричної енергії, а також класифікація і сфера застосування електричних мереж напругою до 1000 В, основні засади модернізації систем електропостачання, на основі концепції *Smart Grid*, представлена архітектура інтелектуальної енергетичної системи та інтегрованих систем енергозабезпечення й використання; дана оцінка напрямків підвищення ефективності та системної інтеграції джерел розосередженої генерації, особливості інтеграції ВДЕ у локальні системи енергопостачання; створено загальну модель активного споживача та загальну модель САК.

Чучалін М. П. запропонував алгоритм впровадження енергозберігаючих та

енергоефективних технологій у сучасному будівництві України і вирішення проблем його окремих складових, враховуючи ризики зростання тарифів на енергоресурси при повільному підвищенні енергоефективності будівель [84].

Комеліна О. В. та Щербініна С. А. сформулювали методи енергозбереження та основні напрями вирішення питання забезпечення енергоефективності та головні завдання для будівельних підприємств [33].

Великий внесок у розвиток енергозберігаючих технологій у галузі будівництва належить українському вченому, політику і підприємцю-будівельнику вірменського походження, д. т. н., члену-кореспонденту НАН України Мхітаряну Н. М. Протягом всього періоду професійної діяльності він пропагував і відстоював ідею розвитку альтернативної енергетики. Цьому присвячено декілька фундаментальних книг [49, 53, 54] і велика кількість наукових статей. У монографіях [50, 51, 22] автор акцентує на необхідності забезпечення не тільки економічних, а й екологічних і просто комфортних для людини параметрів сучасних житлових будівель та енергетичних систем для них.

Питанням визначення енергетичного потенціалу відновлюваної енергетики [38, 41] та основам конструювання енергоустановок з ВДЕ, перспективних до застосування в Україні [39, 40], велику увагу приділяв д. т. н., проф. Кудря С. О.

Науковцями Приймаком О. В. та Швачко Н. А. розглянуто питання вибору ефективної і економічної системи теплопостачання з використанням ВДЕ та запропоновано бівалентну систему теплопостачання з тепловим насосом, геліосистемою гарячого водопостачання та твердопаливним котлом [62]. Ними ж, у співавторстві з іншими дослідниками, запропоновано метод подання даних по сонячній радіації для розрахунку систем сонячного теплопостачання [85].

Басок Б. І., Беляєва Т. Г. та ін. навели результати розробки та впровадження системи електрозабезпечення експериментального будинку типу нуль енергії на основі використання ВДЕ [4].

Особливості побудови інтелектуальних енергетичних систем будівель та споруд наведено в роботі Василенка В. І. та Ремізова І. А [7].

Степанець О. В. та Захарченко А. С. розглянули питання енергоефективності в контексті сучасної будівлі та особливості систем автоматизації сучасних будівель [80]. Ними визначено перспективний напрямок розвитку галузі автоматизації будівель, її вплив на параметри та роль в показниках енергоспоживання будівель.

К. т. н., доц. Костик Л. М. із співавторами [36] розробили рекомендації щодо підвищення надійності систем електропостачання на базі цифрових технологій.

В роботі [5] д. т. н. Бушер В. В. та к. т. н. Мельникова Л. В. здійснили огляд актуальних проблем автоматизації будівель на основі документів, прийнятих Європейським парламентом, що стосуються зменшення енергоспоживання та розвитку енергозберігаючих технологій. Наведені методики для розрахунку структури та побудови алгоритмів систем автоматизації та керування будівлями з метою підвищення її енергетичної ефективності.

Слід відзначити і науковий доробок вчених Центральноукраїнського національного технічного університету (ЦНТУ), де на кафедрі автоматизації виробничих процесів вже понад 30 років ведуться дослідження, пов'язані з використанням ВДЕ у системах енергопостачання та автоматики. Над цими питаннями у різний час на даній кафедрі працювали (або працюють) д. т. н., проф. Кондратець В. О., к. т. н., проф. Пащенко В. Ф., к. т. н., доц. Джума А., к. т. н., доц. Жесан Р. В., к. т. н., доц. Плешков С. П., к. т. н., доц. Голик О. П., к. т. н., доц. Березюк І. А., к. т. н., доц. Зубенко В. О., к. т. н., доц. Мірошніченко М. С. та ін. Підсумком багаторічної роботи кафедри автоматизації виробничих процесів ЦНТУ стало видання навчального посібника з енергозбереження та використання ВДЕ [10], призначеного для студентів, що навчаються на технічних спеціальностях, пов'язаних з електроенергетикою, електротехнікою та електромеханікою, а також автоматизацією та комп'ютерно-інтегрованими технологіями.

Останнім часом дослідження у сфері енергоефективності та використання ВДЕ проводили також співробітники кафедри електротехнічних систем та

енергетичного менеджменту ЦНТУ д. т. н., проф. Клименко В. В., к. т. н., проф. Плешков П. Г., к. т. н., доц. Кубкін М. В., к. т. н., доц. Солдатенко В. П., к. т. н., доц. Петрова К. Г. та ін.

1.3 Види систем електропостачання в залежності від джерела енергії

Залежно від зв'язку споживача з джерелом енергії, на рівні національних стандартів, виділяють *централізоване* та *децентралізоване* електропостачання [20].

Централізоване електропостачання – електропостачання від енергетичної системи. Є традиційною системою електропостачання, в якій споживач отримує електроенергію від районних (міських) електричних станцій (*Рис. 1.1*).

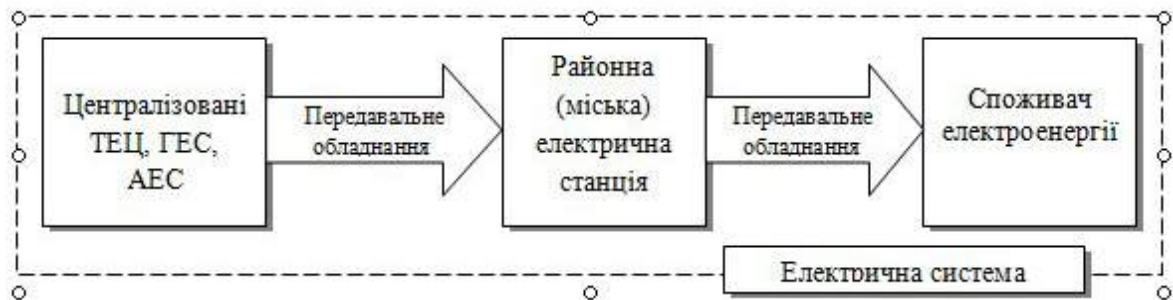


Рисунок 1.1 – Структурна схема централізованого електропостачання

Електропостачання споживачів здійснюється через електричні мережі, що живляться здебільшого від енергетичних систем, які об'єднують кілька електростанцій. Ці системи одночасно постачають електроенергію великі райони, передаючи її на значні відстані [44].

Генерація енергії здійснюється великими гідро-, тепло- та атомними електростанціями. Між електростанціями або потужними державними енергосистемами і споживачами розміщене передавальне обладнання, що складається з підвищувальних і понижувальних трансформаторних підстанцій та ліній передачі електроенергії різної напруги. Сукупність генераторів, розподільних пристроїв, підстанцій, ліній електричних мереж і споживачів електроенергії, називається *електричною системою* [44].

Децентралізоване електропостачання – електропостачання від джерела,

що не має зв'язку з енергетичною системою (**Рис. 1.2**).

Децентралізоване або розподілене виробництво енергії (англ. *Distributed power generation*) – концепція будівництва джерел енергії та розподільчих мереж, яка має на увазі наявність великої кількості користувачів, що виробляють теплову і електричну енергію для власних потреб, а також спрямовують надлишки у загальну мережу (електричну або теплову). Під'єднані до загальних мереж локальні джерела енергії, в поєднанні з засобами накопичення, зберігання та перетворення енергії визначаються як розподілені енергетичні ресурси (англ. *Distributed Energy Resources – DER*) [8].



Рисунок 1.2 – Структурна схема децентралізованого електропостачання

Дана концепція передбачає будівництво додаткових джерел електроенергії в безпосередній близькості від споживачів. Потужність таких джерел обирається, виходячи з очікуваної потужності споживача, з урахуванням наявних обмежень (технологічних, правових, екологічних і т. д.), і може варіюватися в широких межах (від двох-трьох до сотень кіловат). При цьому споживач не від'єднується від загальної мережі електропостачання.

На рівні з традиційними когенераційними установками, в якості розподілених енергетичних ресурсів та додаткових джерел енергії можуть виступати засоби альтернативної енергетики (сонячні батареї, вітрогенератори та

інші ВДЕ), газові та дизельні генератори, електроаккумуляторні системи, електричні транспортні засоби та керовані навантаження, такі як системи опалення, кондиціювання та електричні водонагрівачі. Вони можуть використовуватися автономно, для оптимізації енергоспоживання індивідуально визначеного об'єкта, або ж через певні агрегатори у сукупному розподілі електроенергії.

Розподілені енергоресурси розгортаються у безпосередній близькості до кінцевого споживача, по його бік від лічильника, та повинні мати цифровий інтерфейс для обміну даними. Вони можуть використовуватися індивідуально для оптимізації енергоспоживання окремого об'єкта або у сукупності (через агрегатори) в межах мереж розподілу електроенергії [20, 44].

За допомогою інформаційних технологій, динамічного ціноутворення (англ. *dynamic pricing*) та інших ринкових механізмів розподілені енергетичні ресурси можуть використовуватися для керування попитом (англ. *demand response*) на електроенергію та надання допоміжних послуг в регіональних або національних енергосистемах, зокрема для балансування добового графіку навантаження мереж [8].

При цьому в системі «споживач – місцеве джерело енергії» регулярно виникають дисбаланси між виробництвом і споживанням енергії або між потребою в її видах, наприклад:

потужність сонячних батарей і вітрогенераторів змінюється, в залежності від погодних умов, а споживання електроенергії від погоди може не залежати або змінюватися в протилежний бік;

у зимовий період споживання теплової енергії залишається постійно високим, а споживання електроенергії змінюється за часом доби.

Наявність підключення до загальної електричної мережі дозволяє компенсувати нестачу електроенергії, за рахунок її споживання від загальної мережі, а, в разі надлишкового виробництва електроенергії власним джерелом, – видавати її до мережі, з отриманням відповідного доходу.

Такий підхід дозволяє:

знизити втрати електроенергії при транспортуванні через максимальне наближення електрогенераторів до споживачів електрики, аж до розташування їх в одній будівлі;

зменшити кількість, протяжність і необхідну пропускну здатність магістральних ліній електропередачі;

пом'якшити наслідки аварій на центральних електростанціях і головних лініях електропередач, за рахунок наявності власних джерел енергії;

забезпечити взаємне багаторазове резервування електрогенеруючих потужностей (частково);

знизити вплив на навколишнє середовище, за рахунок застосування засобів альтернативної енергетики, більш повного використання потенційної енергії викопного палива.

Для реалізації концепції розподіленої енергетики необхідне виконання низки умов, у тому числі:

1. *Технічних*: наявності систем двостороннього обліку, узгоджена робота місцевих та центральних генераторів, відповідні системи захисту для всіх варіантів роботи місцевих та центральних генераторів, підтримка стабільності напруги і частоти в загальній мережі.

2. *Організаційних*: має бути налагоджена взаємодія між усіма учасниками, щоб уникнути перевантажень генеруючих потужностей або будівництва зайвих, які будуть простоювати.

3. *Правових та економічних*: повинна бути передбачена юридична можливість продажу споживачами надлишків енергії власного виробітку, повинен існувати розвинений ринок електроенергії або встановлено економічно привабливі для всіх учасників тарифи на генерацію, споживання і транзит електроенергії.

4. *Технологічних*: повинні бути доступні економічно ефективні пристрої для місцевого виробництва енергії (сонячні батареї, вітрогенератори, когенераційні установки).

Поступова відмова від потужних центральних електростанцій і остаточна

децентралізація енергосистем можлива, за умов впровадження інтелектуальних механізмів керування розподіленими енергетичними ресурсами та їх системної інтеграції [8, 15]. В цьому контексті, як для споживачів, так і для постачальників електроенергії, особливості системи розподіленої генерації, окрім застосування ВДЕ, мають визначатись також рівнем автоматизації процесу генерації та розподілу енергії.

Таким чином, в структурі розподіленого електропостачання суттєве місце займає споживач електроенергії, який, з розвитком технологій відновлюваної енергетики та систем керування розподілом, якістю та надійністю постачання енергії, може не тільки пасивно споживати електроенергію від зовнішніх джерел, а і бути активним учасником функціонування електроенергетичної системи. При цьому наявність зв'язку із загальною електричною мережею, дозволяє компенсувати нестачу електроенергії, за рахунок її споживання від загальної мережі, а, в разі надлишкового виробництва електроенергії власним джерелом, – видавати її до мережі, з можливістю отримання відповідного зиску.

Чи не найбільшими споживачами енергії є будівлі різного призначення. За даними Європейського Союзу [89], близько 40 % всієї енергії споживають саме будівлі та споруди. Очевидно, що електроенергія є основним видом енергії, яку отримує будівля, як енергетичний об'єкт, для подальшого перетворення в механічну енергію, тепло, світло тощо. Тому питання електропостачання нерозривно пов'язано з енергоефективністю та енергозбереженням будівель та суттєво впливає на технології їх побудови. В цьому контексті можна стверджувати, що будівлі, за певних умов, можуть займати одне з провідних місць в системі розподіленої генерації енергії. Проте, визначальним фактором впливу будівель, як активних споживачів, на розподілену генерацію є ступінь їх енергоефективності та спроможність автономно виробляти енергію в достатній кількості і якості, незалежно від енергетичної мережі.

1.4 Різновиди енергоефективних будинків. Технології побудови

Відповідно до Директиви Європейського Союзу про енергетичну

ефективність будівель (EPBD) [89], з 2021 року енергетичні показники всіх нових будинків мають відповідати показникам будівель з мінімальним або нульовим споживанням енергії? на шляху до енергетичної нейтральності. Тобто будівельна галузь має орієнтуватись на зведення, як мінімум, пасивних будівель.

Сучасні будівлі за енергоефективними технологіями побудови поділяють на [8, 68]:

пасивний будинок, попит енергії на опалення якого не може перевищувати $15 \text{ кВт}\cdot\text{год}/(\text{м}^2 \text{ на рік})$.;

будівля нульової енергії (будівля, що зовсім не потребує додаткової енергії на опалення ($0 \text{ кВт}\cdot\text{год}/\text{м}^2\cdot\text{рік}$), крім тієї, що сама виробляє);

будівля плюсової енергії (тобто така, що виробляє, за допомогою встановлених на ній сонячних батарей, колекторів, рекуператорів, теплових pomp тощо, більше енергії, ніж сама потребує).

Пасивний будинок (англ. *Passive house (PH)*) – енергоефективна будівельна технологія, яка створює комфортні умови проживання та одночасно є економічною і мінімально впливає на навколишнє природне середовище [50, 51].

Джерело [8] дає наступне визначення стандарту PH: «Пасивний Будинок – будівля, в якій тепловий комфорт (ISO 7730) досягається виключно за рахунок додаткового попереднього підігріву (або охолодження) маси свіжого повітря, необхідного для підтримання в приміщеннях повітря високої якості, без його додаткової рециркуляції».

Енергоефективність в даних будівлях досягається переважно за рахунок архітектурних та конструктивних рішень. В пасивному будинку тепло генерується «пасивно», т. т. завдяки наявності лише внутрішніх джерел тепла, сонячної енергії, що потрапляє через вікна, і шляхом підігріву свіжого повітря, яке надходить через припливну вентиляцію [8].

Концепція пасивного будинку передбачає пасивне використання сонячної енергії, шляхом орієнтування будівлі відносно сонця, та максимального використання пасивного сонячного тепла.

Окрім того, використовуються геліоколектори (від грецьк. *геліос* – сонце,

сонячний) для нагріву води, забезпечується герметичність конструкції будівлі, що позбавляє наявності теплових містків, якісна теплоізоляція та комфортна вентиляція з ефективною рекуперацією тепла. Концепт пасивного будинку наведено на **Рис. 1.3** [58].

Слід зазначити, що ВДЕ виступають ідеальним доповненням до пасивного будинку та є новою вимогою для сертифікації пасивних будівель. Проте інтелектуальні механізми розподілу енергетичним ресурсами, як правило відсутні. А енергоефективність досягається переважно архітектурними та конструктивними способами. Незважаючи на те, що використання ВДЕ та систем керування розподілом є додатковою опцією, без активного зв'язку з центральною електромережею, що практично унеможливорює використання даного типу будівель в системі розподіленої генерації, в даному типі будівель можлива практична реалізація автономного електропостачання.

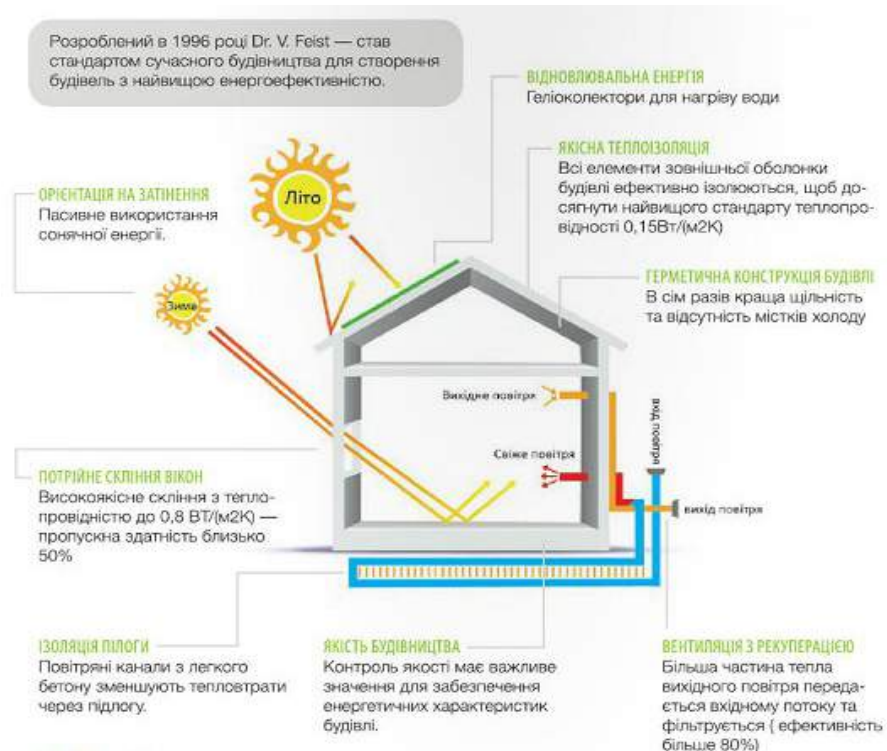


Рисунок 1.3 – Концепт пасивного будинку

Будівля нульової енергії (ZEB), також відома як споруда з чистою нульовою енергією (англ: *Net Zero Energy (NZE)* або *Zero Net Energy (ZNE)*) – це будинок, у якому загальна кількість енергії, споживаної ним на річній основі, дорівнює

кількості відновлюваної енергії, створюваної ним же або на віддалі, завдяки ВДЕ за межами майданчика, з використанням таких технологій, як теплові насоси, високоефективні вікна та будівельна ізоляція, а також сонячні панелі [8, 68].

Будинки з нульовим споживанням енергії не використовують викопне паливо й отримують необхідну енергію з ВДЕ [23]. Вони можуть бути традиційними будівлями, але з великим сонячним колектором, сонячною батареєю чи вітрогенератором, ґрунтовим акумулятором, тепловим насосом тощо (*Рис. 1.4*) [58, 97].

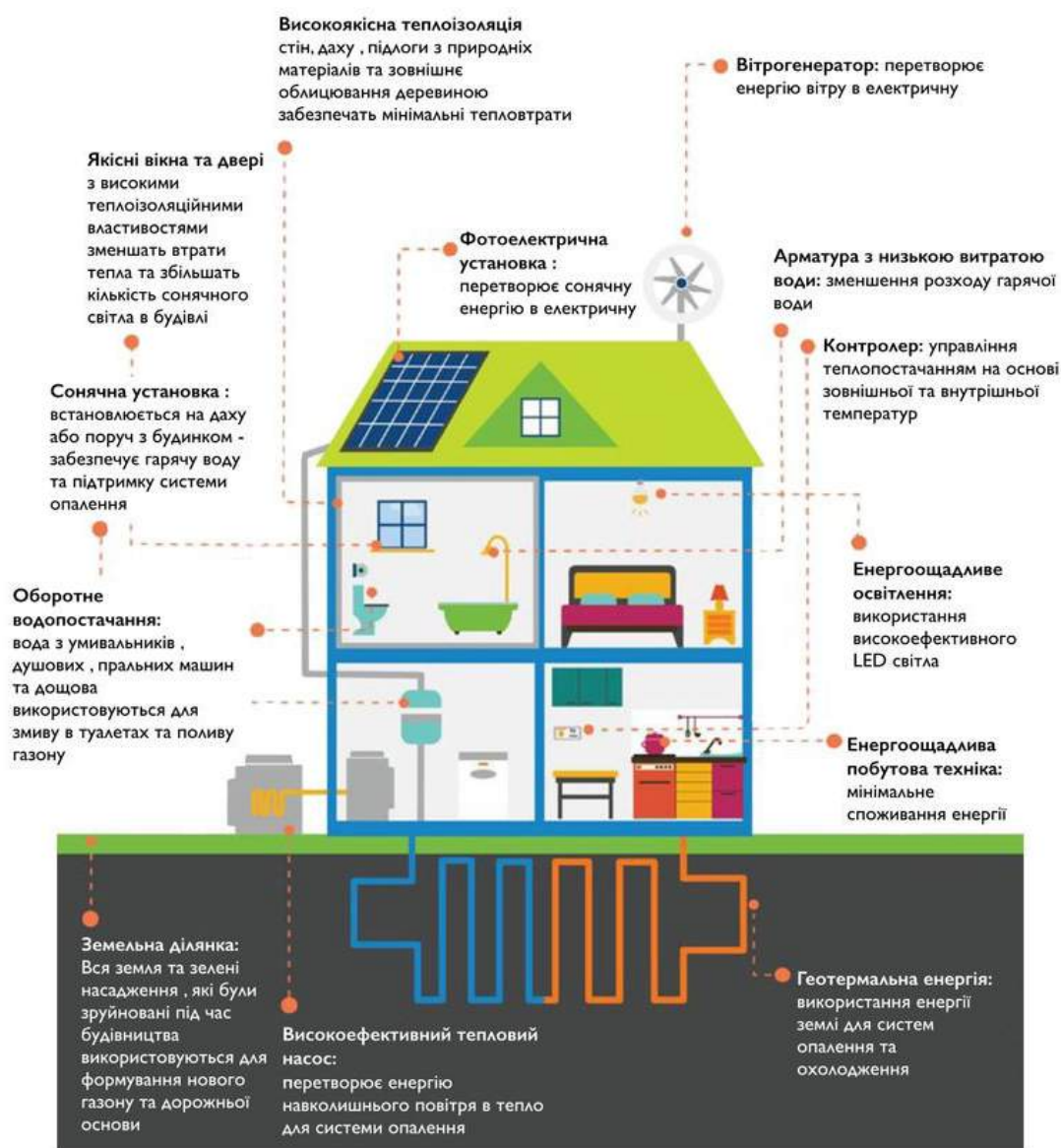


Рисунок 1.4 – Будинок з нульовим споживанням енергії

Більшість таких будинків будують на основі наступних принципів [57]:
зменшення необхідної енергії;

використання надлишків енергії;
зменшення потреби в штучному охолодженні (опаленні);
забезпечення високоефективними САК мікрокліматом та іншими системами, зокрема освітлення;
забезпечення ВДЕ: сонцем, вітром тощо.

Використання ВДЕ в будинках з нульовою енергією є обов'язковою умовою. Але рівень споживання енергії будівлею дорівнює обсягу її автономного виробництва, без участі центрального електропостачання. З огляду на це, системи керування забезпечують лише внутрішній розподіл енергії. Поруч з пасивним будинком, даний тип будівель також технологічно неможливо використовувати в системі розподіленої генерації, проте автономне електропостачання є обов'язковою умовою технології побудови.

Активний будинок (англ. *active house*), також *будинок з позитивним енергобалансом* (*energy plus house*), *будинок за стандартом «енергія плюс»* – будівля, яка виробляє енергії для власних потреб більш, ніж в достатній кількості. Загальний річний обсяг енергоспоживання є позитивним, на відміну від будинку з низьким енергоспоживанням [8, 68]. Основою для активного будинку є об'єднання рішень, розроблених Інститутом пасивного будинку (Німеччина), і технологій *«розумного дому»*.

Розумний дім (*розумний будинок / smart home, digital house*) – система домашніх пристроїв, здатних виконувати дії і вирішувати певні повсякденні завдання без участі людини [8]. Функціонально пов'язуються між собою усі електроприлади будівлі, якими можна керувати централізовано. Прилади можуть бути під'єднанні до комп'ютерної мережі, що дозволяє керувати ними за допомогою ПК та надає віддалений доступ до них через Інтернет.

Завдяки інтеграції інформаційних технологій у домашні умови, усі системи та прилади узгоджують виконання функцій між собою, порівнюючи задані програми та зовнішні показники (обстановки) [8], а поєднання згадуваних технологій, дозволяє спроектувати будівлю, яка, мінімально споживаючи та витрачаючи енергію, здатна «інтелектуально» розпоряджається нею (*Рис. 1.5*) [2].

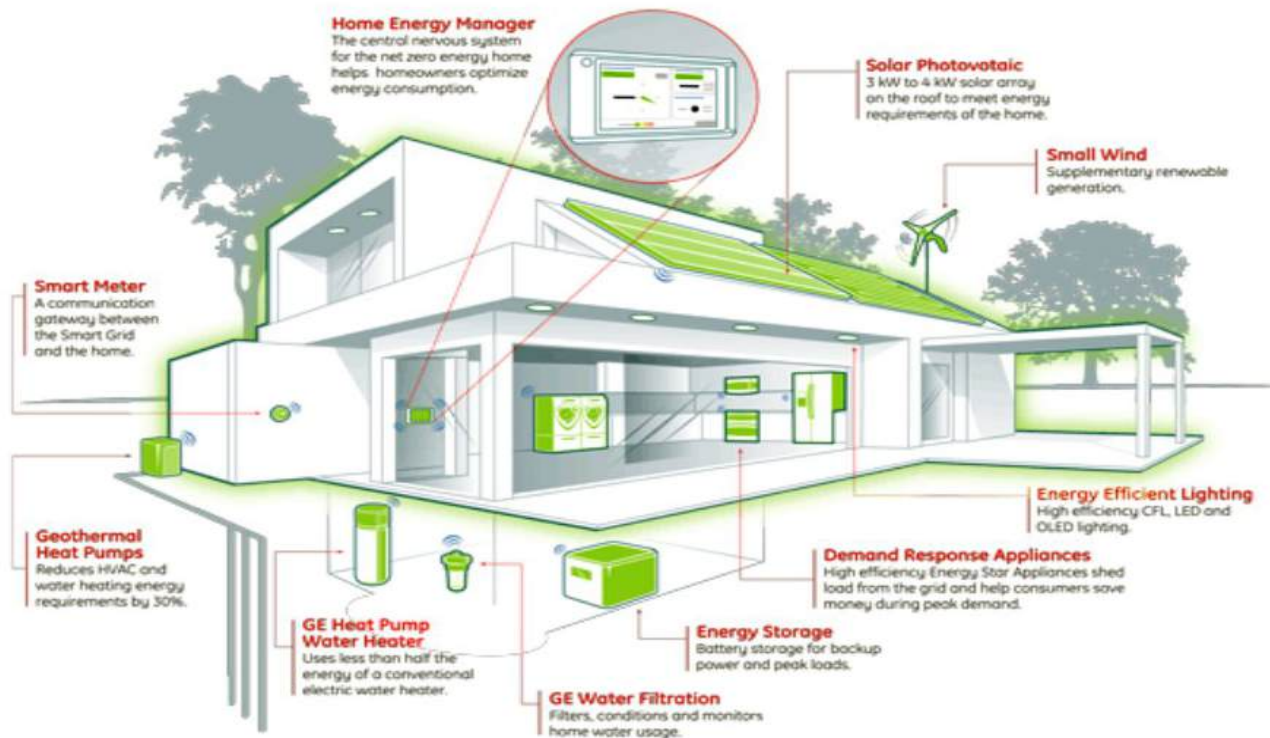


Рисунок 1.5 – Активний будинок

Отже, активний будинок – це будинок, здатний забезпечити енергією не тільки себе, але й інших споживачів.

До основних переваг активних будинків можна віднести наступні [2]:

немає потреби в жорсткій економії енергії;

власники таких будинків можуть не турбуватися про майбутнє подорожчання енергоносіїв;

підвищений комфорт, за рахунок рівномірного розподілу тепла в будинку;

при вдалому проектуванні та за рахунок САК, можна ефективно використовувати енергію сонця.

В цілому, зважаючи на технології побудови, нормативні вимоги до енергоефективних будівель, саме активні будинки, побудовані за концепцією «Smart home», в яких зокрема впроваджено комбіноване використання ВДЕ з інтелектуальними системи керування, оптимально виступають в ролі активного споживача енергії, що передбачає використання його, як самостійного джерела енергії, в системі розподіленої генерації. При цьому ефективність активних

будівель, в ролі джерела енергії для сторонніх споживачів, в певній мірі залежить від кількості та якості автономного виробництва ними енергії.

1.5 Початкові дані для проектування та дослідження

Виходячи з обраного об'єкта і предмета дослідження, необхідно спроектувати інтелектуальну систему керування автономним електропостачанням будівлі, на основі ВДЕ, яка дозволяла б акумулювання енергії у години мінімального енергоспоживання та з використанням концепції «Smart home».

В якості експериментальної будівлі обрано торговельний центр, з розміщенням на території Кіровоградської області. Електротехнічні показники будівлі представлені у *Табл. 1.1*.

Задамося початковими проектними відомостями.

Електропостачання 0,4 кВ. Точка забезпечення потужності – комбіноване використання ВДЕ, з можливістю живлення від зовнішньої лінії електропостачання.

Електрообладнання та електроосвітлення. Для розподілу електроенергії до споживачів, що проектуються, передбачено головний розподільчий щит (ГРЩ) з необхідними комутаційно-захисними апаратами. Щит ГРЩ-0,4 кВ підключено від шафи обліку.

Таблиця 1.1 – Основні електротехнічні показники будівлі

Основні технічні показники	Значення
Напруга живлення	~380/220В
Категорія надійності електропостачання	ІІІ
Встановлена потужність	136,2 кВт
Розрахункове навантаження	100,0 кВт
Система заземлення	TN-C-S
Прогнозуємі річні витрати електроенергії	270,0 тис. кВт.год

Щит електропостачання споживачів об'єкта І-ї категорії (аварійне

освітлення, система протипожежного захисту, пожежна сигналізація, сигналізація загазованості) підключено від одного вводу проектного ГРЩ двома лініями через АВР.

Для розподілу електроенергії по функціональним приміщенням передбачено розподільчі щити ЩР-1, ЩР-2, ЩР-3, ЩР-4 та ЩР-5 з необхідними комутаційно-захисними апаратами. Силовими струмоприймачами будівлі є сантехнічне та технологічне електрообладнання.

Система освітлення. Передбачено робоче (загальне) і евакуаційне освітлення (~220 В). Освітленість приміщень представлено мережею світильників зі світлодіодними лампами з наступними характеристиками: 231 лампа по 40 Вт; 50 ламп по 15 Вт; 22 лампи по 24 Вт та 10 ламп по 3 Вт. Керування світильниками освітлення комбіноване – індивідуальне, вимикачами за місцем та автоматичне, дистанційно за відповідною програмою САК. Керування фасадним освітленням виконується автоматично, за допомогою САК.

Сигналізація наявності газу. Передбачено контроль довибухонебезпечних концентрацій паливного газу (метану) в повітрі приміщень цокольного поверху. В коридорі цокольного поверху на стіні під стелею встановлюються прилади СГБ15Г, які підключаються від щита РЩ (І категорія). Якщо концентрація метану в повітрі перевищує допустиму, інформація передається на пульт оператора, а прилади видають світловий і звуковий сигнали.

Система опалення. В якості джерела теплопостачання для опалення приміщень будівлі обрано електричну енергію. Система розподілу представлена пластинчастим рекуператором. Система тепловіддачі складається з 4 електротермічних обігрівачів (тенів), вмонтованих у припливно-витяжні установки: один – потужністю 21 кВт, два – потужністю 15 кВт, і один – потужністю 3,3 кВт, з автоматичним регулюванням теплового потоку.

Вентиляція приміщень будівлі відбувається в примусовий спосіб системою припливно-витяжних установок та вентиляторів.

Система постачання гарячої води виконана індивідуальними побутовими водонагрівачами у кількості 4-х штук потужністю 1.5 кВт кожен, що

монтуються в санітарних приміщеннях.

Проектування системи САК автономним електропостачанням будівлі, в цілому, має містити наступні етапи [63, 64]:

- формування початкових даних для проектування та вибір функціональних підсистем, які повинні увійти до складу єдиної САК;

- формування вимог та розробка загального концепту (ескізу) роботи та взаємодії різних модулів системи, на основі початкових даних;

- вибір джерел енергії та розробка систем електропостачання та резервного електропостачання;

- вибір технічних засобів електрофікації та автоматизації;

- вибір та моделювання автоматичного регулятора:

- вибір програмно-апаратної платформи реалізації автоматичного регулятора САК; розробка мікроконтролерної системи керування;

- проектування пунктів керування та моніторингу;

- розробка схем електропостачання та автоматизації;

- моделювання та перевірка ефективності систем електропостачання та автоматизації.

РОЗДІЛ 2

ПРОЕКТУВАННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ САК АВТОНОМНИМ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯМ З ЕЛЕМЕНТАМИ «SMART HOME»

2.1 Особливості концепції «Smart home»

В сучасних будівлях САК займають провідну роль, забезпечуючи узгоджений взаємозв'язок складного комплексу інженерних систем і обладнання. Систему пристроїв будівель здатних, завдяки впровадженню САК, виконувати дії і вирішувати певні завдання без участі людини, прийнято називати *розумним будинком* (англ. *smart home, digital house*) [8, 76, 82, 88]. Усі електроприлади в такій будівлі функціонально пов'язуються між собою, з можливістю керувати ними централізовано. Структурно система складається з певної кількості модулів вводу-виводу, які збирають дані з датчиків, здійснюють первинну обробку інформації і передають її до центрального контролера комплексу автоматизації будівлі. В свою чергу, контролер аналізує отриману інформацію і видає керуючий сигнал, залежно від заданого алгоритму, до виконавчих пристроїв.

Отже, система розумного будинку включає три основні типи пристроїв [8, 88]:

Контролер (хаб) – керуючий пристрій, що з'єднує всі елементи системи один з одним і зв'язує її з зовнішнім світом.

Датчики (сенсори) – пристрої, які отримують інформацію про зовнішні умови. Це зовнішні панелі та вимикачі, датчики фізичних величин (температури, вологості, освітленості, присутності і руху, звуку тощо), терморегулятори, таймери тощо.

Актuatorи – виконавчі пристрої, безпосередньо виконують команди. Це найчисленніша група, в яку входять розумні (автоматичні) вимикачі, розумні (автоматичні) розетки, розумні (автоматичні) клапани для труб, сирени, клімат-контролери, регулятори освітленості (димери), релейні модулі, елементи керування жалюзіями, радіатори опалення і так далі.

До основних функцій розумного будинку, які забезпечують зниження експлуатаційних витрат та підвищення безпеки і комфорту, відносяться:

надійна та проста у користуванні система безпеки, що включає систему пожежної безпеки, охоронної сигналізації, технічної сигналізації, системи контролю доступу та відеонагляд;

автоматика будівлі дозволяє: покращити комфортні умови життєдіяльності, шляхом впровадження технологій, спрямованих на звільнення людей від побутових турбот; керувати параметрами мікроклімату в приміщеннях; спростити побутові задачі для людей з обмеженими можливостями;

орієнтування на енергозбереження: інтелектуальний дім – це не енерговитратна система, яка дозволяє знизити витрати на електричну та теплову енергію, зокрема через автоматичне керування системами електропостачання, корекцію освітлення, у залежності від часу доби та пересування людей по приміщенню; можливий контроль та моніторинг за електропостачанням, протіканням води та газу;

можливість керування інтелектом будівлі та обладнанням централізовано, зокрема через інтерфейс, за допомогою телефонної лінії, мобільного зв'язку або мережі Інтернет.

Тотожним до поняття «Smart home», яке більше вживається в побутовому спілкуванні [76, 88], у вітчизняних наукових та професійних колах під цим визначенням розуміють сукупність обладнання і системи автоматизації, моніторингу та керування будівлями (АМУБ), що надають ефективні функції керування електропостачанням, опаленням, вентиляцією, охолодженням, гарячим водопостачанням, освітленням, живленням побутових пристроїв тощо, що призводять до функціональної та енергетичної ефективності експлуатації будівель [19, 82]. Комплексні та інтегровані функції енергозбереження та відповідні режими експлуатації АМУБ можуть бути сконфігуровані для фактичного використання будівель, залежно від реальних потреб споживача, для уникнення зайвого використання енергії та виділення CO₂.

Окрім того, у сучасному світі, поряд із загальноновживаним «Smart home» та вітчизняними АМУБ, для ефективного та надійного забезпечення функцій автоматизації, які підвищують комфорт та безпеку при значному зменшенні

енергоспоживання, оперують поняттям інтелектуальних систем автоматизації будівель (англ. *BAS – Building Automation System*), також відомі як системи керування будівлями (англ. *BMS – Building Management Systems*) та системи керування енергоспоживанням будівель (англ. *BEMS – Building Energy Management Systems*) [94]. Дані системи поєднують широке коло комп'ютеризованих САК будівлею, від контролерів спеціального призначення у віддалених автономних станціях, до більш великих комп'ютерно-інтегрованих технологій (**Рис. 2.1**) [76].

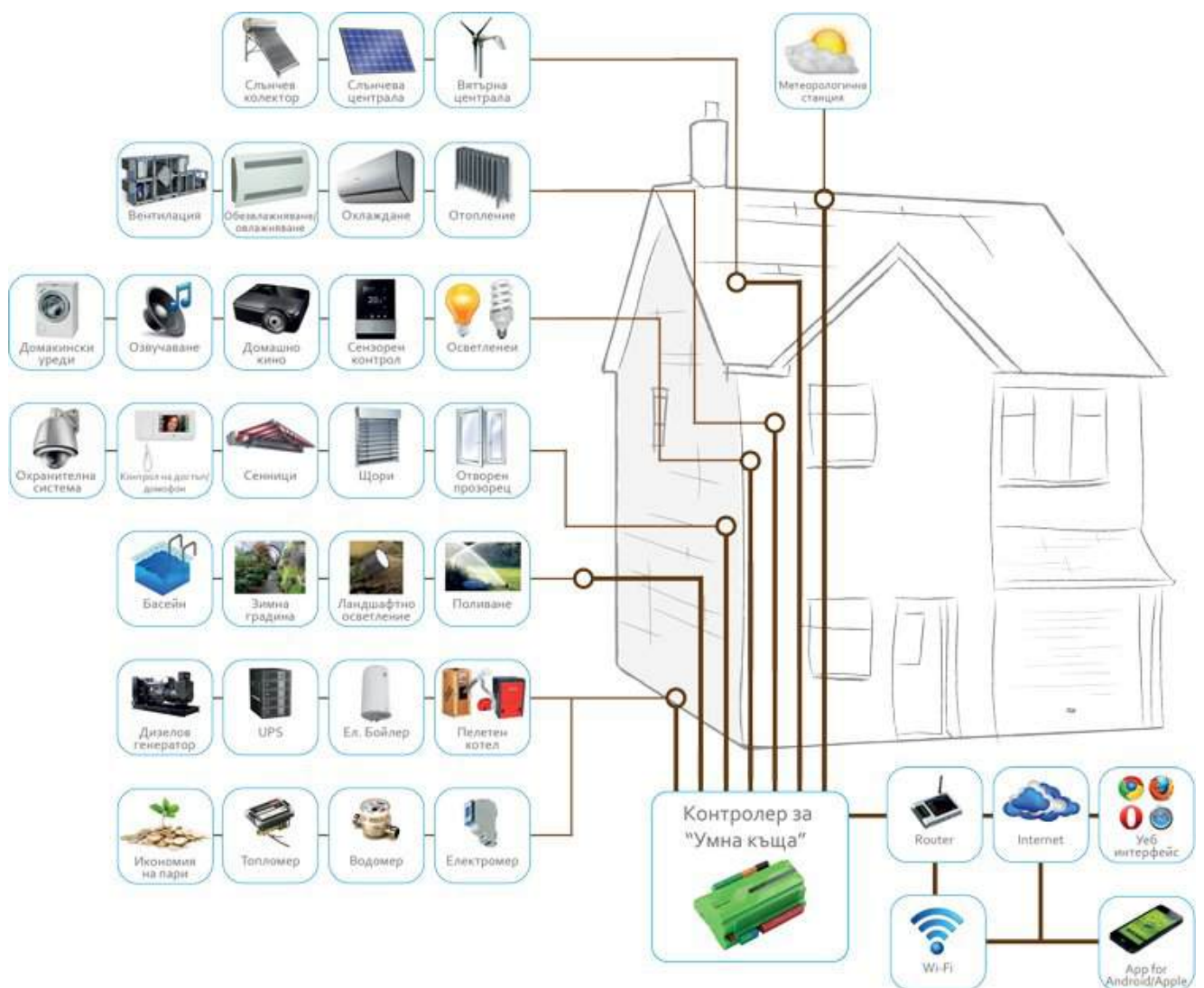


Рисунок 2.1 – САК енергоефективним будинком (Smart home)

Система автоматизації будівлі пов'язує всі системи в одне ціле, що дозволяє в ефективний і економічний спосіб керувати об'єктом з одного місця. BMS контролює робочі параметри для кожного пристрою, повідомляє про проблеми і

збої. Система зазвичай надає графічний інтерфейс, який дозволяє переглядати та змінювати параметри роботи BMS [8, 94].

BMS інтегрує системи керування, насамперед, технічними функціями будівлі, які можуть бути згруповані у дві підсистеми (див. *Рис. 2.1*):

1) Живлення і керування підсистемою електрики:

- безпека та електрообладнання;
- вимірювальні системи;
- контролю та моніторингу завдань;
- підключення енергетичних установок;
- освітлення;
- обладнання та аварійного електропостачання системи;
- транспорт по вертикалі і горизонталі;

2) Підсистема керування комфортом:

- клімат-контроль;
- контроль вентиляції;
- керування обігрівом;
- керування освітленням;
- керування звуковою системою;
- керування системою паркування;
- підтримка аудіо-відео;
- погода.

У загальному вигляді BMS можна представити у вигляді певних рівнів контролю та керування (*Рис. 2.2*) [93].

Польовий рівень (англ. *Field level*). Складається з усіх пристроїв, які фізично керують, контролюють або виявляють ті чи інші параметри об'єктів керування. Це такі пристрої, як приводи, датчики руху, датчики тиску, датчики температури та вологості, датчики диму, клапани, заслінки, вентилятори, зчитувачі карток, двигуни, спринклери, вимикачі світла, спеціальне обладнання лікарень тощо. Більшість із цих пристроїв не мають власного «інтелекту». Вони або інформують про свій статус, або реагують на сигнали керування.

Рівень керування та контролю (англ. Control level). Даний рівень містить всі сучасні контролери, які контролюють, регулюють та керують пристроями польового рівня в режимі реального часу. Сьогодні ці контролери, як правило, цифрові і на основі мікропроцесорів. Це дає можливість вільно їх програмувати на відповідні алгоритми регулювання:

пропорційне керування;

інтегральне керування;

диференціальне керування;

будь-який інший логічний елемент керування або комбінація логічного керування.

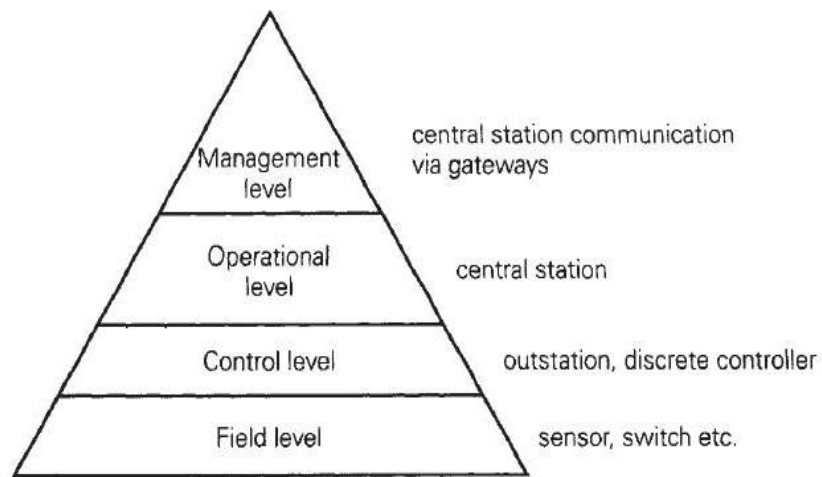


Рисунок 2.2 – Рівні контролю та керування BMS

Сучасні використовувані контролери можна поділити на дві категорії:

PLC – програмовані логічні контролери;

RTU – віддалені термінали.

PLC працюють подібно до сучасного комп'ютера. Їх можна запрограмувати на ту чи іншу дію та будь-яку кількість вхідних даних і контролювати будь-яку кількість вихідних даних, якщо контролери мають достатню обчислювальну потужність і порти. PLC часто можна розширити стійками, які містять порти вводу/виводу, підключені до однієї з внутрішніх шин PLC. Є також більш передові PLC, які часто називають Soft-PLC. Вони працюють на більш «просунутій» операційній системі (наприклад, Windows) і можуть бути

під'єднанні до дисплея та клавіатури.

RTU, зазвичай, мають меншу обчислювальну потужність і менше портів, ніж PLC. Це тому, що кожен RTU будується для конкретного завдання та має відповідні розміри. Як правило, RTU постачається попередньо запрограмованим, тому користувачеві залишається лише налаштувати його.

У більшості інших аспектів PLC та RTU схожі, і між ними немає чіткої межі класифікації. Зазвичай, виробник вводить до системи керування RTU, польову мережу та всі необхідні пристрої польового рівня. Це називають одиницею з інтегрованим контролем. У найпростішому випадку, PLC або RTU працює, як окрема одиниця, без взаємодії з іншими PLC, RTU або обладнанням на рівні керування. Для того, щоб спілкуватися, PLC або RTU можуть бути під'єднані до основної мережі та обмінюватися даними через систему SCADA або CCS, центральну станцію керування або мати невелику локальну однорангову мережу, в якій може спілкуватися обмежена кількість PLC або RTU.

Рівень оператора та менеджменту (англ. Operational and management level). Даний рівень включає всі пристрої, які керують будівлею і контролюють її системи автоматизації та взаємодіють з персоналом та Інтернетом.

Зокрема це можуть бути.

бази даних, які реєструють діяльність;

веб-сервери;

панелі оператора;

CCS – центральну станцію керування (англ. Central Control Station);

сервери, які транслюють повідомлення на різні протоколи.

Веб-сервер – це точка доступу до системи автоматизації будівлі, яку можна використовувати для декількох різних цілей. Допускає дистанційне обслуговування, можливість відправки сигналізації для обслуговуючого персоналу, можливість читання стану кількох систем на одне місце тощо.

Залежно від того, наскільки централізованою чи децентралізованою є система, CCS можуть відрізнятися. У централізованій системі CCS може виконувати значну частину контролю в реальному часі, і PLC та RTU здебільшого

працюють, як вузли, які лише отримують і надсилають дані. В децентралізованих системах CCS не виконує жодного керування в реальному часі, а PLC і RTU повинні мати можливість працювати самостійно, якщо контакт із CCS переривається. CCS координує PLC і RTU і може виконувати каскадне керування.

Каскадне керування означає, що керування розділене на два рівні: один рівень контролює змінну, задану для іншого рівня [93]. Наприклад, PLC контролює клімат у кімнаті. Один із параметрів, який він може контролювати це температура припливного повітря. Замість того, щоб безпосередньо керувати пристроями в блоці обробки повітря, він контролює задане значення для другого PLC. Тоді цей другий PLC запускає власний контур керування, який керує пристроями в установці обробки повітря, тому він забезпечує задану температуру.

Каскадне керування може здійснюватися кількома способами:

- між кількома функціями керування в одному PLC або RTU;
- через PLC, RTU або CCS на PLC або RTU;
- вручну персоналом на PLC або RTU.

Усі функції, описані для рівня керування, можуть бути реалізовані в SCADA-системах. SCADA містить всі рішення, які виконують функцію «наглядового контролю та даних». Найпростіша система SCADA – це людина, яка вручну регулює задані значення для PLC і RTU, записує і аналізує їх продуктивність. Існує багато технічних рішень для SCADA, які доступні на ринку систем, які забезпечують ці функції.

В цілому BMS є вигідним, з точки зору переконливої економії енергії, та має ряд переваг, серед яких [93]:

- моніторинг;
- зв'язок;
- економія персоналу на обслуговуванні;
- введення в експлуатацію.

Моніторинг. Однією з головних переваг BMS є постійний моніторинг інженерних систем будівлі, а також можливість переглядати та аналізувати дані моніторингу пізніше. Це дозволяє інженерам і технікам досягти кращого

розуміння процесів життєзабезпечення своїх будівель, що часто призводить до їх вдосконалення та підвищення рівня енергозбереження. Енергоефективність можна перевірити за допомогою системи моніторингу BEMS та даних журналів лічильників палива та електроенергії.

Зв'язок. Додатковим бонусом BEMS є те, що інформація може бути передана засобами телемеханіки на великі відстані від віддалених об'єктів до центральної станції. Це економить значний час і зусилля, пов'язані з поїздкою до місць розташування об'єктів контролю та керування для перевірки параметрів, якщо немає місцевого оператора установки.

Економія персоналу на обслуговуванні. Із BEMS також можна заощадити персонал. Ряд операторів часто можна замінити віддаленою станцією BEMS, або один оператор може охопити більше будівель. В першу чергу, цю можливість в майбутньому будуть застосовувати більшість енергоменеджменту та керуючі компанії. Коли віддалені станції регулярно спілкуються з центральною станцією, розміщеною в штаб-квартирі організації, данні автоматично надсилаються з віддалених станцій, і, якщо виникають проблеми (наприклад, низька температура або вимкнений котел), то ситуація може відновитися до нормального стану часто ще до того, як клієнт усвідомлює будь-яку несправність об'єкта.

Введення в експлуатацію. Після введення в експлуатацію системи BEMS, вона дуже корисна для точного налаштування контролю під час використання будівель і споруд. Особливо це досягається в будівлях з низьким енергоспоживанням змішаного типу, де зберігання тепла в приміщеннях та нічна вентиляція є складними для контролю процесами. Також є можливість застосовувати механічні та електричні можливості від BEMS, якщо є сполучені пристрої вимірювання потоку та клапани й заслінки, що регулюють або балансують потік.

Основними виробниками BMS є бренди «Siemens», «Schneider Electric», «Honeywell» та багато інших.

Загалом, поряд з безперечними перевагами систем керування будівлями, основним питанням практичного застосування сучасних систем «Smart home» від

різних виробників є їх сумісність між собою, яка теоретично має досягатись через відкриті протоколи, такі як BACnet, Batibus, LonWorks, EIBus та KNX, що покликані покращити взаємодію між системами. Дана особливість має враховуватись користувачами при виборі та впровадженні САК.

2.2 Система електропостачання з ВДЕ

До основних завдань, які необхідно вирішити при створенні комплексних енергосистем, на основі ВДЕ, є забезпечення їх надійними джерелами енергії, з можливістю її акумулювання та створення ефективного допоміжного обладнання для зниження флуктуацій параметрів енергосистем і підтримання необхідних робочих параметрів, що успішно може бути досягнуто, шляхом впровадження автоматизованого керування режимами їх роботи [19, 51, 53].

2.2.1 Вибір оптимальних джерел енергії системи електропостачання

Перспективними напрямками освоєння енергетичного потенціалу України є вітрова, сонячна енергія, і енергія землі (геотермальна енергія), енергія води (гідроенергія малих рік) та біоенергетика. Проте рівень можливого використання окремих джерел енергії має регіональну специфіку [10, 25, 27, 28, 43].

З огляду на масштаб використання, технічні, технологічні та конструктивні особливості отримання та перетворення енергії, з точки зору застосування її в системах енергопостачання будівель і споруд, на сьогодні найбільш цікавими є енергія сонця, вітру та землі [9, 10, 25, 26, 59, 60].

Окремі розрахунки щодо оцінки енергопотенціалів ВДЕ та створення відповідних карт, проведені на кафедрі автоматизації виробничих процесів ЦНТУ [27, 59, 60], були підтверджені більш розлогими академічними дослідженнями. Відділенням комплексних енергетичних систем на основі ВДЕ Інституту електродинаміки НАН України складено атлас енергетичного потенціалу відновлюваних та нетрадиційних джерел енергії України [41], відповідно до якого наша держава має потужні ресурси сонячної та вітрової енергії.

Потенціал сонячної енергії (**Рис. 2.3** [41]) є досить великим по всіх областях України. Найбільший загальний потенціал сонячної енергії, який становить $45,4 \cdot 10^9$ МВт·год./рік, має Одеська область. А найменший загальний потенціал має Чернівецька область – лише $9,6 \cdot 10^9$ МВт·год./рік.

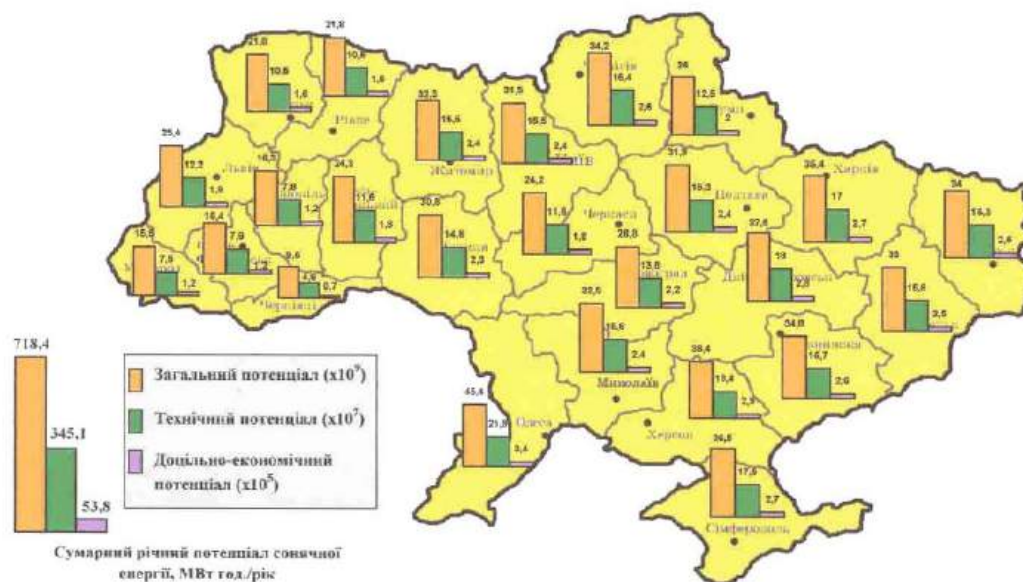


Рисунок 2.3 – Потенціал сонячної енергії на території України

Загалом, карта потенціалу сонячної енергії вказує на можливість широкого впровадження теплоенергетичного та фотоенергетичного обладнання. Але, все ж, перевагу слід більше надати фотоенергетичному обладнанню, яке може використовуватись цілорічно.

Щодо потенціалу вітру, на думку авторів багатьох досліджень, його доцільно використовувати в регіонах України, де середньорічна швидкість вітру близько або перевищує 5 м/с – це переважно східні, південно-східні та південні регіони, а також район Карпат. Карта потенціалу вітрової енергії на території України наведена на **Рис. 2.4** [41].

З точки зору енергоефективності, потенційно привабливим є напрямок використання геотермальної енергії для підтримання належного мікроклімату в громадських та житлових будівлях і спорудах, шляхом її використання для опалення і кондиціювання повітря.

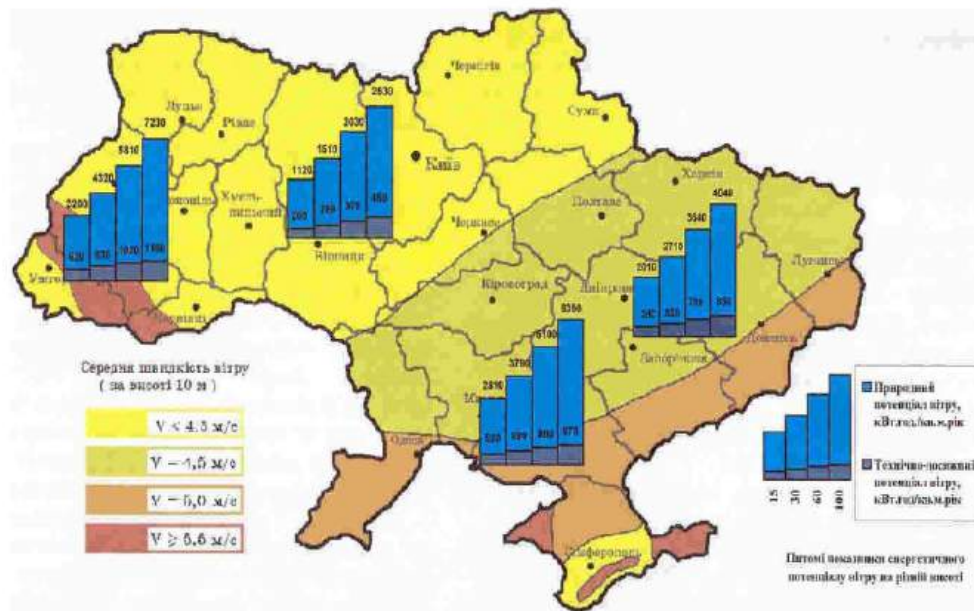


Рисунок 2.4 – Потенціал вітрової енергії на території України

Проте, з огляду на проведенні дослідження [41], геотермальний потенціал території України досить нерівномірний, та потребує додаткового вивчення й економічної оцінки доцільності застосування даного виду енергії за регіонами. Карта потенціалу геотермальної енергії на території України зображена на *Рис. 2.5* [41].

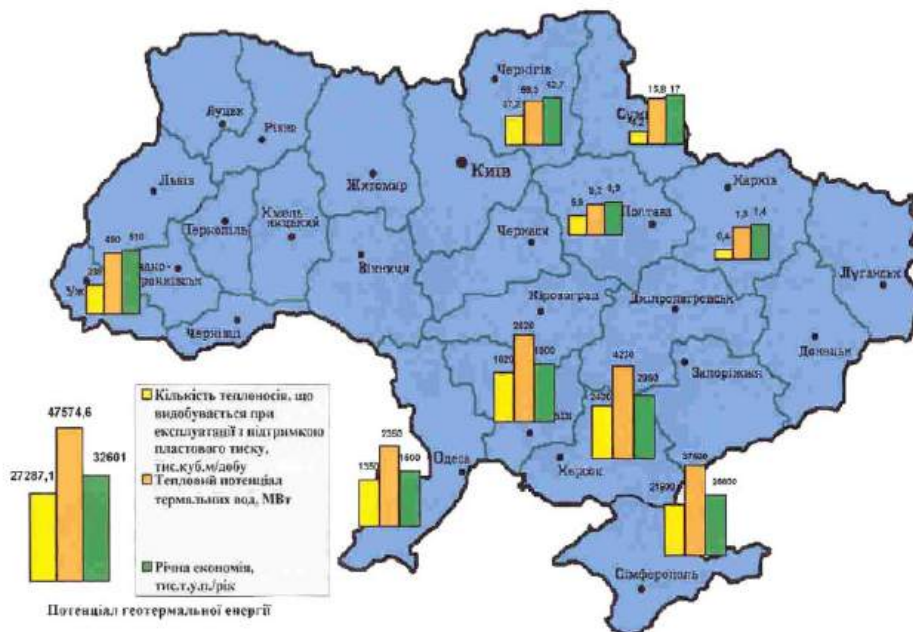


Рисунок 2.5 – Потенціал геотермальної енергії на території України

Загальний аналіз енергетичного потенціалу освоєння ВДЕ, призводить до висновку, що енергія сонця є найдоступнішою та практично невичерпною енергією на земній поверхні, та, на відміну від інших джерел, може бути використаною й перетвореною цілорічно, в тій чи іншій мірі, незалежно від регіону. А досвід європейських та північноамериканських країн свідчить, що сонячні електростанції (СЕС) ефективно можуть працювати навіть взимку і вночі. В свою чергу, енергія вітру може бути використана як додаткове джерело енергії. Енергія землі переважно використовується для систем опалення. Натомість, геотермальні електростанції використовують енергію землі, шляхом подачі пари або гарячої води до електростанцій, які перетворюють тепло в електрику. Таким чином, сучасні технології виробляють електроенергію з гідротермальних ресурсів (гаряча вода/пара), що потребує додаткового технологічного обладнання, що в умовах електропостачання невеликих автономних об'єктів може бути економічно недоцільним.

Вибір того чи іншого типу обладнання в основному залежить від метеорологічних та кліматичних умов місцевості розташування, вартості обладнання, а також кількості енергії, яку необхідно генерувати для гарантованого електропостачання.

Враховуючи технічні та технологічні особливості об'єкта електропостачання – будівлі, природно-кліматичні умови та вимоги до кількості енергії, яку необхідно виробляти автономно, приймаємо рішення застосувати сонячні батареї, вітрогенераторну установку та електроагрегат з двигуном внутрішнього згорання генератори (ЕА з ДВЗ). В якості акумулюючого обладнання системи гарантованого (безперебійного) живлення обираємо зарядну станцію необхідної та доступної потужності.

Сонячні батареї (панелі). У сучасних сонячних енергетичних системах застосовуються два напрямки отримання, перетворення та використання сонячної радіації, які працюють як активні так і пасивні системи.

До активних енергетичних систем відносять сонячні станції, які фотоелектричним та термодинамічними методами виробляють

електроенергію [34, 40, 91, 96].

До пасивного типу енергетичних сонячних систем відносять станції перетворення сонячної енергії в теплову для подальшого опалення, гарячого водопостачання та забезпечення різноманітних технологічних процесів [42, 58, 96].

Найпоширенішим методом отримання електроенергії є фотоелектричний [10, 22, 53], коли здійснюється пряме перетворення сонячної енергії в електричну за допомогою фотоелектричних перетворювачів – сонячних панелей (батарей), зовнішній вигляд яких наведено на **Рис. 2.6**.



Рисунок 2.6 – Зовнішній вигляд сонячних панелей (батарей)

Приклади діючого фотоенергетичного устаткування на будівлях наведено на **Рис. 2.7**.



Рисунок 2.7 – Сонячні панелі на будівлях

Сучасні фотоелектричні джерела енергії можуть забезпечувати живленням споживачів від декількох ватт до сотень мегават, що дозволяє застосовувати дані ВДЕ для широкого кола енергоефективних об'єктів [37, 49].

Серед основних переваг сонячних панелей можна виділити наступні [10, 11, 28, 49, 59]:

- невичерпне джерело енергії;
- можливість повсюдного впровадження;
- екологічність;
- безшумність;
- тривалий термін експлуатації;
- можливість масштабування системи;
- автономність;

Серед недоліків [10, 11, 39, 40, 49] є:

- зниження ефективності в похмуру погоду;
- залежність ККД від орієнтації відносно Сонця;
- необхідність в достатній площі розміщення для отримання необхідної потужності.

На сонові сонячних батарей (панелей) будуються наступні СЕС [10, 37, 96]:

автономні станції для споживачів постійного струму, які застосовуються для електропостачання систем освітлення або спеціальної побутової техніки, що працюють на постійному струмі (потужність таких систем не перевищує 1 кВт);

автономні станції для споживачів змінного струму (потужність таких систем може досягати мегават та залежить від технічної і економічної можливості та необхідності масштабування сонячних панелей);

мережеві станції, призначені для часткового електропостачання споживачів та вироблення енергії для продажу в загальну мережу за «зеленим тарифом» (мережева станція за потужністю технічно і технологічно в основному не відрізняється від автономної, проте через розподільний щит споживача може бути підключена до загальної мережі, тим самим виступати приймати активну

участь в розподіленій генерації електроенергії).

Поєднання функцій автономної та мережевої станції, дозволяє створити гібридну СЕС, яка поєднує плюси обох окремих типів станцій.

САК СЕС дозволяють збільшити вироблення енергії сонячними панелями необхідної кількості і якості та забезпечують:

вибір оптимального режиму роботи сонячних батарей (панелей), у тому числі шляхом їх орієнтування відносно положення Сонця на небосхилі, в режимі реального часу;

контроль за процесом заряду та розряду АКБ;

включення в мережу і набір потужності;

розподіл потоків енергії від сонячних панелей та забезпечення бажаної якості вихідної напруги;

безперервну реєстрацію та накопичення метеорологічних даних, зокрема щодо рівня сонячної радіації, потужності у виробництві електроенергії в різних часових інтервалах (доба, місяць, рік), з метою оцінки ефективності роботи сонячних панелей;

реєстрація та сигналізація щодо всіх несправностей;

передача даних в центр керування енергосистемами та виробнику.

Одним із найважливіших напрямків застосування САК є питання орієнтування сонячних панелей відносно Сонця, з метою отримання на поверхні сонячних приймачів найбільшої інтенсивності випромінювання енергії впродовж світлового дня.

Для розрахунку та моделювання сонячних регенеративних джерел енергії велике значення має висота Сонця. Для кожної окремої точки земної поверхні, актуальна висота Сонця точно визначається двома кутами: кутом положення Сонця над горизонтом (зенітний кут) і азимутальним кутом (азимутом) Сонця. Цікавим є те, що кут положення Сонця залежить не тільки від географічної точки, де знаходиться спостерігач, але й від дати і часу доби. Шляхом певних розрахунків, на основі місцевого часу і часового поясу, в залежності від географічного місця розташування установки (широта, довгота), можна

розрахувати необхідні координати положення Сонця відносно земної поверхні у конкретній точці [37, 49, 59, 96].

Окрім самого розташування Сонця в певний період часу, велике значення для рівня інтенсивності отримуваної енергії має нахил поверхні приймача енергії. За допомогою експериментальних методів було встановлено, що інтенсивність випромінювання на нахилений відносно земної поверхні площині, розташованій перпендикулярно сонячним променям, є більшою, ніж випромінювання на горизонтальній поверхні [37, 59]. Цей факт має враховуватись при проектуванні СЕС, де за допомогою регулювання нахилу сонячних панелей досягається збільшення кількості отримуваної енергії.

Керуючи орієнтуванням сприймаючої плоскої поверхні відносно положення Сонця, тобто повертаючи її таким чином, щоб кут падіння прямував до 90° , ми можемо досягнути максимуму сприйнятої СЕС сонячної енергії [24, 37, 49, 59]. Влітку в ясні дні, за рахунок орієнтування сонячних панелей, випромінювання може збільшуватись до, приблизно, 50 %, а взимку навіть до 300 % (*Рис. 2.8*) [37].

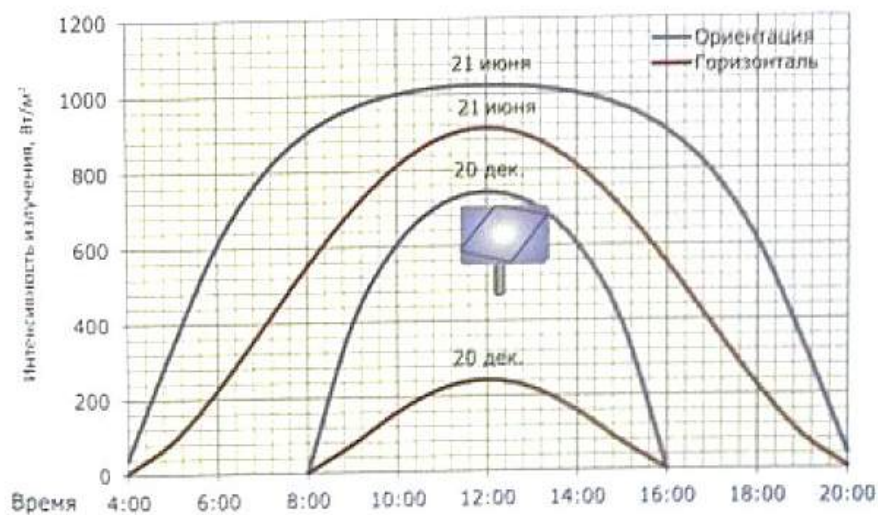


Рисунок 2.8 – Різниці в інтенсивностях сонячного випромінювання на горизонтальній та орієнтованій на Сонце поверхні для ясних днів у місцевості на 50° півн. шир.

Таким чином, маючи добре впроваджену систему орієнтації, можливо

автоматично змінювати оптимальне положення поверхні приймача енергії відносно Сонця, у тому числі із врахуванням оточуючого середовища, яке часто, за рахунок затінення, зменшує інтенсивність випромінювання.

На практиці, в більшості випадків, СЕС монтуються на скатних покрівлях, або стаціонарних конструкціях, які не завжди оптимально орієнтовані на Сонце (див. **Рис. 2.7**). Очевидно, що це може знижувати кількість отримуваної сонячної енергії. Проте, при збільшенні діапазону кутів нахилу і орієнтування знижуватимуться і втрати енергії (**Рис. 2.9**) [37].

Для орієнтації сонячних батарей (панелей) відносно Сонця застосовуються сонячні трекери (геліостати), які являють собою електронно-механічні слідкуючі системи. САК визначає положення Сонця, а електроприводи певним чином повертають систему сонячних панелей.

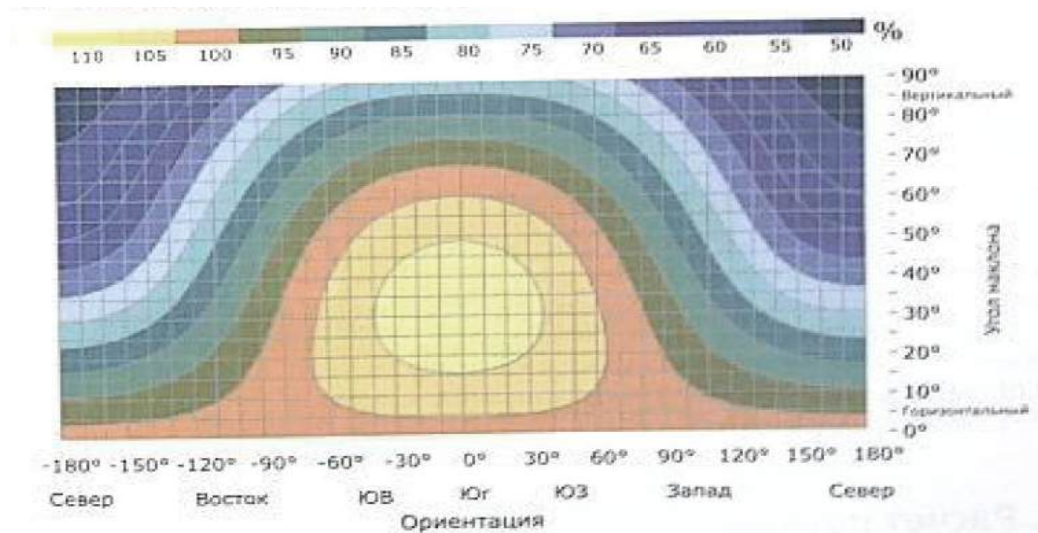


Рисунок 2.9 – Зміна річного сонячного випромінювання, в залежності від орієнтації і нахилу (на відміну від горизонтальної поверхні)

Залежно від ступенів свободи, трекери поділяються на одноосьові та двовісні (**Рис. 2.10**). Тільки при двоосьовій орієнтації, сонячна панель буде постійно оптимально зорієнтована (перпендикулярно падінню сонячних променів). Двоосьовий сонячний трекер забезпечує максимально точну орієнтацію сонячних панелей відносно сонця та максимальний притік сонячної енергії.

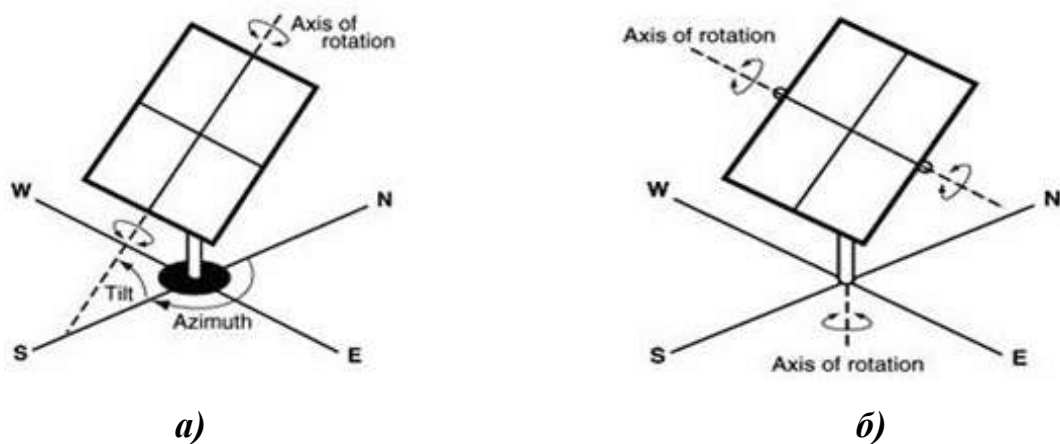


Рисунок 2.10 – Сонячні трекери, що забезпечують орієнтацію плоских сонячних панелей на Сонце:
а) одноосьовий; б) двоосьовий

Очевидно, що найбільш ефективним способом орієнтації сонячних панелей є впровадження системи автоматичного позиціонування трекера, яке може здійснюватись за декількома алгоритмами в режимі реального часу.

Перший передбачає наявність чотирьох напівпровідникових датчиків, що сприймають сонячне випромінювання. САК аналізує вузьконаправлену освітленість кожного з датчиків, розраховує середнє значення струму від пари датчиків, орієнтованих на конкретну вісь обертання та виробляє керуючий вплив на актуатори трекерів, які позиціонують сонячну панель за максимумом сонячного енергетичного потоку. Таким чином система відслідковує рух Сонця та змінює позиціонування трекера. Проте, такий алгоритм має суттєвий недолік, який полягає в тому, що при припиненні потрапляння прямих сонячних промінів на фотодатчики (різного роду перешкоди, затінення), ефективність системи сходить нанівець.

Другий алгоритм ґрунтується на відомостях небесної механіки, враховує постійний рух Сонця зі сходу на захід, відносно азимуту, та з півдня на північ, за зенітом, відносно конкретного місця протягом року, й не залежить від ефективності роботи фотодатчиків, бо працює за заданою програмою (**Рис 2.11**).

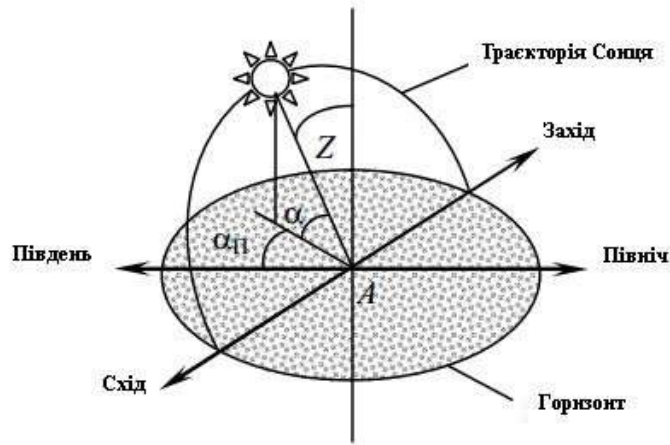


Рисунок 2.11. – Положення сонячних панелей в точці A на земній поверхні відносно сонячних промінів

За даним алгоритмом, вбудованим модулем GPS САК визначається географічні координати (широта, довгота, абсолютна висота) розташування сонячних панелей. Програмою САК, залежно від визначених координат, пори року і часу доби із бази даних обирається відповідна сонячна карта, яка повністю описує траєкторію руху Сонця навколо сонячних панелей.

Отже, для оптимального орієнтування сонячних панелей потрібно враховувати обертання Землі навколо Сонця та навколо своєї вісі, а також зміну відстані від Сонця.

Для визначення положення конкретної сонячної панелі відносно Сонця, необхідно враховувати основні параметри:

широта місця встановлення сонячних панелей φ – показує, наскільки місце знаходиться північніше або південніше від екватора, і становить кут $0^\circ \dots 90^\circ$, що відраховується від площини екватора до одного з полюсів – північного або південного. Для м. Кропивницького $\varphi = 48^\circ 30' 37''$;

висота Сонця (зенітний кут) h :

$$h = \arcsin(\sin\delta \cdot \sin\varphi + \cos\delta \cdot \cos\varphi \cdot \cos t);$$

азимутний кут A :

$$A = \arctan2(\cos\delta \cdot \sin t, \cos\delta \cdot \sin\varphi \cdot \cos t - \sin\delta \cdot \cos\varphi);$$

часовий кут сонця t :

$$t = T_{\text{сон.іст}} - 12:00 \text{ год.};$$

кут сонячного схилення δ – залежить від обертання Землі навколо Сонця, оскільки орбіта обертання має еліптичну форму і сама вісь обертання теж нахилена, то кут змінюється протягом року від значення $23,45^\circ$ до $-23,45^\circ$. Кут схилення стає рівним нулю двічі на рік у дні весняного та осіннього рівнодення;

кут нахилу до горизонту β (змінюється впродовж року до 55° – від 14° взимку (грудень) до 70° влітку (червень));

азимут α ;

істинний сонячний час $T_{\text{сон.іст}}$:

$$T_{\text{сон.іст}} = T_{\text{с.ср}} + EOT;$$

рівняння часу EOT :

$$EOT = 9,87 \cdot \sin 2B - 7,53 \cdot \cos B - 1,5 \cdot \sin B,$$

$$B = (360^\circ \cdot (N - 81)) / 365;$$

де N – порядковий номер дня в році;

середній сонячний час $T_{\text{с.ср}}$:

$$T_{\text{с.ср}} = UTC + \lambda ,$$

де λ – довгота місцеположення в часових одиницях;

всесвітній координатний час UTC :

$$UTC = T_m - N_n ,$$

де T_m – місцевий час,

N_n – часовий пояс.

Таким чином, застосовуючи дані формули, можна визначити положення Сонця в будь-який момент часу відносно будь-якої точки поверхні Землі.

Вітрогенераторні установки. У вітроустановках (ВУ) вітродвигун безпосередньо перетворює енергію вітрового потоку в механічну, з наступним трансформуванням в електричну енергію.

ВУ, які використовують вітродвигун для приводу електричного генератора називають вітроелектричними установками (ВЕУ).

ВЕУ поділяються, за видом струму, на постійного та змінного струму.

ВЕУ поділяються, за рівнем потужності, на чотири групи [10, 65, 96]:

дуже малої потужності (менше 5 кВт);

малої потужності (5...100 кВт);

середньої потужності (100...1000 кВт);

великої потужності (понад 1 МВт).

При виборі номінальних параметрів ВЕУ необхідно враховувати тип навантаження (електрогенератор, водяний насос тощо), тип системи передачі вітрової потужності до споживача та тип системи генерування і акумулювання електроенергії [10].

Одна або декілька груп ВЕУ утворюють вітрову електричну станцію (ВЕС), до складу якої, крім ВЕУ входять [65]:

САК ВЕС;

одна або декілька метеовишок;

акумуляторна батарея;

інвертор;

трансформаторна підстанція (ТП).

САК ВЕС здійснює керування, контроль і облік роботи ВЕС в цілому і кожної ВЕУ окремо. Метеовишка призначена для визначення швидкості і напрямку вітру та видачі цієї інформації в систему керування ВЕС. Трансформаторна підстанція обслуговує декілька ВЕУ і забезпечує підвищення напруги до величини лінії електропередачі на підстанцію. В свою чергу підстанція ВЕС призначена для розподілу і передачі енергії від ВЕС в електромережу енергосистеми.

Існує три класи ВЕУ, в залежності від призначення, умов їх роботи, по відношенню до енергосистеми, до якої вони підключені та способом керування [65, 96]:

Клас А – автономні одногогенераторні вітроустановки, що не підключені до енергосистеми для паралельної роботи. Потужність таких ВЕУ використовується переважно для освітлення, електроживлення маяків, засобів зв'язку тощо, і, як

правило, не перевищує 5 кВт. Якщо енергія таких ВЕУ використовується для опалення, то їх потужність може досягти 20 кВт і більше.

Клас В – комбіноване використання ВЕУ і дизель-генераторів при їх співмірній потужності. Такий варіант звичайний для локальних енергосистем у віддалених місцевостях. Застосовуються системи акумулювання енергії та комплексне керування ВЕУ, дизель-генераторів і системи акумулювання.

Клас С – ВЕУ, що під'єднана до системи набагато більшої потужності, ніж у неї самої, та працює паралельно з цією енергосистемою і називається мережевою. Такий клас ВЕУ застосовується при великомасштабному використанні енергії вітру, яка може суттєво впливати на стан енергетичного балансу всієї енергосистеми країни, досягаючи великих одиничних потужностей (1...10 МВт).

Сучасні ВЕУ, як правило повністю автоматизовані, і САК виконує ряд важливих функцій [65]:

- пуск і зупинка вітродвигуна ВЕУ від датчика швидкості вітру;
- зупинка ВЕУ при аварійних режимах;
- зміна швидкості обертання (для ВЕУ з постійною або ступінчастою зміною швидкості обертання);
- під'єднання до мережі й набір потужності;
- реєстрація та накопичення даних про швидкість вітру, потужності у вироблені електричної енергії в різних часових інтервалах: доба, місяць, рік;
- реєстрація та сигналізація про всі несправності;
- передача даних в центр керування енергосистемами та виробникові;
- установка (поворот) приводу азимута вітроколеса в задане положення відносно швидкості та напрямку вітру і розкручення кабелю.

За розташуванням вісі обертання, ВЕУ поділяють на горизонтально-осьові та вертикально-осьові [10, 65]. На **Рис. 2.12** наведено загальний вигляд таких ВЕУ.



а)



б)

Рисунок 2.12 – ВЕУ. Вид загальний:

а) горизонтально-осьова; б) вертикально-осьова

Електроагрегати з двигунами внутрішнього згорання (ЕА з ДВЗ). ЕА з ДВЗ використовуються для перетворення теплової енергії від спалювання традиційного палива в механічну енергію (роботу). В свою чергу механічна енергія, за допомогою електрогенератора, перетворюється в електричну енергію.

Найголовнішими параметрами ЕА з ДВЗ є [10]: потужність, кількість фаз, тип палива, яке використовується. Діапазон потужностей ЕА з ДВЗ досить широкий і лежить в межах від 2 кВт (для постачання заміських будинків) до 100 кВт (для застосування в промисловості) [81, 87, 96].

За типом струму, що виробляється, ЕА з ДВЗ бувають однофазні та трифазні. Однофазні електростанції використовуються в основному в побутових мережах. Трифазні призначені для живлення промислових об'єктів спеціального устаткування. За типом палива, поділяються на бензинові, дизельні та газові [10, 34, 81].

Основними перевагами бензинових установок з ДВЗ є [10, 81]:

мобільність та компактність (можуть бути встановлені в будь-якому відповідному місці, невеликі розміри та незначна вага);

безшумність та простота у використанні (не вимагають наявності спеціальних знань для експлуатації);

економічність (вартість у декілька разів нижче дизельних та інших аналогів);

широкий робочий діапазон температур (можна експлуатувати навіть при дуже низьких температурах, на відміну від дизельних, які при мінусових показниках запускаються вкрай важко).

Основним недоліком бензинових ЕА з ДВЗ є нетривалий час роботи, тому при необхідності довготривалого функціонування перевагу віддають дизельним ЕА [10].

Дизельні ЕА з ДВЗ мають набагато складнішу конструкцію, ніж бензинові, і, як наслідок, їх вартість значно вища. Кажучи про дешеву експлуатацію дизельних двигунів, не можна не відзначити, що ця дешевизна має місце лише в тому випадку, коли йому не потрібний дуже частий ремонт. Як показує практика, витрати на придбання запчастин і проведення ремонтних робіт двигуна здатні «з'їсти» практично всі заощаджені засоби. При виборі типу ЕА з ДВЗ, перш за все, звертають увагу на такий показник, як витрата пального на 1 кВт·год.

Зазвичай, цей показник наводиться виробниками в паспорті технічних характеристик.

На *Рис. 2.13* представлено вид загальний промислового ЕА з ДВЗ.



Рисунок 2.13. – Промисловий ЕА з ДВЗ. Вид загальний

Зарядні станції. Зарядні станції, забезпечують живлення для різних

споживачів. Принцип їх роботи заснований на перетворенні та накопиченні електричної енергії з центральної або автономної мережі, придатної для зарядки акумуляторних батарей, які є невід'ємною їх складовою. Зарядні станції підключаються до електромережі і мають вбудовані перетворювачі, які забезпечують стабільну та безпечну подачу струму. Вони оснащені різними роз'ємами та інтерфейсами для підключення різних пристроїв. Структурно, основні компоненти зарядної станції включають трансформатори, випрямлячі та регулятори напруги, контролер заряду-розряду акумуляторних батарей, які працюють разом для забезпечення ефективного заряджання та інвертор, що дозволяє перетворювати постійний струм, отриманий від джерел генерації енергії та АКБ у змінний струм. Сучасні зарядні станції часто мають додаткові функції, такі як контроль за температурою, моніторинг стану батареї та автоматичне відключення при досягненні повного заряду, що запобігає перегріванню і продовжує термін служби акумулятора.

Розрізняють два види зарядних станцій: стаціонарні та портативні (*Рис. 2.14*).

Стаціонарні зарядні станції (*Рис. 2.14, а*) встановлюються в певному місці та зазвичай призначені для постійного використання. Ці станції мають високу потужність, що робить їх ідеальними для комерційного використання та для домогосподарств. Деякі з них оснащені функцією інтелектуального керування.



Рисунок 2.14 – Зарядні станції. Вигляд загальний:
а) стаціонарна; б) портативна

Портативні зарядні станції (**Рис. 2.14, б**) компактні та легко переносні, що дозволяє використовувати їх у будь-якому місці.

Серед основних характеристик та параметрів зарядних станцій є: тип батареї, кількість та тип роз'ємів, час заряджання тощо. Проте критерії, на які варто звернути увагу при виборі в першу чергу, – це максимальна, пікова потужність та ємність акумуляторних батарей станції. Саме від цих параметрів залежить клас приладу та, відповідно, його вартість.

Потужність станції у ватах визначає, якої потужності прилади одночасно можна під'єднати до станції. Розрізняють максимальну та пікову потужності. Ємність станції вимірюється у Вт·год та визначає, скільки заряду станція може накопичити в собі, й залежить від кількості та якості акумуляторних батарей.

Сучасні зарядні станції переважно мають літій-іонну або літій-залізо-фосфатну батарею. Літій-залізо-фосфатний акумулятор є різновидом літій-іонного, проте він має ряд суттєвих переваг:

- станція з літій-залізо-фосфатним акумулятором має довший термін експлуатації та розряджається повільніше;

- має стабільну напругу при розряджанні станції, тобто напруга на виході залишається близькою до 3,2 В, поки заряд акумулятора не буде вичерпано повністю;

- має вищий піковий струм, а отже - пікову потужність;

- літій-залізо-фосфатна батарея термічно і хімічно стабільна, що істотно підвищує безпеку при її експлуатації.

Отже, оптимально обирати зарядні станції з літій-залізо-фосфатним акумулятором.

Зарядні станції за потужністю бувають від десятків ват до сотень кіловат.

В цілому, зарядні станції є джерелом резервного живлення та застосовують для забезпечення енергією споживачів в темний час доби, або в період недостатньої генерації енергії від СЕС, ВЕУ та ЕА з ДВЗ.

Таким чином, виходячи з розрахункового навантаження, вимог щодо надійного автономного електропостачання обрано основні джерела енергії за

номінальною потужністю, які зведено до **Табл. 2.1**.

Таблиця 2.1 – Обрані джерела енергії

Характеристика	Найменування обраних джерел енергії			
	Система сонячних панелей ФЕМ JAM72S30-585/LR	Вертикально-осьовий вітрогенератор F144-50	Зарядна станція Deue 20 кВт SUN-20K-SG01HP3-EU-AM2 + 4 батарей BOS-GM5.1, 51,2 В, 100 Ач комплект	Промисловий ЕА з ДВЗ – Дизельний генератор Hertz HG 125 RS
Номінальна потужність, кВт	100	50	20	91,2

2.2.2 Комбінована система автономного електропостачання

На рівні з центральною енергосистемою, автономні джерела енергії мають забезпечувати необхідну якість енергії [10], а саме: відхилення та коливання напруги, синусоїдальність струму та напруги, симетричність струму та напруги, відхилення та коливання частоти трифазного змінного струму та ін. Окрім того, система автономного електропостачання повинна безперебійно забезпечувати необхідну кількість енергії та оптимально розподіляти її між пристроями та обладнанням у відповідності до енергопотреб споживачів (приймачів). Забезпечення необхідної кількості енергії із застосуванням ВДЕ, у відповідності до енергетичних потреб, можливе лише при визначенні графіків енергетичних навантажень протягом певного періоду, а також врахування поточних та прогнозування майбутніх метеорологічних умов місцевості. При цьому, за відсутності достатньої кількості енергії, через автоматичне вмикання резерву (АВР), пріоритетним енергопостачанням мають бути забезпечені споживачі 1-ї категорії (пожежна сигналізація, аварійне освітлення тощо), перерва в електропостачанні яких може призвести до небезпеки для життя людей та

значних матеріальних втрат.

Усі вищеперераховані умови автономного електропостачання, можна реалізувати, шляхом комбінованого використання ВДЕ з традиційними джерелами енергії та застосуванням систем гарантованого живлення, які призначені для накопичення енергії на випадок відсутності надходження енергії від основних джерел. При цьому, з метою максимально надійного та ефективного використання енергії, необхідний режим автономної роботи комбінованих енергоустановок має забезпечуватись системою автоматичного керування.

Отже, проектуєма САЕП має складатись з чотирьох основних елементів:

1. Обрані джерела енергії;
2. Система гарантованого живлення;
3. САК електропостачанням та електроспоживанням;
4. Система приймачів (споживачів) електричної енергії.

Система гарантованого (безперебійного) живлення містить зарядну станцію, гібридний інвертор. Зарядна станція поєднує в собі АКБ, контролер заряду та зарядний пристрій. АКБ застосовуються для накопичення електричної енергії від ВДЕ, зовнішньої електромережі або автономного електрогенератора. Контролер заряду перетворює напругу від сонячних панелей до значення, придатного для заряду акумуляторних батарей. Інвертор перетворює постійну напругу в змінну для живлення споживачів. Гібридний інвертор комбінує функціональні можливості сонячного інвертора та надає технічну можливість приєднання додаткових джерел енергії в залежності від наявності і пріоритету, при цьому забезпечуючи споживачів енергією належної якості.

Система приймачів (споживачів) електричної енергії, складається з установок та обладнання (апарати, агрегати, механізми), які безпосередньо забезпечують той чи інший технологічний процес виробництва товарів і послуг, якщо такі мають місце, та сукупності функціональних підсистем, які забезпечують безпеку і комфорт життєдіяльності в будівлі.

Особливу роль в загальній структурі комбінованої САЕП займає САК електропостачанням та електроспоживанням, яка за допомогою датчиків здійснює

моніторинг та контроль за рядом важливих інформаційних параметрів та режимів роботи САЕП, а також виробляє керуючі сигнали для відповідних актуаторів.

Загальну структуру комбінованої САЕП наведено на **Рис. 2.15**.



Рисунок 2.15 – Загальна структура комбінованої САЕП:

ВЕУ – вітроелектрична установка; СБ – сонячні батареї;

ЕА з ДВЗ – електроагрегат з двигуном внутрішнього згорання;

ЦЕС – центральна енергосистема

2.3 Структурна та функціональна схеми САК

Серед основних функцій проектованої САК можна виділити наступні:

керування трекером системи сонячних батарей (панелей) відносно положення сонця в режимі реального часу;

оптимальний розподіл виробленої енергії, яка надходить від джерел енергії з врахуванням прогнозованих та поточних (в режимі реального часу) потреб споживачів;

керування системою електроосвітлення до рівня розподільчих шаф;

пріоритетне забезпечення безперебійним живленням споживачів 1-ї категорії (пожежна сигналізація, аварійне освітлення).

2.3.1 Структурна схема

З метою виконання згаданих функцій, САК концептуально має складатись з наступних елементів:

датчик сонячної радіації (ДСР), який визначає поточний рівень сонячної радіації;

датчик швидкості та напрямку вітру (ДШНВ) визначає швидкість і напрям вітру в режимі реального часу, що необхідно для прийняття рішення про доцільність використання ВЕУ та рівень безпеки конструкцій трекерів груп сонячних панелей;

блок датчиків струму (БДС) визначає струм від джерел енергії та загальний рівень її споживання;

блок датчиків напруги (БДН) вимірює вихідну напругу кожного з джерел енергії, у тому числі на виході зарядної станції, яка забезпечує резервне живлення, на випадок відсутності генерації енергії від основних джерел енергії (для прикладу, вночі);

зарядна станція з модулем АКБ;

основні джерела енергії – група сонячних батарей (панелей) (СБ), вітроелектрична установка (ВЕУ) та дизельний генератор (ЕА з ДВЗ – електроагрегат з двигуном внутрішнього згорання);

модуль датчиків освітленості сонячних батарей (ДОСБ) та модуль датчиків повороту та нахилу сонячних трекерів (ДПНСБ) які надають інформацію про оптимальну орієнтацію сонячних панелей відносно Сонця;

широотно-імпульсний перетворювач (ШП), для досягнення максимальної потужності генерації від СБ та ВЕУ;

з метою забезпечення функцій САК щодо керування системою електроосвітлення, передбачено застосування групи датчиків руху (ДР), датчиків освітленості (ДО), акустичні датчики (АД);

функції пріоритетного забезпечення безперебійним живленням споживачів 1-ї категорії сприяють група датчиків наявності газу (ДНГ) та датчиків тепла і вогню (ДТВ) модуля безпеки;

селектор-мультиплексор забезпечує почергову комутацію сигналів від датчиків на вхід АЦП;

підсилювач сигналу забезпечує необхідний рівень напруги на вході АЦП від датчиків;

блок аналогово-цифрового перетворення (АЦП), який перетворює аналогові сигнали, що надходять від датчиків, у цифрові, для подальшої їх обробки МК;

мікроконтролер (МК) є головним мозком САК, який централізовано керує всією системою електропостачання та електроспоживання, відповідно до заданого алгоритму, для чого має модулі передавання/приймання даних (WEB, GPS, GSM/GPRS), блок індикації (БІ), пульт оператора (ПО) та можливість підключення до персонального комп'ютера (ПК);

гібридний інвертор (ГІ) перетворює постійний струм в струм промислової стандартної напруги та частоти (220 В, 50 Гц);

комутатор джерел енергії забезпечує підключення відповідних джерел енергії до ГІ для подальшої подачі енергії споживачам;

блок актуаторів складається з модуля розширення портів МК, драйверів приводів сонячних трекерів (двигунів), силових релейних модулів та блоку димерів для керуванням освітленням..

Схема електрична структурна САЕП наведена у Додатку А.

2.3.2 Функціональна схема

На основі схеми електричної структурної, розроблено схему електричну функціональну САЕП, яка наведена у Додатку Б.

Дана схема відображує функціональні зв'язки між складовими частинами системи, розкриває її суть і дає уявлення про функції об'єкта.

Розглянемо схему електричну функціональну САЕП. Від датчика сонячної радіації (4) надходить сигнал до МК (34) в режимі реального часу, для прийняття рішення про доцільність використання сонячних батарей (2). Датчик швидкості та напрямку вітру (5) забезпечує МК (34) інформацією, необхідною для прийняття

рішення про доцільність використання ВЕУ (1), а також про безпечність експлуатації її та сонячних батарей (2) в умовах небезпечних вітрів.

За допомогою широтно-імпульсних перетворювачів (15, 16), з основних джерел енергії (1, 2) відбирається максимальна потужність.

Датчик струму (17), представляє собою трансформатор струму та первинний перетворювач «струм-напруга», який визначає рівень навантаження сонячних батарей (1). З датчика струму (17) напруга подається на активний фільтр (18), для фільтрації та підсилення до рівня, необхідного для подачі на МК.

Датчик струму (20), визначає рівень навантаження ВЕУ (2). З датчика струму (20) напруга подається на активний фільтр (21), для фільтрації та підсилення до рівня, необхідного для подачі на МК.

Датчик струму (23), визначає рівень навантаження ЕА з ДВЗ (3). З датчика струму (23) напруга подається на активний фільтр (24), для фільтрації та підсилення до рівня, необхідного для подачі на МК.

Напруга з джерел енергії (1, 2, 3) подається через активні фільтри (16, 19, 22), які фільтрують та підсилюють її до рівня, необхідного для подачі на МК.

Датчик струму (25) визначає рівень споживання, від якого через активний фільтр (26), після відповідної обробки, сигнал надходить до МК.

Напруга із зарядної станції (27) подається через активний фільтр (28), який фільтрує та перетворює її до рівня, необхідного для подачі на МК.

Інформація з датчиків (13-14) подається через підсилювач сигналу (29) на входи 16-канального аналогового селектора-мультиплексора (30). Вибір каналу вимірювання здійснюється через лінії ІО 12, 14, 26, 27 МК (34), які підключені до адресних входів селектора-мультиплексора (30).

Інформація з датчиків (16, 18, 19, 21, 22, 24, 26, 28) подається на входи 16 - канального аналогового селектора-мультиплексора (32). Вибір каналу вимірювання здійснюється через лінії ІО 12, 14, 26, 27 МК (34), які підключені до адресних входів селектора-мультиплексора (32).

Інформація з виходу селекторів-мультиплексорів (30, 32) подається на вхід АЦП (31, 33) для перетворення, перед подачею на вхід МК (34). Обмін даними між АЦП та МК відбувається через інтерфейс протоколу I2C.

Поточний режим роботи САК передається на TFT ЖК модуль (35) по послідовному синхронному SPI інтерфейсу.

З метою комутації джерел енергії на ЗС (27) використано силові електронні ключі (41-43), які через підсилювачі (44-46) підключені до розширювача портів (51) МК (34). Комутація ЗС (27) на ГІ (48) здійснюється через силовий електронний ключ (39), який через підсилювач (47) підключений до розширювача портів (51) МК (34). Системою автономного електропостачання передбачена можливість комутації споживачів електроенергії на центральну енергосистему через силовий електронний ключ (49), який отримує сигнал керування від розширювача портів (51) через підсилювач (48). Підсилювачі (44-48) крім функції підсилення сигналу здійснюють гальванічну розв'язку між ланцюгами керування та силовими ланцюгами. Обмін інформацією між розширювачем портів (51) та МК (34) здійснюється по послідовній асиметричній шині I2C.

З метою індикації режиму підключення до відповідного джерела енергії (1, 2, 3), центральної енергосистеми та гібридного інвертора використовується блок індикації та управління (40). З допомогою БІУ (40) можливе примусове під'єднання того чи іншого джерела енергії до споживачів. Зарядна станція (27) застосовується як буферний елемент резервного живлення за умови відсутності генерації від енергетичних установок (1, 2, 3) та недоступності центральної електромережі.

Для централізованого керування системою автономного електропостачання, моніторингу, зберігання даних, передавання даних на значні відстані та доступу до глобальної мережі Інтернет, передбачено ПК (36), адаптер інтерфейсу RS-485 (37), GSM/GPRS модуль (39).

GPS модуль (38) призначений для визначення географічних координат місце розташування об'єкта керування та застосовується в алгоритмі керування

сонячними трекерами.

Сигнал від 16-ти каналних розширювачів портів (51, 52) подається на виконавчі механізми – двигуни сонячних трекерів через відповідні драйвера двигунів (53, 54), релейний модуль (55) для комутації енергії до приймачів та блок димерів (56) для керування освітленням.

Розширювачі портів (51, 52) взаємодіють з МК (34) по послідовній асиметричній шині I2C, яка дозволяє підключати до однієї двопровідної шини до 127 пристроїв. Таким чином, шляхом доповнення САК відповідною кількістю розширювачів портів, можна масштабувати систему з точки зору кількості керованих двигунів сонячних трекерів, релейних модулів комутації енергії до приймачів та блоку димерів для керування освітленням.

2.4 Схема електрична принципова мікроконтролерного модуля САК

При розробці САК, принципові електричні схеми, як правило виконують стосовно окремих самостійних елементів, установок або ділянок системи, які підлягають автоматизації. А у випадку необхідності, на основі принципових схем окремих елементів, складають принципові електричні схеми, що охоплюють завершений комплекс окремих елементів, установок або агрегатів для повного розуміння зв'язків між всіма елементами САК.

Базуючись на структурній та функціональній схемах САК, з метою обґрунтування вибору електронних компонентів, їх технічних характеристик, відображення взаємодії елементів САК та більш детального пояснення принципу її роботи, розроблено електричну принципову схему мікроконтролерного модуля САК, яка наведена у Додатку В та Додатку Г.

Схеми електричні принципові визначають повний склад приборів, апаратів і пристроїв, дія яких забезпечує вирішення задач керування, регулювання, захисту, вимірювання і сигналізації [63].

В САК використано ряд завершених функціональних модулів.

2.4.1 Проміжні перетворювачі та модулі прийому сигналів

Проміжні перетворювачі є внутрішньо системними та призначені для перетворення сигналу з одного виду в інший, без зміни кількості інформації. Їх використовують для узгодження вхідних і вихідних сигналів окремих пристроїв або комплексів технічних засобів [63].

Залежно від призначення (перетворення сигналу датчика на вході в систему або перетворення сигналу для подачі його на засоби виводу сигналу із системи) проміжні перетворювачі можуть бути розділені на вхідні і вихідні.

Вхідні проміжні перетворювачі застосовують для перетворення не уніфікованого сигналу, що надходить від датчика, в уніфікований сигнал чи для перетворення уніфікованого сигналу одного виду і способу подання в інший вид чи спосіб подання. Вихідні проміжні перетворювачі застосовують для узгодження вихідних сигналів обчислювальних пристроїв із входами пристроїв виводу інформації. Найбільш поширеними проміжними перетворювачами є аналого-цифрові (АЦП) і цифро-аналогові (ЦАП) різних типів і принципів дії.

Попередньо вхідні і вихідні проміжні перетворювачі вибирають за класифікаційними ознаками, а потім, якщо вони виготовляються серійно, за технічними характеристиками остаточно обирають їх тип. При цьому приймаються до уваги необхідний клас точності перетворення, час перетворення й імовірність безвідмовної роботи. Доцільно, за можливістю, використовувати прилади одного виробника [63, 82].

Селектор-мультиплексор. З метою комутації сигналів від датчиків, передбачено застосування модуля 16-канального аналого-цифрового мультиплексора на базі мікросхеми CD74HC4067, який дозволяє підключити до одного виходу по чергово 16 різноманітних джерел сигналу. За допомогою таких селекторів можливо організувати підключення декількох пристроїв до одного UART або I2C портів.

Для підключення одного із виводів C0...C15 до виводу SIG потрібно подати відповідний йому двійковий код на піни S0...S3. Крім того, для вмикання модуля потрібно подати GND на пін EN. Цей же пін можна використовувати для

почергової роботи з кількома комутаторами 74НС4067.

Основні характеристики модуля селектора-мультиплексора:

робоча напруга 2...10 В;

внутрішній опір відчиненого каналу до 80 Ом;

діапазон робочих температур -40°C ... +125°C.

Зовнішній вигляд модуля селектора-мультиплексора та його блок-схема наведені на **Рис. 2.16**.

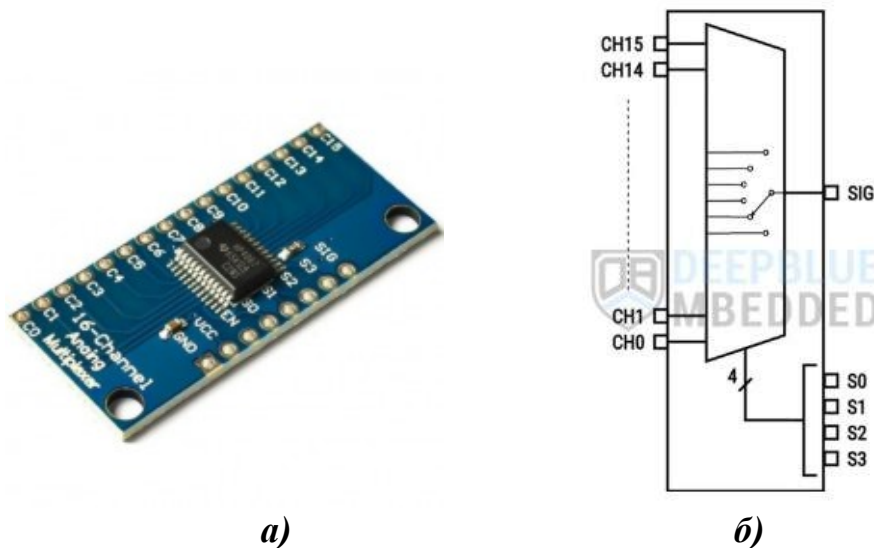


Рисунок 2.16 – Селектор-мультиплексор на базі мікросхеми

CD74HC4067:

а) зовнішній вигляд; б) блок-схема

Підсилювач сигналу. Для підсилення сигналів від датчиків та сенсорів застосовується високоточний модуль підсилювача на основі мікросхеми AD620.

Зовнішній вид модуля підсилювача та його блок-схема наведені на **Рис. 2.17**.

Позначення виводів мікросхеми AD620:

+IN: Позитивний вхід сигналу.

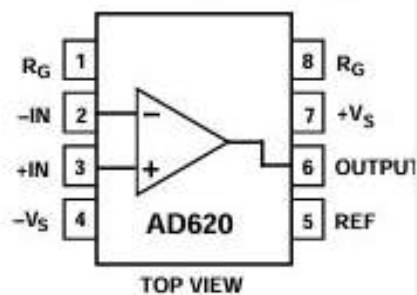
-IN: Негативний вхід сигналу (може бути з'єднаний з GND).

OUTPUT: Вихід підсиленого сигналу.

V_s: Вихід негативної напруги для живлення датчиків або інших компонентів.



а)



б)

Рисунок 2.17 – Підсилювач на базі мікросхеми AD620:

а) зовнішній вигляд; б) блок-схема

Основні технічні характеристики підсилювача:

напруга живлення:	3...11 В;
вхідний сигнал:	0,1...300 мВ;
ступінь підсилення:	1,5...1000 разів;
напруга зсуву:	50 мкВ.

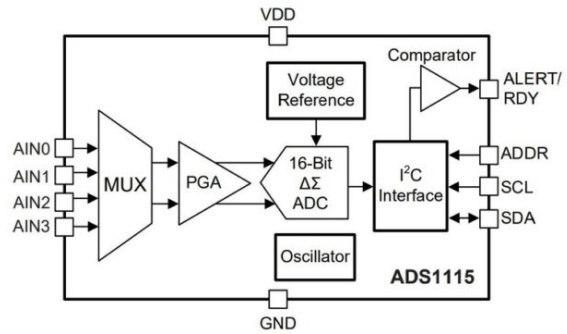
Аналого-цифровий перетворювач. Модуль 16-розрядного 4-х каналного АЦП на мікросхемі ADS1115 значно розширить можливості мікроконтролера або мінікомп'ютера в сфері роботи з аналоговими сигналами. Мікросхема ADS1115 містить високоточне джерело опорної напруги з ультра малим дрейфом. Мікросхема ADS1115 відрізняється також дуже малим споживаним струмом в режимі безперервного перетворення.

АЦП ADS1115 передбачає встановлення адреси для I2C шини за допомогою замикання виводів ADDR на цифрові сигнальні виводи або виходи шини живлення. Установка різних адрес I2C призначена для того, щоб при підключенні двох і більше різних пристроїв не відбувалося конфлікту між ними, тому що, у кращому випадку, модулі, у яких адреси збігатимуться, просто не працюватимуть, а в гіршому – робота всіх модулів на шині може стати непередбачуваною.

Зовнішній вигляд модуля підсилювача та його структурна схему наведені на **Рис. 2.18**.



а)



б)

Рисунок 2.18 – Модуль АЦП ADS1115:

а) зовнішній вигляд; б) блок-схема

Технічні характеристики модуля АЦП:

інтерфейс:	I2C;
напруга живлення:	2...5 В;
струм споживання:	150 мкА;
тактовий генератор:	вбудований;
розрядність АЦП:	16 (зі знаком);
кількість каналів:	4 або 2 диференційних;
діапазон входних напруг:	$\pm 256 \text{ мВ} \dots \pm 6.144 \text{ В}$;
вхідний підсилювач:	до '16;
частота оцифровування:	8...860 відліків на секунду;
діапазон адрес:	0x48 ... 0x4B;
діапазон робочих температур:	-40°C ... +125°C.

Розширювач портів. Для розширення портів мікроконтролера використано розширювач на основі мікросхеми PCF8575TS. Даний модуль призначений розширити до 16 кількість окремих портів вводу/виводу, використовуючи тільки інтерфейс I2C для керування. На платі є перетворювач рівня сигналів на 3,3 В, а також перемикач – якщо її запаяти, рівень буде таким же, як VCC. Модуль відмінно впорається із завданнями підключення периферійних пристроїв та датчиків. Для підключення до контролерів з напругою 5 В та 3,3 В на платі передбачено стабілізатор напруги та перетворювач рівня інтерфейсу керування. Для швидкого реагування на зміну входних сигналів, на модулі є вихід

переривання, який можна підключити до входу переривання мікроконтролера або міні-комп'ютера.

Зовнішній вигляд модуля розширювача портів та його структурна схема наведені на **Рис. 2.19**.

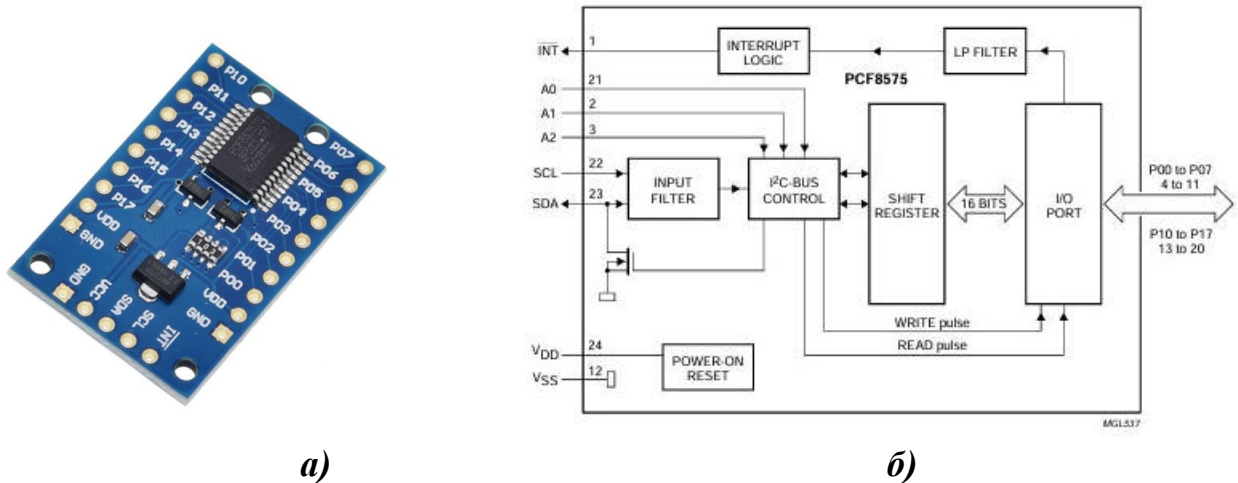


Рисунок 2.19 – Модуль розширювача портів на базі мікросхеми PCF8575TS:

а) зовнішній вигляд; б) блок-схема

Технічні характеристики модуля розширювача портів:

напруга живлення:	2,5...5,5 В;
I2C адреси:	0x20 (за замовчуванням), може бути змінено шляхом пайки селекторів на друковані платі A0, A1 і A2;
робочий струм:	100 мА (максимальний);
кількість входів/виходів:	16 (напрямок кожного налаштовується незалежно);
кількість виходів переривання:	1.

2.4.2 Засоби передачі інформації та технології зв'язку

Завдяки засобам передачі інформації здійснюється переміщення інформації в просторі. Призначені для обміну інформацією між територіально розосередженими абонентами (диспетчерами, операторами, виробничим

персоналом тощо), а також між технічними засобами (керуючими обчислювальними комплексами, спеціальними датчиками тощо) по мережах зв'язку різного призначення.

Виділяють три основні групи технічних засобів:

зв'язку і сигналізації;

передачі даних;

переміщення даних.

Серед сучасних розповсюджених безпроводних технологій для розумних пристроїв в будинку є Wi-Fi, Bluetooth, ZigBee і Z-Wave [8, 51, 76]. Кожна з цих технологій має як переваги, так і недоліки, але їх можна суміщати для оптимального розв'язання конкретної задачі.

У побутовій техніці, переважно застосовують технології Wi-Fi або Bluetooth. Для автоматизації систем життєзабезпечення будівель здебільшого використовують вбудовані модулі, які працюють на базі технологій ZigBee або ZWave. Саме ці технології спеціально розроблені для інтеграції підсистем та модулів розумного будинку.

В проектуванні САК автономним електропостачанням, для її максимально ефективної роботи, з метою використання елементів та пристроїв із різними протоколами передачі даних, прийнято рішення використати наступні технології для зв'язку та передачі даних (інформації) [8].

Wi-Fi. Невід'ємна частина IP-камер і багатої іншої техніки для передачі відеосигналу. Недолік полягає в відсутності загального стандарту керування, що призводить до необхідності підлаштовуватись до кожного виробника обладнання. Високе енергоспоживання та складність ретрансляції сигналу, обмежують застосування сигналу Wi-Fi для деяких розумних пристроїв. Проте, дана технологія цілком підійде для обміну інформаційними даними між мікроконтролером та ПК. Wi-Fi вбудований в мікроконтролерний модуль, який використовується в даній роботі.

ZigBee. Розроблений спеціально для застосування в мережах, що використовують датчики. Для сприяння ретрансляції сигналу та підвищення

надійності передачі, дана технологія використовує топологію мережі *mesh*. Даний протокол підтримується мікроконтролерним модулем, який використовується в даній роботі.

Z-Wave. Бездротовий протокол, який спеціально розроблений для автоматизації будівель. Має абсолютну сумісність між пристроями від різних виробників, що дозволяє створювати інтегровані системи. На ринку велика кількість різних пристроїв Z-Wave, що дає можливість впровадити повний спектр технологій "розумний будинок". Також використовує топологію *mesh* з підтримкою ретрансляції сигналу та автоматичним знаходженням оптимального маршруту на великих площах. Існують Z-Wave адаптери, які, шляхом підключення до USB, дозволяють об'єднати кермі пристрої з центром керування, та масштабувати систему за допомогою шлюзів та роутерів (для прикладу, роутер Rubetek CC1).

GSM/GPRS. Глобальний стандарт цифрового мобільного зв'язку з розділенням каналу за часом та частотою. Використовується для доступу до САК та обміну інформацією з будь-якої точки світу в режимі реального часу.

В даній роботі використано модуль GSM/GPRS стільникового зв'язку на основі компоненту SIM800L, розробленого компанією SIMCom Wireless Solutions (*Рис. 2.20*).

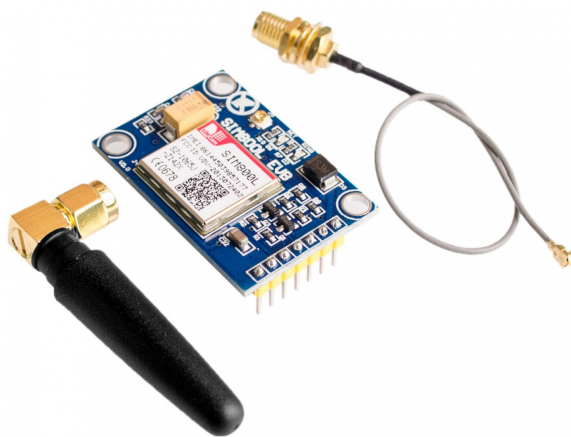


Рисунок 2.20 – модуль GSM/GPRS на основі компоненту SIM800L

Стандартний інтерфейс керування компонентом SIM800L надає доступ до сервісів мереж GSM/GPRS 850/900/1800/1900МГц для надсилання SMS-

повідомлень, дзвінків та обміну цифровими даними GPRS. Комплектується вбудованою антеною, також можна підключити додаткові антени для покращення якості сигналу. Керувати модулем можна за допомогою персонального комп'ютера через перетворювач інтерфейсу USB-UART або безпосередньо через UART модулем мікроконтролера.

Технічні характеристики модуля GSM/GPRS:

напруга живлення:	3,4...4,4 В;
струм режиму очікування:	0,7 мА;
максимальний струм:	500 мА;
макс. напруга високого рівня інтерфейсу UART:	2,8 В;
швидкість UART:	1200...115200 бод;
робочі діапазони:	EGSM900, DCS1800, GSM850, PCS1900;
потужність передачі DCS1800, PCS1900:	1 Вт;
потужність передачі GSM850, EGSM900:	2 Вт;
керується:	командами AT через UART;
максимальна швидкість передачі даних:	85,6 Кбод;
робоча температура:	-30°C ... 75°C.

GPS. Глобальна система позиціонування. В системі САК використовується для визначення географічних координат, які застосовуються в алгоритмі роботи сонячного трекера.

Використано модуль GPS серії NEO-7 – це Multi-GNSS приймачі (з підтримкою декількох поширених стандартів супутникової навігації) (*Рис. 2.21*). Модуль містить вихід секундних імпульсів, які можна використовуватиме синхронізації часу. Для збереження поточних установок та даних про поточне розташування на платі встановлено акумулятор та мікросхему EEPROM пам'яті.

Технічні характеристики модуля GPS:

специфікація GPS ресивера:	56-канальне ядро 7-го покоління від u-blox;
підтримувані системи позиціонування:	GPS L1 C/A, GLONASS L1 FDMA, QZSS L1 C/A, SBAS:

частота оновлення даних:

точність:GPS – до 2,5 м;

інтерфейс підключення:

швидкість підключення:

напруга живлення:

WAAS, EGNOS, MSAS,
Galileo E1B/C;

до 10 Гц;

GLONASS – до 4 м
(залежить від налаштувань
та кількості одночасно
видимих супутників);

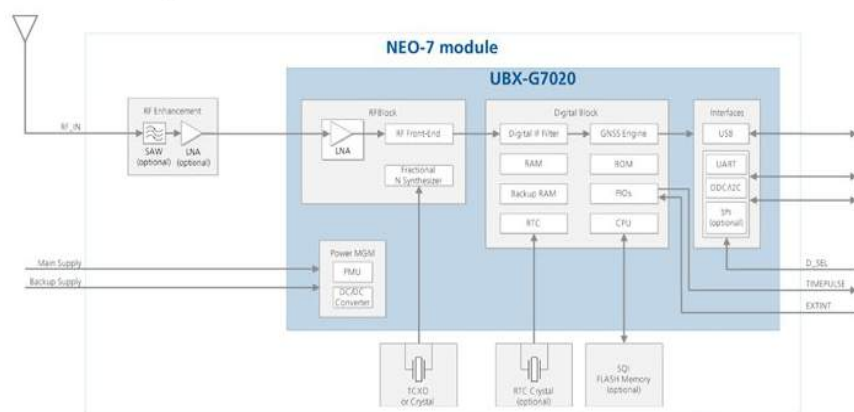
UART;

за умовчанням UART:
9600 бод (можна змінити у
сервісній програмі);

3...5 В (стабілізатор напруги
3,3 В встановлений на платі).



а)



б)

Рисунок 2.21 – Модуль GPS серії NEO-7:

а) зовнішній вигляд; б) блок-схема

RS-485. Модуль, який використовується для створення мереж автоматизації за стандартом фізичного рівня для асинхронного інтерфейсу. Використовується переважно для зв'язку з ПК та виходу в глобальну мережу Інтернет за протоколом TSP/IP.

Використано модуль на основі мікросхеми MAX485 – популярної інтегральної схеми (IC) приймача RS-485, яка забезпечує зв'язок між пристроями

за допомогою протоколу зв'язку RS-485 (*Рис. 2.22*).

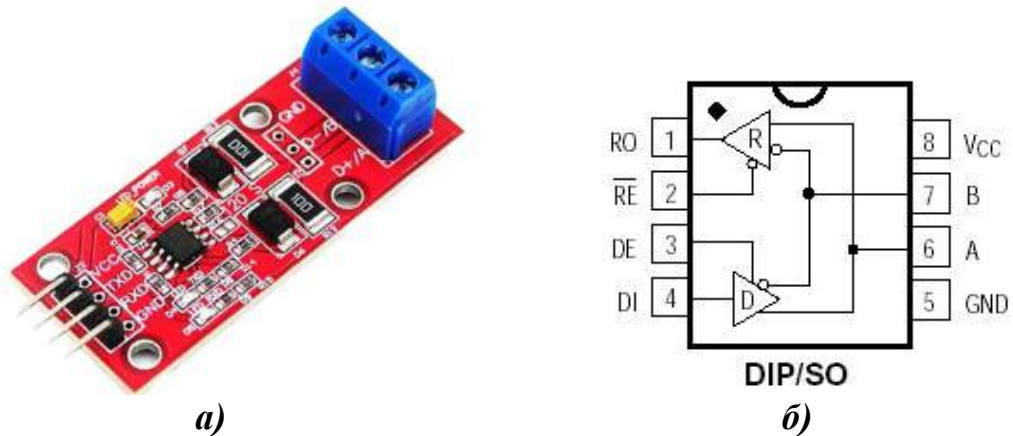


Рисунок 2.22 – Модуль RS-485 на основі MAX485:

а) зовнішній вигляд; б) блок-схема

MAX485 призначений для перетворення стандартного рівня напруги TTL (Transistor-Transistor Logic) на диференціальні рівні напруги, необхідні за стандартом RS-485, і навпаки.

Технічні характеристики модуля RS-485:

напруга живлення:	3,3...5,5 В;
швидкість передачі даних:	до 10 Мбіт/с;
вихідна напруга драйвера:	± 7 В;
вхідна напруга приймача:	± 200 мВ;
вихідний струм драйвера:	± 120 мА;
обмеження струму короткого замикання драйвера:	± 500 мА;
робоча температура:	$-40^{\circ}\text{C} \dots +85^{\circ}\text{C}$.

2.4.3 Засоби відображення інформації та керування

Для виводу керуючої інформації САК необхідні відповідні засоби відображення інформації [63]. Дані пристрої перетворюють машинні сигнали і сигнали операторів у форму, що сприймається людиною. Для кращого сприйняття оператором інформація виводиться у виді сигналізації, контролю, реєстрації, діалогу. Форма подання визначається технологією роботи системи з виведеною інформацією, її важливістю і значенням.

Засоби сигналізації застосовуються для світлової сигналізації положення керуючого органа, для світлової і звукової сигналізації порушень нормального режиму роботи і для інших цілей.

Засоби контролю призначені для виміру миттєвих значень контрольованих параметрів, для виміру контрольованого параметра за викликом. Засоби виводу інформації на реєстрацію служать для друку результатів вимірів, обчислень, змінних рапортів, вторинних документів, графіків тощо [63, 82].

Засоби виводу інформації для діалогу оператора з САК застосовують під час взаємодії оператора з обчислювальними пристроями.

В проектованій САК автономним електропостачанням для відображення інформації впроваджено SPI LED дисплей та блок індикації та керування.

SPI LED дисплей. Обрано економічний повнокольоровий якісний дисплей із високою контрастністю на основі мікросхеми – драйвера st7735 (***Рис. 2.23***).



Рисунок 2.23 – SPI LED дисплей на основі драйвера st7735

Дисплей працює за SPI інтерфейсом, що вимагає мінімальну кількість пінів для підключення, а також робить його універсальним, що дозволяє використовувати його з будь-якими мікроконтролером.

Технічні характеристики SPI LED дисплея:

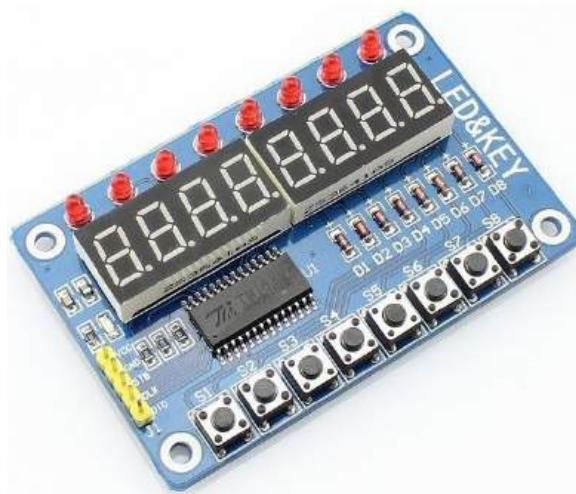
драйвер монітора: st7735s;

кольоровість: 65 тисяч кольорів у форматі RGB;

інтерфейс: SPI;

напруга живлення:	3,3...5 В;
роздільна здатність:	128'160;
напруга інтерфейсів (логіка):	3,3 В;
кут огляду:>160°;	
робоча температура:	20°C ... 70°C.

Блок індикації та управління. Використано індикаторний клавіатурний модуль на мікросхемі TM1638, який призначений для введення-виведення інформації з мікроконтролера (*Рис. 2.24*).



***Рисунок 2.24 – Індикаторний клавіатурний модуль на мікросхемі
TM1638***

Плата відображає інформацію на 8 семи сегментних індикаторах, 8 світлодіодах і дозволяє вводити інформацію з 8 кнопок. Для керування використовується послідовний інтерфейс. Керування індикаторами та визначення натискання кнопок виконує мікросхема TM1638 китайської фірми Titan Micro Electronics. TM1638 приймає від МК і передає дані з унікального послідовного інтерфейсу з трьох сигналів, близького до інтерфейсу SPI. Відмінність від SPI полягає в об'єднанні в одну лінію двох ліній, прийому та передачі.

Технічні характеристики індикаторного клавіатурного модуля:

напруга живлення:	5 В;
робочий струм:	125 мА;
максимальна частота сигналу, що синхронізує:	405 кГц;

кількість каналів керування:	3;
кількість розрядів:	8;
тактових кнопок:	8;
світлодіодних індикаторів:	8;
діапазон робочих температур:	-10°C ... +60°C.

2.4.4 Вибір та обґрунтування мікроконтролера

Мікроконтролер – мозок САК, який виконує обробку інформації з датчиків і сенсорів, програмно реалізовує алгоритм роботи всієї системи та генерує керуючі впливи на виконавчі пристрої – актуатори. Тому до вибору одного з основних елементів САК необхідно особливий підхід.

Існує безліч різних виробників (таких як Texas Instruments, ST, Espressif Systems, Microchip тощо) і для кожного виробника є ще більший вибір мікроконтролерів – не кажучи вже про різноманітність всередині конкретного сімейства мікроконтролерів. Вибір конкретного мікроконтроллера повинен залежати від системи, що розробляється. Тут необхідно враховувати безліч аспектів, таких як доступна пам'ять, необхідні периферійні пристрої (такі як UART, SPI і т. д.), вартість, тип корпусу, доступність, програмне забезпечення, якість документації та багато іншого.

Серед сучасних розповсюджених мікроконтролерів (STMicroelectronics STM32, Nordic Semiconductor nRF, Espressif ESP32, Raspberry Pi RP204, Microchip, NXP и Texas Instruments тощо), які мають свої переваги та недоліки, було обрано мікроконтролер з серії ESP32 китайського виробника **Espressif Systems**. Даний мікроконтролер отримав значне розповсюдження в системах «Smart home» та «IoT», наймовірно доступний за ціною та має високу потужність. Зручність використання даного мікроконтроллера полягає в тому, що виробник поставляє сертифіковані системи на модулях, в які вже інтегровані антени, WiFi и Bluetooth, USB порти для підключення зовнішніх пристроїв, що значно спрощує розробку систем керування та процес сертифікації комерційних проектів.

В даній розробці було обрано модуль ESP32-DevKitC V4 – це невелика

плата для розробки на базі мікроконтролера ESP32-WROOM-32U (**Рис. 2.25**, **Рис. 2.26**). Більшість контактів вводу/виводу розбиті на контактні роз'єми з обох боків, для зручності взаємодії.

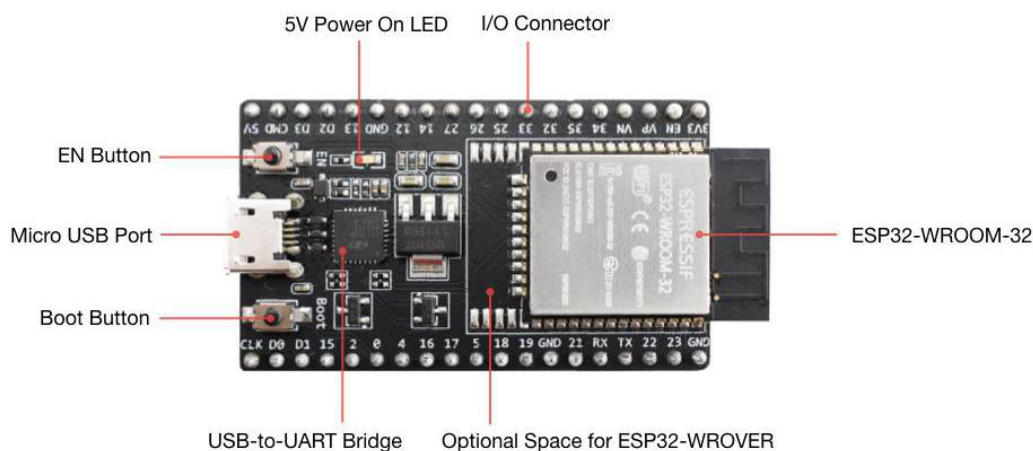


Рисунок 2.25 – Мікроконтролерний модуль ESP32-DevKitC V4

ESP32-DevKitC

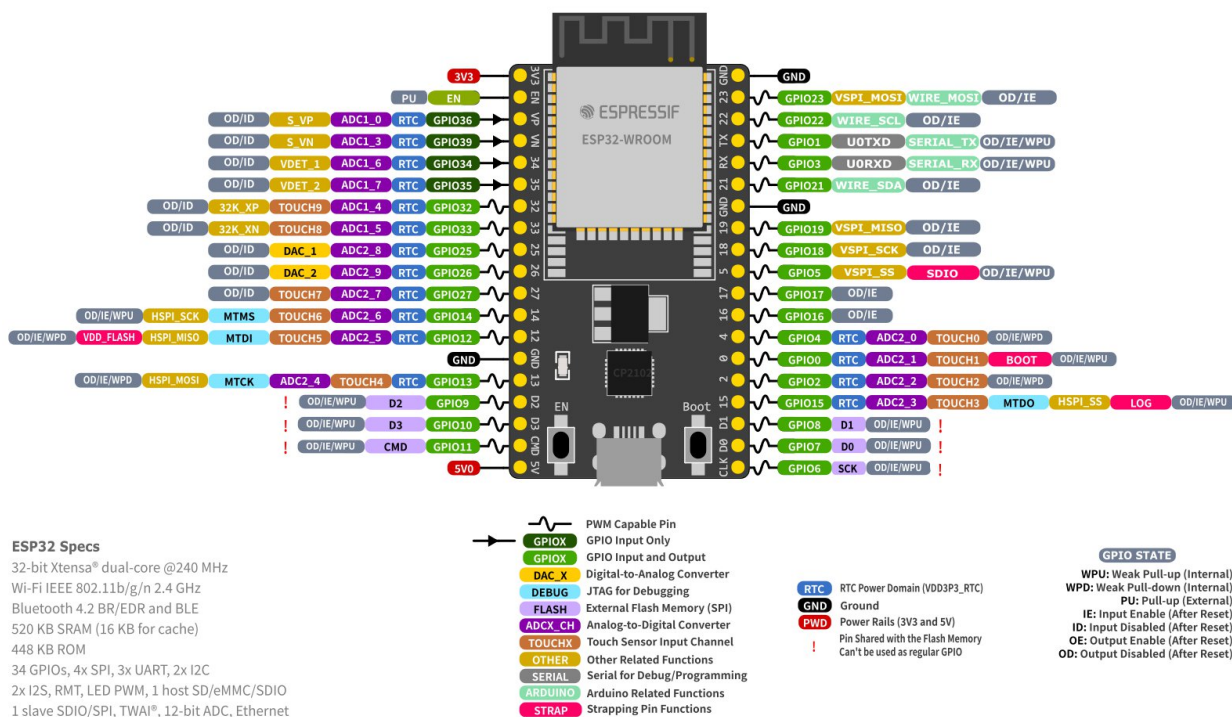


Рисунок 2.26– Функції виводів модуля ESP32-DevKitC V4

Даний модуль має достатню кількість різного роду вбудованих інтерфейсів та підтримку необхідних протоколів передачі даних (Wi-Fi, Bluetooth, SPI, UART,

I2c, I2S, Ethernet), що забезпечує введення/виведення необхідної інформації із/до зовнішніх пристроїв.

Технічні характеристики мікроконтролера:

процесор Xtensa LX6 з двома ядрами з тактовою частотою до 240 МГц;

ПЗУ: 448 КБ;

SRAM: 520 КБ;

дозволяє керувати цифровими шинами, включаючи: I2C, SPI, I2S, PWM, UART, IR, CAN;

12-бітний аналого-цифровий перетворювач SAR (до 18 каналів);

два цифро-аналогових перетворювача з роздільною здатністю 8 біт;

протоколи BT: Bluetooth v4.2 BR/EDR і Bluetooth BLE;

підтримка Bluetooth Audio: CVSD і SBC;

протоколи Wi-Fi: 802.11 b/g/n/d/e/i/k/r (802.11n з бітрейтом до 150 Мбіт/с);

режими роботи Wi-Fi: sta/softAP/SoftAP+sta/P2P;

безпека Wi-Fi: WPA/WPA2/WPA2-Enterprise/WPS;

шифрування Wi-Fi: AES/RSA/ECC/SHA;

мережеві протоколи: IPv4, IPv6, SSL,
TCP/UDP/HTTP/FTP/MQTT;

вбудована PCB антена (MIFA);

вбудований конвертер USB-UART;

живлення від USB (роз'єм micro-USB).

Детальна інформація про модуль, його характеристики, схеми підключення тощо, у повному обсязі доступна на сайті виробника [90].

2.5 Алгоритм роботи САК

З метою розуміння логіки та послідовності роботи САК, націленої на досягнення бажаного результату ефективної роботи системи електропостачання, а також подальшої програмної реалізації САК, розроблено алгоритми її роботи, у вигляді блок-схеми (*Рис. 2.27 – Рис. 2.29*).

працездатності всіх периферійних пристроїв шляхом послідовного опитування.

Після чого, у разі успішного завершення ініціалізації, мікроконтролер (МК) переходить в стан циклічного опитування відповідних датчиків та обробки отриманої інформації. Значення отриманої інформації щодо параметрів та режимів роботи системи відображається на дисплеї.

При цьому МК отримує сигнал про кількість енергії, необхідної для споживачів. Визначається можливість СБ постачати необхідну кількість енергії (чи перебуває в робочому стані, чи надходить необхідна кількість енергії від неї?). Якщо СБ не працює, або не надходить необхідна кількість енергії, то МК опитує ВЕУ. Якщо від СБ надходить необхідна кількість енергії, що перевіряється шляхом порівняння кількості отриманої енергії та кількості енергії, потрібної споживачеві, МК очікує зміни обсягів навантажень та направляє відповідну енергію до споживачів. Якщо енергії не вистачає, то МК звертається за нестачею енергії до ВЕУ. Якщо енергії більше, то МК направляє її залишок до АКБ ЗС.

Після опрацювання СБ, і необхідності в додатковій енергії, визначається стан ВЕУ (чи перебуває в робочому стані, чи надходить необхідна кількість енергії від неї?). Якщо ВЕУ не працює, або не надходить необхідна кількість енергії, то МК звертається до ЕА з ДВЗ. Якщо ВЕУ працює та надходить енергія, то вона додається до отриманої від СБ (у разі, якщо її від початку не достатньо) та порівнює кількість енергії. Якщо енергії не вистачає, то МК звертається до ЕА з ДВЗ. Якщо дорівнює або більше, то передає до споживачів, а залишок до АКБ ЗС.

Далі визначається стан ЕА з ДВЗ (чи перебуває в робочому стані, є достатня кількість пального чи ні?). Якщо пальне відсутнє або ЕА з ДВЗ не працює, то звернутися до резервного живлення на АКБ ЗС. Якщо ввімкнена та є достатньо пального, то додати енергію від ЕА з ДВЗ до загальної кількості (за умови, якщо від СП та ВЕУ не достатньо) та порівнює кількість енергії. Якщо генерація енергії не здійснюється, то звернутися до АКБ ЗС. А якщо достатньо енергії, то направити до споживачів.

АКБ ЗС виступає в ролі буферного елемента та резервного джерела живлення.

механізми з приводом від роторного або крокового двигуна, що отримує керуючий вплив від САК.

Загальний алгоритм роботи трекара сонячних панелей полягає у наступному. Після ініціалізації системи, МК, за допомогою GPS, отримує дані про географічне місцезнаходження СЕС (широта та довгота), дійсний час та розраховує поточне положення сонця в даний момент часу відповідно до формул, наведених у Розділі 2 даної роботи.

В процесі циклічного опитування датчиків, в рамках загального алгоритму роботи САК, МК зчитує інформацію з датчиків для визначення необхідних метеоданих, та даних про поточне позиціонування сонячних панелей відносно сонця з метою оцінки ефективності роботи СБ та доцільності їх використання в даний момент часу, у тому числі з точки зору питань безпеки експлуатації СБ.

Звірення поточного положення сонця з поточним позиціонуванням трекара СБ, та у разі необхідності здійснення корегування орієнтації сонячних панелей відносно Сонця. Після чого контрольне опитування датчиків з метою перевірки здійсненого позиціонування сонячних панелей.

Повторний цикл програми в частині орієнтування СБ відносно Сонця здійснюється в заданих оператором рівномірних проміжках часу через програмне переривання основного циклу програми, поки Сонце знаходиться над горизонтом, тобто коли значення зенітного кута становить більше нуля. Після заходу Сонця за горизонт, трекаер автоматично обертає систему сонячних батарей на схід і подальше відсліджування починається з наступним сходом Сонця.

Додатково, необхідне орієнтування сонячних панелей може здійснюватись примусово через панель оператора. Для захисту конструкції сонячних панелей від небезпечних вітрів САК містить датчики сили вітру (напрямку і швидкості), які безперервно контролюють стан навколишнього середовища (коли вітер стає надто сильним (15 м/с), МК видає керуючий сигнал для відповідного позиціонування актуаторів трекаерів і СБ займають безпечне положення, як правило горизонтальне. Метеоданні про ускладнення погодних умов, САК також завчасно отримує через Веб-сервер з відповідних інформаційних джерел про метеообстановку в даній

місцевості.

Керування освітленням. Відповідно до алгоритму роботи підсистеми освітлення передбачається, що в кожному приміщенні будівлі розташовані датчики руху, освітленості та акустичні датчики, а зовні будівлі, зі сторін з віконними прорізами лише датчики освітленості для визначення рівня освітленості на вулиці. При цьому в глухих приміщеннях, датчики освітленості не встановлюються. Виконавчими пристроями є ліхтарі, які підключені до МК через димери. Кількість датчиків та ліхтарів можна масштабувати залежно від функціональної потреби.

Шляхом опитування МК відповідних блоків датчиків кожного приміщення, відбувається реєстрація факту наявності або відсутності людини в приміщенні. У разі надходження від датчиків інформації про присутність людини в конкретному приміщенні за відповідним програмним сценарієм з врахуванням датчиків освітленості в приміщеннях та зовні будівлі, часу доби, здійснюється нейронечітке регулювання освітленістю ліхтарями.

В загальному алгоритмі роботи САК, регулювання відповідними підсистемами здійснюється по пріоритету: комутація джерел енергії на споживача - орієнтація сонячних панелей відносно сонця – регулювання освітлення. Тобто, якщо в процесі виконання загального циклу програми поступає інформація про зміну режиму навантажень, через переривання здійснюється опрацювання функції комутації джерел енергії. Таким же чином, через переривання здійснюється оптимальна орієнтація трекерів СБ і в останню чергу відбувається відпрацювання підсистеми освітлення будівлі. В першому пріоритеті також здійснюється комутація джерел резервного живлення на споживачів І-ї категорії.

Весь алгоритм програми повторюється циклічно, до зупинки її оператором.

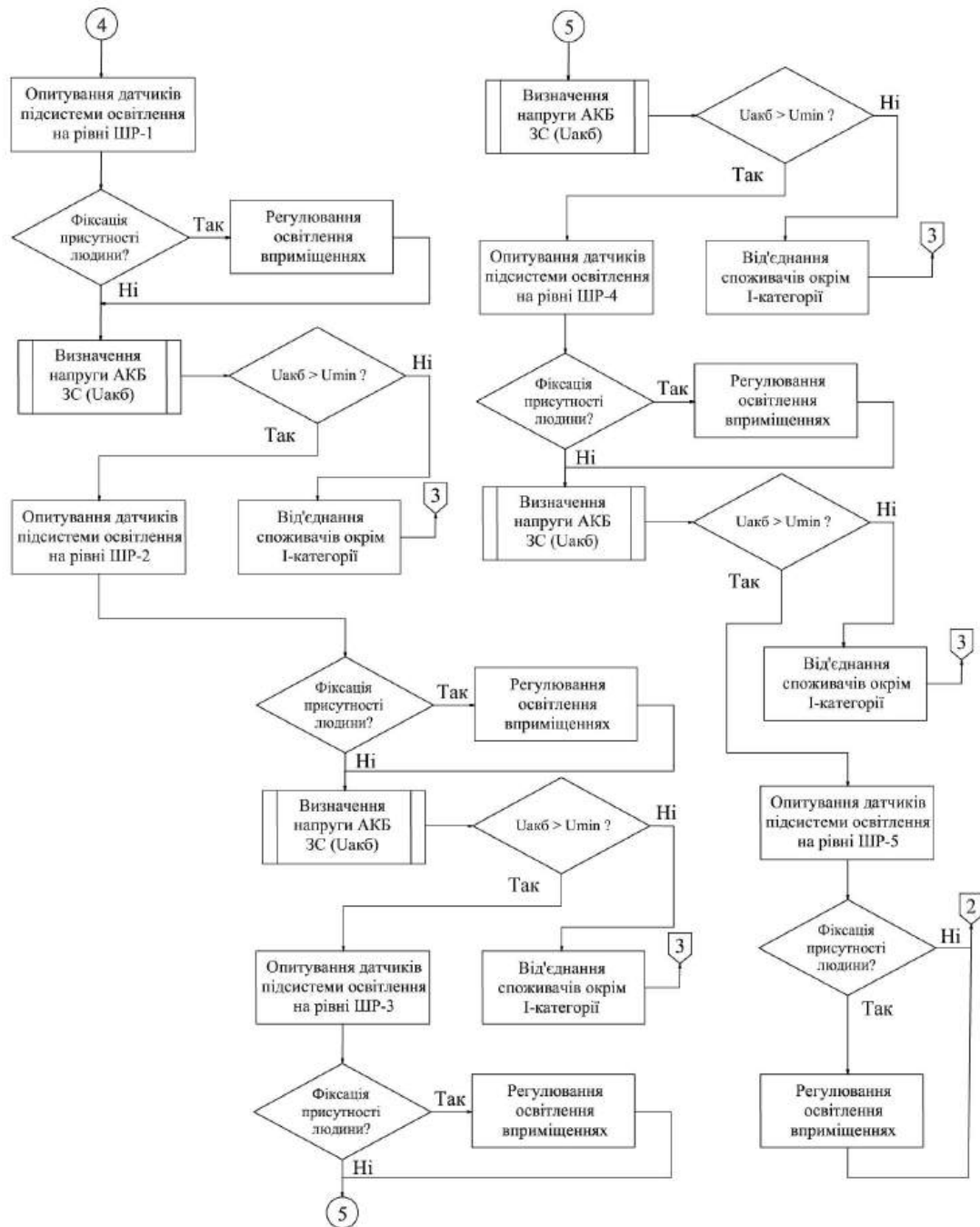


Рисунок 2.29 – Алгоритм роботи САК (продовження)

2.6 Вибір автоматичного регулятора

Автоматичний регулятор виконує завдання, обумовлене алгоритмом керування. На підставі сигналів від датчиків і сенсорів, регулятор через виконавчий механізм і регулювальний орган діє на об'єкт регулювання, виробляючи керуючий сигнал для зміни (регулювання) вихідного параметра.

Робота регулятора визначається законом регулювання, тобто залежністю між відхиленням регульованої величини від заданої (вхідна величина) і

переміщенням регулюючого органа (вихідна величина).

Диференціальні рівняння різних автоматичних регуляторів відрізняються тільки поліномом правої частини, що визначає закон регулювання.

Основні класичні (традиційні) закони регулювання [82]:

П – пропорційний;

ПІ – пропорційно-інтегральний;

І – інтегральний;

ПД – пропорційно-диференціальний;

ПІД – пропорційно-інтегрально-диференціальний.

Вибір закону регулювання і розрахунок регуляторів залежить від об'єкта та умов керування. Вищезгадані регулятори за своєю суттю є стабілізаційними. Закон регулювання в них формується за допомогою зворотніх зв'язків. При цьому процеси які регулюються мають підлягати строгому математичному опису та бути детермінованими.

Окрім стабілізаційних, існують екстремальні регулятори, які можуть використовуватися на об'єктах, що характеризуються екстремальною статичною характеристикою, положення якої в координатному просторі в залежності від зовнішніх впливів дрейфує у часі. Тобто такі регулятори призначені для пошуку і підтримки вхідних параметрів об'єкта на рівнях, що забезпечують екстремальне значення вихідної величини (показника якості). Екстремальне регулювання здійснюється в умовах невизначеності відносно поведінки об'єкта керування. Тому при екстремальному регулюванні спочатку отримують необхідну вихідну інформацію про об'єкт (для цього на керований об'єкт подаються пробні дії, вивчається реакція об'єкта на ці дії і вибираються ті з них, які змінюють цільову функцію в потрібному напрямі), а потім на основі отриманої інформації виробляють робочі дії, що забезпечують досягнення екстремуму критерію якості. Подібні системи знаходять своє застосування в об'єктах, що характеризуються екстремальною статичною характеристикою з дрейфуючою точкою екстремуму [8].

Один з найсучасніших автоматичних регуляторів, який не потребує строго

математичного опису та може працювати в умовах цілковитої невизнаності є нечіткі регулятори, які побудовані на основі нечіткої логіки. Система нечіткого керування аналізує аналогові вхідні значення в термінах логічних змінних, які приймають безперервні значення від 0 до 1, на відміну від класичної або цифрової логіки, яка оперує дискретними значеннями або 1, або 0 (істинне або хибне, відповідно). Перевага нечіткої логіки полягає в тому, що рішення проблеми можна викласти в термінах, зрозумілих людині-оператору, щоб їхній досвід міг бути використаний. Даний регулятор використовується в конструкції контролера. Це полегшує механізацію завдань, які вже успішно виконуються людьми [8, 12].

Зважаючи на основні функції проектової САК автономним електропостачанням, які полягають в розподілі енергії від ВДЕ, в залежності від потреб споживачів, та енергоефективному керуванню електроосвітленням будівлі, що потребує оперування стохастичними даними, значення яких наперед визначити неможливо (рівень генерації потужності від ВДЕ для задоволення потреб споживачів, необхідний рівень освітлення приміщень залежно від призначення приміщень, пори доби тощо), то було прийнято рішення застосувати нечітке регулювання (керування).

При цьому, апаратно-програмна реалізація нечіткої САК, може бути здійснена за допомогою обраного мікроконтролера та програмного забезпечення, розробленого на мові MicroPython – програмній реалізації мови програмування, яка багато у чому сумісна з Python 3, написана на C і оптимізована для роботи на мікроконтролерах.

MicroPython – це повноцінний компілятор і середовище виконання Python, які працюють на апаратних засобах мікроконтролерів. Користувачу пропонується інтерактивний запит (REPL) на негайне виконання підтримуваних команд. MicroPython містить вибір основних бібліотек Python та включає модулі, які надають програмісту доступ до обладнання низького рівня. Python на сьогодні є найпоширенішою мовою програмування для розробки систем, які використовують апарат штучного інтелекту [8].

РОЗДІЛ 3.

МОДЕЛЮВАННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ САК АВТОНОМНИМ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯМ

3.1 Передумови застосування штучного інтелекту в енергетичних системах

Електроенергетичні системи є нелінійними і багатопов'язаними системами, в яких перетікають складні перехідні процеси і можливе виникнення критичних і хаотичних режимів, тому класичні методи автоматичного керування не завжди є адекватними в управлінні даними складними системами [31].

При впровадженні класичних автоматичних регуляторів, виявляється ряд проблемних питань, які традиційними методами керування вирішити практично неможливо [31]. Розглянемо їх нижче.

Звуження сфери динамічної стійкості енергосистем. Лінійні регулятори адекватно функціонують лише в заданій області відхилення від встановленого нормального стану енергооб'єкта. Натомість, для ефективного керування, необхідно враховувати явища взаємопов'язаності і не лінійності процесів, що виникають в енергооб'єктах. Здолати вказаний недолік, пов'язаний з фіксованістю параметрів, наприклад лінійних систем автоматичного введення резерву (АВР), зокрема для локальних режимів, можна, використовуючи методи нечіткої логіки.

Робота в екстремальних режимах. Комутація потужних навантажень, викликають, як правило значні збурення режимів роботи енергосистем. Окрім того, короткі замикання, можуть призвести до різкої зміни потужності, що суттєво впливає на режим роботи всієї енергосистеми. Для унеможливлення таких критичних режимів, необхідно використовувати нелінійне взаємопов'язане керування потужністю джерел енергії, що не завжди можна досягти із застосуванням традиційних автоматичних систем автоматичного керування. Синергетика оснований на принципах нелінійної динаміки, є інтегральною наукою, яка включає такі принципи нечіткої логіки, нейронних мереж, генетичних алгоритмів, теорії хаосу, кібернетики.

Розділення каналів управління енергооб'єктами. В даному випадку мається на увазі, що різні підсистеми енергопостачання мають власні традиційні алгоритми керування, що не пов'язані між собою. Такий стан речей ускладнює функціонування всієї системи, оскільки керуючі сигнали підсистем можуть протирічати один одному, та унеможливлювати злагоджену ефективну роботу об'єкта керування в цілому. Для вирішення цієї проблеми, найбільше підходять інтелектуальні методи керування на штучних нейронних мережах. В цьому випадку кількість каналів керування може бути значно більше, ніж два, що дасть можливість задіяти різні контури керування, сингали яких пропорційні режимам енергооб'єктів, що живляться від одного джерела енергії.

Параметрична невизначеність. Практично будь-яка енергосистема характеризується повною кількістю невизначеностей: неточним описом математичної моделі, не до кінця контрольованою зміною статичних і динамічних параметрів, дією на систему зовнішніх стохастичних збурень тощо. Саме наявність різного роду невизначеностей зумовило появу та розвиток адаптивних систем керування на противагу лінійній апроксимації (лінерізації) і методам, які ґрунтуються на даному підході: модальне керування, локально-оптимальне керування, метод швидкісного градієнта тощо. Параметрична невизначеність також вирішується застосування синергетичних алгоритмів керування енергооб'єктами, шляхом застосування нечітких нейронних мереж та методів нечіткої логіки.

Окрім згаданого, передумовами застосування штучного інтелекту в енергосистемах є також багатовимірність та багатопов'язаність параметрів роботи системи, а також багаторежимність функціонування, що пов'язано зокрема із зміною навантажень тощо [31].

Найбільш оптимальний шлях вирішення вищевказаних проблем керування енергосистемами є впровадження інтелектуальних технологій керування із застосуванням принципів штучного інтелекту.

Мета використання штучного інтелекту в системах керування об'єктами, зокрема енергосистемами, полягає в застосуванні математичного апарату

штучного інтелекту (нейронні мережі, нечітка логіка, генетичні алгоритми тощо) для оптимального рівня генерації, передавання, перетворення та споживання енергії та обміну інформацією між елементами енергосистеми із застосуванням інтелектуальних підходів і методів.

3.2 Нечітка логіка та нейронні мережі в системах автоматичного керування

Методологія проектування автономного електропостачання будівлі повинна ґрунтуватись на системному аналізі споруди, як енергетичної системи з взаємопов'язаним елементами генерації, розподілу та споживання енергії. В цьому контексті доцільно розглядати будівлю, як злагоджений живий організм, де одночасно та взаємоузгоджено функціонують різні підсистеми забезпечення комфорту та безпеки життєдіяльності, а головною енергією для цього виступає електрична енергія, тому природним напрямком підвищення його енергоефективності є дослідження та розробка систем керування із застосуванням *штучного інтелекту (ШІ)*.

В загальному розумінні, *ШІ* (англ. *Artificial Intelligence (AI)*) – розділ комп'ютерної лінгвістики та інформатики, який швидко розвивається, і зосереджений на розробці інтелектуальних машин, здатних виконувати завдання, що, зазвичай, потребують людського інтелекту [8]. Системи ШІ створені для навчання на досвіді, розпізнаванні закономірностей і прийнятті рішень, на основі вхідних даних. Технологія ШІ охоплює широкий спектр методів, включаючи машинне навчання, обробку природної мови, робототехніку, експертні системи тощо. Мета досліджень ШІ полягає в тому, щоб створити машини, які можуть міркувати, розуміти та навчатися, як люди, і використовувати ці можливості для покращення життя людства та вирішення складних проблем. У більшості випадків алгоритм розв'язання проблем наперед невідомий.

З точки зору САК, ШІ розумітимемо, як властивість автоматичних систем брати на себе окремі функції інтелекту людини, наприклад, обирати й ухвалювати оптимальні рішення, на основі раніше отриманого досвіду й раціонального

аналізу зовнішніх дій [48].

За аналогією з мозком людини, ШІ здатен розв'язувати задачі, шляхом набуття, запам'ятовування і цілеспрямованого перетворення знань у процесі навчання, на досвіді і адаптації до різноманітних обставин.

Проте під терміном «знання» мається на увазі не лише та інформація, яка надходить до мозку через органи чуття. Такого типу знання надзвичайно важливі, але недостатні для інтелектуальної діяльності. Об'єктам нашого навколишнього середовища притаманна властивість не лише впливати на органи чуття, але й перебувати один із одним у певних відносинах (взаємодіях). Щоб здійснювати в навколишньому середовищі інтелектуальну діяльність (або хоча б просто існувати), необхідно мати в системі знань модель цього світу. У цій інформаційній моделі навколишнього середовища реальні об'єкти, їх властивості й відносини між ними не лише відображаються і запам'ятовуються, але й можуть «цілеспрямовано перетворюватися» [48].

Переважає більшість сучасних САК використовують програмно-апаратні засоби, в основі яких є PLC, які працюють за заданим алгоритмом, тобто приписом про виконання, в певному порядку, системи операцій для вирішення будь якої задачі. Такі системи, із заздалегідь визначеними алгоритмами, складно назвати інтелектуальними, і вони можуть бути ефективними лише в добре структурованій предметній галузі [35, 48, 82].

Натомість сферою ефективного застосування ШІ є, насамперед, слабко структуровані галузі, алгоритм дії в яких наперед невідомий. Для таких галузей є характерним неясність і нечіткість у вхідних даних, наявність різних шумів. Разом з тим, до системи ставляться вимоги ухвалювати однозначні, чіткі і зрозумілі рішення, з бажаним передбаченням їх ефективності. Серед таких галузей є складні технічні системи [31, 48, 80].

Керування складними системами принципово відрізняється від програмного керування, тобто переведення системи до бажаного стану тим чи іншим оптимальним шляхом. Пояснюється це, передусім, тим, що поведінку складних систем важко спрогнозувати, а визначити їй, тим більше, задати системі

«оптимальний» шлях переходу до бажаного стану, практично неможливо. Тому керування складними системами за змістом та механізмом дії найближче до фізіологічних процесів збудження і гальмування, тобто зовнішнього і внутрішнього стимулювання [31, 35, 48].

В сучасній будівлі всі елементи в системі життєзабезпечення взаємодіють між собою, прямо або побічно, структури зв'язків елементів є ієрархічними, а кожен елемент в системі може бути, в свою чергу, самостійною системою, із своїми системними властивостями і зі своєю метою функціонування. Тому такі будівлі, без сумніву, можна розглядати, як складні технічні системи.

Для прикладу, ВДЕ є базовим елементом енергоефективного будинку, але вони можуть бути інтегровані в загальнодержавну енергосистему і при цьому повинні працювати разом з нею у взаємоузгодженому режимі.

Дослідження у сфері ІІІ дають змогу розробити широкий спектр методів і підходів, які можна адаптувати, або використовувати для вирішення складних проблем електроенергетичної системи (зокрема щодо планування та експлуатації енергосистеми, керування її режимами), які раніше вважалися не розв'язуваними без суттєвих припущень в умовах невизначеності та відсутності достовірної інформації [31].

Загалом, за допомогою методів ІІІ можливо модернізувати весь процес електропостачання енергоефективної будівлі, від виробництва до споживання електроенергії, шляхом оптимізації систем ВДЕ та акумулюючих пристроїв електроенергії в питаннях керування режимами роботи, керування електроенергією наперед (прогнозування попиту на електроенергію), моніторингу, аналізу, оцінки стану і розпізнавання несправностей електроустаткування, з властивостями самовідновлення функцій, а також забезпечення стійкості та надійності функціонування системи в цілому.

На сьогодні, здійснено певні зусилля у напрямку використання підходів та методів штучного інтелекту для створення інструментів з метою самовідновлення електричних мереж: системи підтримки прийняття рішень на основі штучних нейронних мереж (ШНМ), нечіткої логіки та багатоцільових підходів на основі

Принципу Парето [7, 8, 31, 35, 80]. Принцип Парето (Закон Паретто, правило 80/20) – це емпіричне правило, яке стверджує, що для багатьох явищ 80 % наслідків спричинені 20 % причин [8, 31].

На відміну від класичних методів керування, які застосовують ПДрегулятори та побудовані на аналітичному описі об'єкта керування [35], інтелектуальні регулятори на основі ШНМ (*Рис. 3.1*) та нечіткої логіки (*Рис. 3.3*), намагаються відтворити принципи природних систем керування – нервових систем живих організмів, які реалізують універсальні принципи обробки емпіричної інформації й ефективні пошукові алгоритми адаптації.

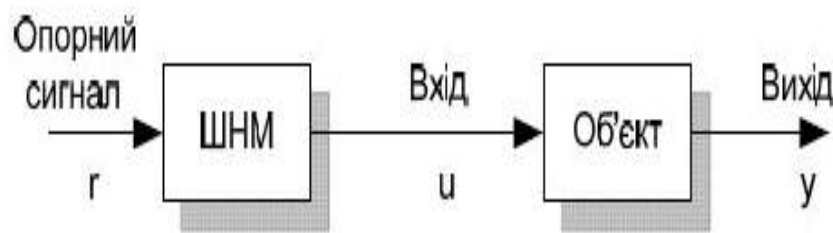


Рисунок 3.1 – Послідовна схема нейрокерування

Американським математиком Л. А. Заде запропоновано теорію нечітких множин та введено поняття «*fuzzy-logic*», що в перекладі означає «*нечітка логіка*», тому нечіткі регулятори називають також фаззі-регуляторами (фаззіконтролерами), а системи керування з нечіткими регуляторами – фаззісистемами [13].

Використання ШНМ дозволяє розв'язати задачі керування нелінійними об'єктами керування (ОК) шляхом створення адаптивних САК з нейрорегулятором, що навчається. При адаптації, навчання використовується для отримання інформації про стан і характеристики САК, що необхідно для оптимального керування в умовах невизначеності. Тобто адаптація тотожна оптимізації в умовах недостатньої інформації [35, 48]. Структура навчання ШНМ зображена на *Рис. 3.2* [35].

Для навчання ШНМ складається навчальна вибірка входних сигналів і відповідних їм вихідних. Вибірку, зазвичай, поділяють на дві частини: робочу (на основі якої проводиться навчання) і тестову (для перевірки якості навчання)

вибірки.

До переваг використання нейрорегуляторів відносять [35]:

їх високу ефективність для керування нелінійними нестационарними ОК,
де накопичені великі бази даних;

керування багатомірними і багатозв'язними ОК зі збуреним
середовищем функціонування.

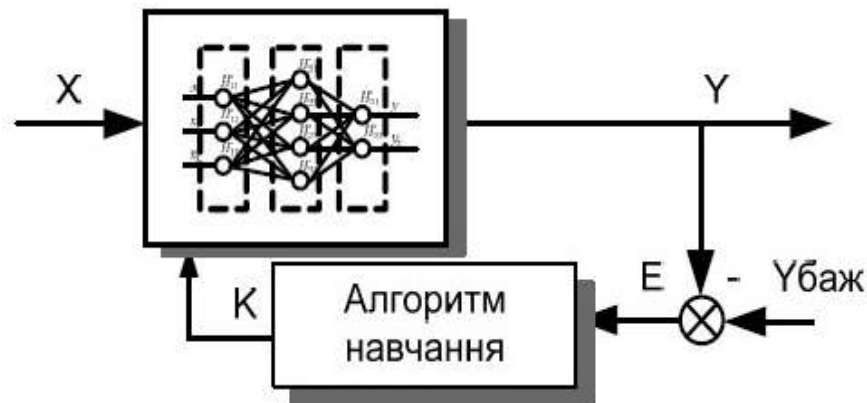


Рисунок 3.2. – Процес навчання ШНМ:

X – вектор вхідних сигналів; Y – вектор вихідних сигналів;

**$Y_{\text{баж}}$ – вектор бажаних значень вихідних сигналів; E – похибка
навчання ($E = Y_{\text{баж}} - Y$); K – корегуючі дії**

Системи керування на їх основі являють собою адаптивні САК.

Головні проблеми при створенні систем з нейрорегуляторами [35]:

необхідність обґрунтування змісту та обсягу інформації для навчання;
вибір структури регулятора і умов існування стійких рішень.

На рівні з нейромережами, методи нечіткої логіки дозволяють будувати логіко-лінгвістичні моделі, які притаманні людським способам міркувань і прийняття рішень.

Методи нечіткої логіки тісно пов'язані з теорією нечітких множин – сукупністю елементів, відносно яких неможливо, з повною впевненістю, стверджувати – належить той чи інший елемент даній сукупності чи ні [13].

Теорія нечітких множин має справу з «людськими знаннями», які прийнято називати «експертною інформацією». Характерним для нечіткого

керування є застосування якісних експертних знань для генерування керуючих впливів на ОК. Знання про взаємодію нечіткого регулятора з об'єктом чи процесом керування наводиться у формі правил виду: ЯКЩО (початкова ситуація), ТО (реакція у відповідь). Такі правила відповідають найпростішій формі людських взаємовідносин [13, 31].

Найбільш важливим застосуванням теорії нечітких множин є контролери нечіткої логіки. Їх функціонування дещо відрізняється від звичайних контролерів, оскільки для опису системи, замість диференціальних рівнянь використовуються знання експертів. Ці знання можуть бути виражені за допомогою лінгвістичних змінних, які описані нечіткими множинами [13, 35].

Всі системи керування з нечіткою логікою функціонують за єдиним принципом [13]: сигнали датчиків фазифікуються (перетворюються в нечіткий формат), обробляються, дефазифікуються та, у вигляді звичайних сигналів, подаються на виконавчі пристрої (*Рис. 3.3*).

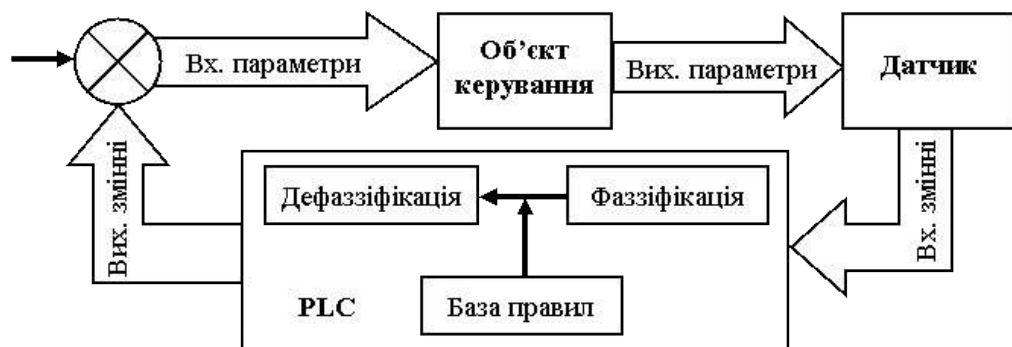


Рисунок 3.3 – САК на основі нечіткої логіки

Перетворення поточних значень вхідних змінних нечіткого регулятора в лінгвістичні величини істинності називають процедурою *фаззифікації*. В нечіткому регуляторі на основі сформульованих правил (бази правил), типу ЯКЩО – ТО, здійснюється формування логічного рішення – отримання нечіткої множини у формі результуючої функції приналежності. Визначення для цієї функції кількісного значення вихідної лінгвістичної змінної – керуючого впливу на об'єкт керування – називають *дефаззифікацією*.

Сучасні інноваційні САК будівлями, повинні прагнути до здатності

автоматичної адаптації відповідних параметрів функціонування інженерних систем, зокрема енергопостачання та освітлення, залежно від стохастичних та різнорідних зовнішніх та внутрішніх факторів впливу, в їх органічному поєднанні у складній технічній системі, з врахуванням географічних, природно-кліматичних особливостей регіону розташування об'єктів .

Окрім ефективного перерозподілу електроенергії, інтелектуальні системи керування, які здатні до навчання та застосування відповідних баз правил, можуть здійснювати вибір режиму роботи відповідних пристроїв систем життєзабезпечення будівлі, зокрема освітлення, яка найбільш тісно пов'язана з системою електропостачання об'єкта, ґрунтуючись на практичному аналізі індексів комфорту/дискомфорту освітленості в тому чи іншому функціональному приміщенні будівлі та нормативних показниках природного та штучного освітлення, необхідних для забезпечення технологічних процесів проживання чи іншої діяльності в конкретних приміщеннях та типах будівель, у тому числі з врахування вимог до аварійного освітлення [50, 51, 52].

Враховуючи все викладене вище, очевидно, що вплив САК, зокрема побудованих із застосуванням ШІ, на загальну енергоефективність будівель і споруд має бути предметом подальших глибоких наукових досліджень, з метою реалізації та впровадження прогресивних досягнень науки і техніки у практичну діяльність людей.

3.3 Нейронечітка мережа керування системою автономного електропостачання

Серед класичних шляхів вирішення задач керування об'єктами в умовах невизначеності є застосування методів адаптивного керування. Проте, такі методи мають деякі особливості, зокрема наступні [12].

На етапі параметричної ідентифікації визначаються параметри моделі об'єкта керування. Отже, постає необхідність у формуванні адекватних моделей об'єктів керування. Але, при масштабуванні системи її складності, істотно ускладнюється її моделювання за допомогою загальновідомих математичних

виразів, тому що зростає кількість змінних і параметрів. В режимі реального часу, вимірювання окремих змінних і визначення параметрів, як правило можливе лише у лабораторних умовах, і створення адекватної моделі стає досить ускладненою задачею. Окрім того, деякі особливості динамічних систем важко формалізувати, тому неможливе їх врахування в математичних моделях. У зв'язку з чим, оптимальним вирішенням даної проблематики є застосування апарату нечіткої логіки (НЛ) з нейромережною адаптацією, тим паче, що внаслідок зміни зазначених вище умов нейронної мережі (НМ) можна буде перенавчати за рахунок накопичення бази знань в ході функціонування системи. Така можливість програмно може бути реалізована у середовищі ANFIS Editor пакету прикладних математичних програм MatLab®.

Апарат нечіткої логіки формалізує здатність людини до наближених міркувань. На відміну від класичної логіки, яка ігнорує проблему невизначеності, оскільки всі висловлювання в формальних логічних системах можуть мати лише значення “істина” $\{I, 1\}$ та “фальш” $\{F, 0\}$, в НЛ істинність міркувань оцінюється з певним ступенем, який може приймати й проміжні значення, ніж $\{I, F\}$.

При формуванні системи керування на базі НЛ виходять, насамперед, з того, що стан складної динамічної системи та керуючий вплив САК розглядається як лінгвістичні змінні, які оцінюються якісними термами (засобами природної мови). Кожен терм розглядається як нечітка множина і формалізується за допомогою функції належності. Формування керуючого впливу здійснюється на основі певного набору правил, які встановлюють зв'язок між станом динамічної системи та керуючим впливом у САК. Визначення керуючого впливу здійснюється шляхом реалізації процедури переходу від функції належності до конкретного числового значення, яке і передається на виконавчий механізм.

Загальний алгоритм роботи САК на базі НЛ наведено на **Рис. 3.4** [12]. На практиці використовують апробовані алгоритми нечіткого виведення: алгоритм Мамдані, алгоритм Цукамото, алгоритм Сугено, алгоритм Ларсена.

У свою чергу, нейромережа – це обчислювальні структури, що моделюють

прості біологічні процеси, подібні із процесами людського мозку. Штучний нейрон складається з групи синапсів – однонаправлених вхідних зв'язків, з'єднаних з виходами інших нейронів, та аксон – вихідний канал, через який сигнал (збудження або гальмування) надходить на синапси наступних нейронів. Кожний вхід множиться на відповідний ваговий коефіцієнт (вагу), аналогічний синаптичній силі, і всі добутки підсумовуються, визначаючи рівень активації (*Рис. 3.5*) [12].



Рисунок 3.4 – Загальний алгоритм роботи САК на основі нечіткої логіки

Активаційною функцією, що найбільш розповсюджена є нелінійна функція активації S-подібного виду з насиченням (сігмоїд, або логічна функція з насиченням):

$$f(s) = \frac{1}{1 + e^{-as}}.$$

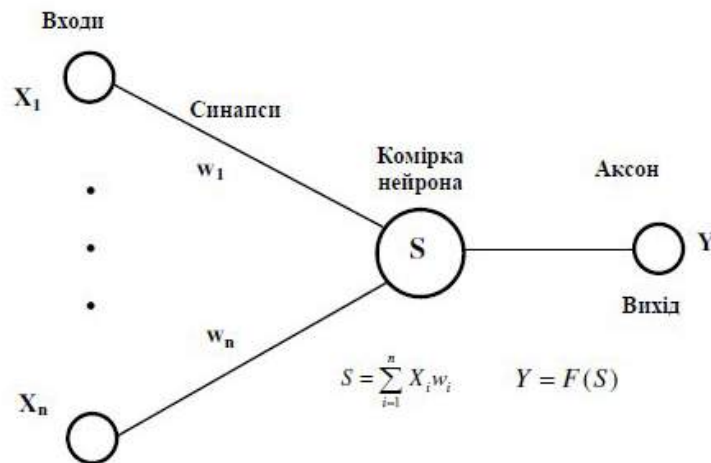


Рисунок 3.5 – Будова штучного нейрона:

$X_1 \dots n$ – входи, Y – вихід, $w_1 \dots n$ – синаптичні ваги, S – алгебраїчний суматор зважених входів, F – нелінійна активаційна функція

В цілому нейрон реалізує скалярну функцію векторного аргументу. Його математична модель:

$$s = \sum_{i=1}^n w_i x_i + b,$$

де w_i – вага синапса, $i = 1 \dots n$;

b – значення зміщення;

s – результат підсумовування;

x_i – компонент вхідного вектора (вхідний сигнал), $i = 1 \dots n$

y – вихідний сигнал нейрона;

n – кількість входів нейрона;

f – нелінійне перетворення (функція активації).

Процес функціонування НМ залежить від величини синаптичних ваг. Тому, обравши ту чи іншу структуру мережі, необхідно визначити оптимальне значення всіх змінних вагових коефіцієнтів. Цей етап є навчанням нейронної мережі, від якості якого буде залежити здатність НМ вирішувати у процесі функціонування поставлені перед нею задачі.

Працюючи, НМ формує вихідний сигнал (Y) у відповідності з вхідним сигналом (X), реалізуючи деяку функцію: $Y = g(X)$. Якщо структура мережі відома, то вигляд функціональної залежності визначається величинами синаптичних ваг та зміщень мережі [12].

Позначимо через G множину всіх можливих функцій g , що відповідають прийнятій структурі мережі.

Прийmemo, що розв'язком деякої задачі є функція v : $Y = v(X)$, задана парами вхідних-вихідних даних $(X_1, Y_1), \dots, (X_k, Y_k)$, для яких $Y_k = v(X_k)$, $k = 1 \dots N$ (кількість елементів навчальної вибірки). E – функція помилки (функціонал якості), що показує для кожної із функцій g ступінь близькості до v .

Розв'язання даної задачі, за допомогою певної НМ, – це побудова функції g з множини G , підбравши значення синаптичних ваг та зміщень таким чином, щоб функціонал якості перетворювався на оптимум для всіх пар (X_k, Y_k) .

Таким чином, задача навчання НМ визначається сукупністю п'яти компонентів: $\langle X, Y, v, G, E \rangle$. Навчання полягає в ітераційному створенні функції g , оптимальній по E .

Сьогодні є цілий ряд САК та експертних систем із нечіткими та нейромережними структурами, які кращі за класичні аналоги при роботі із нелінійними та нестаціонарними об'єктами (процесами) [12].

До переваг САК із застосуванням НЛ та НМ належать: робота в умовах невизначеності щодо характеру вхідних сигналів; надійне функціонування при великій кількості, порівняно з класичними системами, вхідних змінних [12].

До недоліків НМ можна віднести: тривалий час навчання; складність аналізу структури «навченої» мережі, що унеможливорює її оптимізацію; відсутність можливості введення експертної інформації для пришвидшення навчання мережі.

До недоліків САК із застосуванням НЛ можна віднести: неможливість автоматичного здобуття знань у процесі функціонування; необхідність розбиття універсальних множин на окремі області створює граничну кількість вхідних

параметрів.

Подолання недоліків НЛ та НМ забезпечило б підвищення продуктивності роботи САК та об'єктів керування в цілому. Саме з метою усунення таких недоліків окремого застосування НЛ та ТМ, було створено гібридні нейронні мережі, де висновки робляться на основі апарату нечіткої логіки, а відповідні функції належності підстроюються із використанням алгоритму навчання нейронних мереж. Ці системи можуть не лише використовувати експертну інформацію, а і отримувати в процесі функціонування нові знання. Таким чином, нечітка НМ – це нейронна мережа з чіткими сигналами, вагами і активаційною функцією, але для об'єднання їх використовуються t-норми, t-кононорми, або інші неперервні операції (**Рис. 3.6**) [12].

$$\alpha_1 = L_1(x_1) \cdot \wedge \cdot L_2(x_2);$$

$$\alpha_2 = H_1(x_1) \cdot \wedge \cdot H_2(x_2).$$

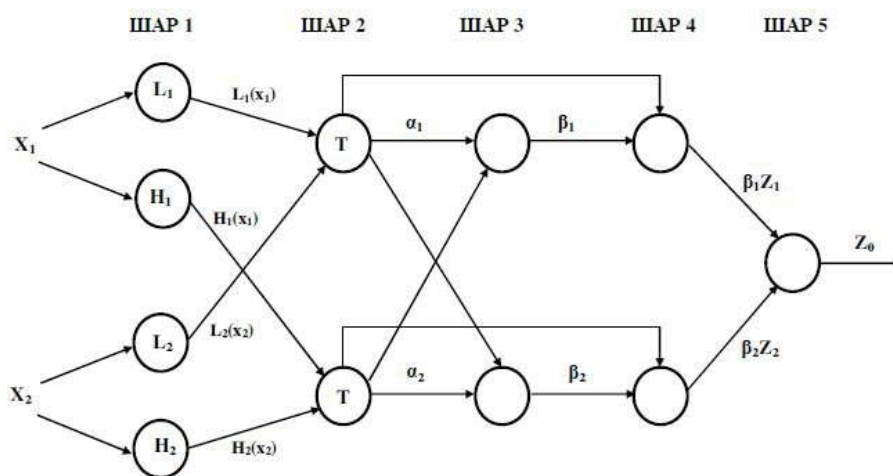


Рисунок 3.6 – Структура нейронечіткої мережі.

Розроблену мережу можна описати наступним чином.

ШАР 1. Виходи нейронів даного шару є значенням функції належності при конкретних (заданих) значеннях входів.

ШАР 2. Виходами нейронів цього шару є ступені істинності передумов кожного правила бази знань системи, вираховуються за формулами:

Всі нейрони шару позначені літерою T , що означає їх функціональну можливість реалізувати довільну t -норму для моделювання операції “ T ”.

ШАР 3. Нейрони цього шару вираховують величини:

$$\beta_1 = \frac{\alpha_1}{\alpha_1 + \alpha_2}; \quad \beta_2 = \frac{\alpha_2}{\alpha_1 + \alpha_2}.$$

ШАР 4. Нейрони даного шару здійснюють операції:

$$\beta_1 Z_1 = \beta_1 D^{-1}(\alpha_1); \quad \beta_2 Z_2 = \beta_2 M^{-1}(\alpha_2).$$

При чому коефіцієнти N та M визначають із співвідношень:

$$D^{-1}(\alpha_1) = c_4 + c_5 + \frac{1}{b_4} \ln \frac{1 - \alpha_1}{\alpha_1};$$

$$M^{-1}(\alpha_2) = c_4 + \frac{1}{b_4} \ln \frac{1 - \alpha_2}{\alpha_2}.$$

ШАР 5. Нейрон цього шару розраховує вихід мережі:

$$Z_0 = \beta_1 Z_1 + \beta_2 Z_2.$$

Коригування параметрів мережі для функцій належності N та M відбуваються відповідно до вибраного алгоритму (у даному випадку використано зворотне розповсюдження помилки) за формулами:

$$b_4 = b_4' - \frac{\eta}{b_4^2} \cdot \delta_k \cdot \frac{\alpha_1 + \alpha_2 - \alpha_3}{\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3};$$

$$c_4 = c_4' + \eta \delta_k;$$

$$c_5 = c_5' + \eta \delta_k \frac{\alpha_1}{\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3};$$

$$\delta_k = y^k - o^k, \quad k = 1 \dots N,$$

де: η – задана швидкість навчання нейронної мережі;

y^k – еталонний вихід нейронної мережі;

o^k – фактичний вихід нейронної мережі;

b'_4, c'_4, c'_5 – значення цих самих коефіцієнтів на попередньому етапі ітераційного навчання нейронної мережі;

N – кількість комплектів зразкових наборів вхідних (навчальних) даних.

Таким чином, ґрунтуючись на вищенаведеному, було побудовано модель нейронечіткого регулятора для керування системою електропостачання на основі сонячної та вітрової енергії і резервної електростанції ЕА з ДВЗ, загальний вигляд якої наведено в попередніх розділах та на **Рис. 3.7**.

Завданням САК є оптимізувати процес енергопостачання для автономного споживача, який головним чином залежить від: метеорологічних та кліматичних умов місцевості (енергетичні потенціали джерел енергії); потреб в енергії споживачів; специфіки роботи обладнання та пристроїв, що входять до складу системи автономного електропостачання [12].

Передбачити наявність та доступність потенціалів сонячної та вітрової енергії в достатній кількості та якості, можна лише з деякою імовірністю (внаслідок стохастичного характеру їх надходження). Тобто, можемо сказати, що присутня певна невизначеність. Добові потреби в енергії для споживачів, незважаючи на розрахункові графіки навантажень, також мають елемент невизначеності, оскільки повністю передбачити енергетичні потреби споживача досить складно. Це можна зробити з деякою імовірністю, а врахувати наперед додаткових споживачів енергії майже неможливо, внаслідок чого може змінитися графік енергетичного навантаження автономного споживача та збільшитися пікове навантаження системи, а це, в свою чергу, може призвести до неефективної роботи системи автономного електропостачання та не можливості повністю задовольнити потреби споживача в енергії.

Окрім того, обладнання та пристрої, які входять до складу системи електропостачання, досить суттєвої впливають на задоволення енергетичних потреб автономного споживача. Наперед, неможливо передбачити, в який момент часу може вийти з ладу те чи інше обладнання. Наприклад, якщо по тій чи іншій причині припинять свою роботу СБ чи ВЕУ (або разом), то споживач не зможе

повністю задовольнити свої енергетичні потреби. А якщо вийде з ладу хоча б один з елементів системи гарантованого живлення, то система САЕП взагалі припинить свою роботу, при цьому під загрозою опиняться споживачі I-ї категорії, що може призвести до непередбачуваних негативних наслідків. Тому, виходячи з вищевикладеного, можемо сказати, що САЕП працює в умовах невизначеності.

САК САЕП, повинна оптимізувати процес енергопостачання для автономного споживача, враховуючи умови, в яких планується впроваджувати САЕП (енергетичні потенціали ДЕ, енергетичні потреби споживача тощо).

Структура системи прийняття рішень нейронечіткої САК САЕП, наведена на **Рис. 3.7**.



Рисунок 3.7 – Структура нейронечіткої САК САЕП

На вхід надходитимуть дані щодо потужності, яку здатні забезпечити сонячні батареї (СБ) та вітроелектрична установка (ВЕУ). Третій вхідний параметр – потужність, яка потрібна споживачеві. В залежності від їхніх значень комутаційний пристрій має забезпечувати один із режимів:

Режим 1 – підключення лише сонячної батареї.

Режим 2 – підключення СБ та ВЕУ.

Режим 3 – підключення СБ, ВЕУ та ЕА з ДВЗ.

На початковому етапі, за допомогою нейронної мережі із використанням експертних даних, відбувається адекватне налаштування системи керування на

основі нечіткої логіки. Далі відбувається запуск САЕП.

У процесі функціонування база знань технологічного процесу постійно поповнюється. При невідповідності якості керування або через певний інтервал часу (встановлюється фахівцем-експертом) інформація із бази даних передається на інтелектуальний модуль, де, за допомогою нейронної мережі, здійснюється перенавчання нечіткої системи. Все це здійснюється на основі алгоритму зворотного розповсюдження помилки (градієнтний метод), який можна реалізувати за допомогою графічного інтерфейсу гібридних (нечітких) нейронних мереж модуля ANFIS Editor (Fuzzy Logic Toolbox) у пакеті прикладних програм системи MatLab®.

Вхідні параметри:

Потужність, яку може забезпечити СБ: 0...100кВт;

Потужність, яку може забезпечити ВЕУ: 0...50 кВт;

Потужність, яка потрібна споживачу: 0...100 кВт.

Вибір одного із 3 режимів (записуватимемо в умовних одиницях від 1 до 3).

Для ефективного моделювання було використано три блоки: по 200 наборів експертних даних навчальні (Training data) і контрольні (Testing data); та 100 наборів перевіряльних даних (Checking data). Наявність трьох блоків покращує якість подальшої роботи САК, оскільки дає можливість впевнитись, що не відбулося «перенавчання» мережі [12].

Інформаційні блоки заповнювались із врахування особливостей нейромережного синтезу – дані повинні змінюватись плавно та максимально насичено заповнювати всю область їхніх значень.

Далі наведено навчальні дані (*Табл. 3.1*), контрольні дані (*Табл. 3.2*) та перевірочні дані (*Табл. 3.3*), які було використано для навчання нейронної мережі. При цьому приймемо наступні позначення: X_1 – потужність СБ (від 0 до 100); X_2 – потужність ВЕУ (від 0 до 50); X_3 – потреби в енергії (від 0 до 100); Y – вибір режиму (від 1 до 3): 1 – використання лише СБ, 2 – використання СБ та ВЕУ, 3 – використання СБ, ВЕУ та ЕА з ДВЗ.

Таблиця 3.1 – Навчальні дані

№ п/п	X1	X2	X3	Y	№ п/п	X1	X2	X3	Y	№ п/п	X1	X2	X3	Y	№ п/п	X1	X2	X3	Y
1	100	10	50	1	51	60	0	89	3	101	87	30	16	1	151	76	17	89	2
2	90	20	55	1	52	70	8	87	3	102	90	0	9	1	152	77	18	92	2
3	80	30	60	1	53	80	18	83	1	103	93	0	2	1	153	78	19	95	2
4	52	40	70	2	54	90	4	81	1	104	96	35	12	1	154	79	20	98	2
5	60	50	75	2	55	95	6	79	1	105	0	40	24	2	155	90	21	100	2
6	50	15	80	3	56	85	45	77	1	106	1	0	36	3	156	95	22	98	2
7	40	25	85	3	57	80	25	73	1	107	2	45	48	3	157	96	23	96	1
8	30	35	90	3	58	75	5	72	1	108	3	50	60	3	158	97	24	94	1
9	20	45	100	3	59	70	0	68	1	109	4	0	72	3	159	98	20	92	1
10	10	5	45	3	60	33	0	65	3	110	5	49	84	3	160	99	30	90	1
11	0	10	40	3	61	60	1	62	3	111	15	48	96	3	161	100	40	88	1
12	15	15	35	3	62	55	2	58	3	112	16	47	10	1	162	0	50	86	3
13	20	20	30	2	63	50	3	56	3	113	17	46	20	2	163	100	0	84	1
14	25	25	25	1	64	45	4	54	3	114	18	45	30	2	164	95	0	82	1
15	30	30	20	1	65	40	5	51	3	115	19	44	100	3	165	90	5	80	1
16	35	35	15	1	66	35	6	49	3	116	20	43	90	3	166	85	15	78	1
17	40	40	10	1	67	30	7	48	3	117	25	42	80	3	167	80	25	76	1
18	45	45	5	1	68	25	8	46	3	118	26	41	70	3	168	75	35	74	1
19	50	50	10	1	69	20	9	44	3	119	27	40	60	2	169	70	45	72	2
20	55	0	20	1	70	15	10	41	3	120	28	39	50	2	170	65	55	70	2
21	60	1	30	1	71	10	21	39	3	121	29	38	40	2	171	60	49	68	2
22	65	2	40	1	72	5	22	37	3	122	30	37	3	1	172	55	39	66	2
23	70	3	50	1	73	0	23	35	3	123	0	36	6	2	173	50	29	64	2
24	75	10	60	1	74	3	24	33	3	124	35	35	9	1	174	0	19	62	3
25	80	9	70	1	75	9	25	29	2	125	36	34	11	1	175	45	9	60	3
26	85	8	80	1	76	12	26	27	2	126	37	33	14	1	176	40	0	58	3
27	90	7	90	1	77	15	27	24	2	127	38	32	17	1	177	35	1	56	3
28	95	6	100	1	78	18	28	21	2	128	39	31	20	1	178	30	11	54	3
29	100	5	5	1	79	21	29	9	1	129	40	30	23	1	179	25	22	52	3
30	0	4	7	3	80	24	30	8	1	130	45	29	26	1	180	20	33	50	2
31	30	3	10	1	81	27	0	3	1	131	46	28	29	1	181	15	44	48	2
32	57	2	13	1	82	30	0	1	1	132	47	27	32	1	182	10	49	46	2
33	90	1	16	1	83	33	41	8	1	133	48	26	35	1	183	5	12	44	3
34	20	3	19	1	84	36	42	16	1	134	49	25	38	1	184	0	24	42	3
35	40	9	21	1	85	39	43	32	1	135	50	1	41	1	185	5	36	40	2
36	60	11	25	1	86	42	44	64	2	136	0	2	44	3	186	10	48	38	2
37	80	14	28	1	87	45	45	96	3	137	55	3	47	1	187	15	3	36	3
38	100	17	30	1	88	48	46	100	3	138	56	4	50	1	188	20	9	34	3
39	5	20	31	3	89	51	47	93	2	139	57	5	53	1	189	25	13	32	2
40	15	23	33	2	90	54	48	86	2	140	58	6	56	1	190	30	19	30	1
41	30	26	36	2	91	57	49	79	2	141	59	7	59	1	191	35	23	28	1
42	45	29	39	1	92	60	50	72	2	142	60	8	62	2	192	40	29	26	1
43	60	31	41	1	93	63	0	65	3	143	65	9	65	1	193	45	33	24	1
44	75	33	43	1	94	66	5	58	1	144	66	10	68	2	194	50	39	22	1
45	90	37	44	1	95	69	10	51	1	145	67	11	71	2	195	0	43	20	2
46	10	40	47	2	96	72	0	44	1	146	68	12	74	2	196	100	49	18	1
47	85	43	51	1	97	75	15	37	1	147	69	13	77	2	197	95	0	16	1
48	30	46	99	3	98	78	20	30	1	148	70	14	80	2	198	90	25	14	1
49	40	49	96	3	99	81	0	23	1	149	0	15	83	3	199	80	50	12	1
50	50	0	93	3	100	84	25	1	1	150	75	16	86	2	200	70	0	10	1

Таблиця 3.2 – Контрольні дані

№ п/п	X1	X2	X3	Y	№ п/п	X1	X2	X3	Y	№ п/п	X1	X2	X3	Y	№ п/п	X1	X2	X3	Y
1	10	50	90	3	51	43	10	57	3	101	0	1	37	3	151	51	42	56	2
2	20	48	25	2	52	78	8	59	1	102	90	2	82	1	152	31	43	33	2
3	30	35	48	2	53	95	4	51	1	103	95	3	28	1	153	21	45	85	3
4	40	42	90	3	54	82	9	53	1	104	100	4	46	1	154	11	46	22	2
5	50	12	63	2	55	61	10	62	2	105	5	5	64	3	155	0	49	74	3
6	60	47	100	2	56	12	6	84	3	106	0	6	48	3	156	28	48	44	2
7	70	28	52	1	57	13	3	70	3	107	18	7	92	3	157	78	47	64	1
8	80	39	53	1	58	18	0	9	1	108	28	8	17	3	158	98	35	83	1
9	90	37	91	2	59	17	14	90	3	109	38	9	54	3	159	20	37	100	3
10	100	0	94	1	60	19	15	80	3	110	48	10	89	3	160	66	24	84	2
11	0	23	78	3	61	16	18	56	3	111	58	11	36	1	161	77	29	90	2
12	90	32	25	1	62	49	49	60	2	112	0	12	34	3	162	58	28	75	2
13	80	50	36	1	63	68	48	88	2	113	98	13	18	1	163	33	13	64	3
14	85	42	64	1	64	95	47	48	1	114	88	14	67	1	164	11	16	32	3
15	86	14	82	1	65	97	46	62	1	115	78	15	93	1	165	49	18	28	1
16	48	17	27	1	66	92	45	32	1	116	68	16	39	1	166	100	43	96	1
17	25	19	64	3	67	0	43	8	2	117	0	17	34	3	167	88	44	47	1
18	31	39	46	2	68	25	42	90	3	118	89	18	37	1	168	12	47	12	2
19	48	49	15	1	69	0	41	42	3	119	45	19	19	1	169	13	49	34	2
20	59	50	51	1	70	85	11	73	1	120	78	20	16	1	170	47	18	19	1
21	62	43	85	2	71	45	15	55	2	121	25	45	13	1	171	67	19	67	1
22	45	41	91	3	72	15	48	44	2	122	89	44	34	1	172	69	31	15	1
23	20	22	58	3	73	56	41	90	2	123	5	43	37	2	173	38	37	89	3
24	58	33	49	1	74	78	12	64	1	124	7	42	35	2	174	8	0	39	3
25	100	11	28	1	75	49	24	10	1	125	11	41	88	3	175	99	0	34	1
26	0	44	29	2	76	82	46	48	1	126	3	50	89	3	176	44	2	10	1
27	0	12	27	3	77	15	50	80	3	127	28	32	92	3	177	50	45	6	1
28	0	13	38	3	78	42	41	90	3	128	75	38	64	1	178	82	8	38	1
29	15	14	34	3	79	49	47	40	1	129	89	34	34	1	179	92	33	55	1
30	19	23	18	1	80	74	49	45	1	130	12	48	31	2	180	34	22	33	1
31	48	24	100	3	81	65	3	65	1	131	48	42	37	1	181	64	11	28	1
32	26	25	99	3	82	5	9	98	3	132	19	21	39	3	182	79	44	49	1
33	35	35	44	2	83	10	11	78	3	133	20	29	61	3	183	12	10	43	3
34	24	45	66	2	84	15	15	45	3	134	40	0	64	3	184	56	5	64	3
35	47	41	28	1	85	20	14	65	3	135	1	50	67	3	185	12	15	98	3
36	58	42	77	2	86	25	18	32	2	136	2	0	82	3	186	78	20	28	1
37	26	43	33	2	87	30	17	12	1	137	3	47	83	3	187	89	25	84	1
38	12	46	22	2	88	35	40	25	1	138	4	49	81	3	188	56	30	18	1
39	45	49	47	2	89	40	41	85	3	139	0	48	24	2	189	45	35	79	2
40	75	48	90	2	90	45	43	96	2	140	9	42	28	2	190	12	40	96	3
41	98	47	56	1	91	50	47	69	2	141	8	11	82	3	191	55	45	34	1
42	62	11	31	1	92	0	49	36	2	142	7	12	46	3	192	0	50	27	2
43	37	18	34	1	93	55	46	63	2	143	10	13	31	3	193	21	0	71	3
44	61	19	39	1	94	60	50	41	1	144	56	35	11	1	194	62	31	64	2
45	42	13	82	3	95	0	3	14	3	145	87	36	25	1	195	94	42	91	1
46	85	12	84	1	96	65	8	74	3	146	95	38	77	1	196	47	47	18	1
47	94	16	91	1	97	70	9	47	1	147	19	37	44	2	197	74	19	49	1
48	10	15	34	3	98	75	28	91	2	148	91	39	56	1	198	83	20	86	2
49	100	14	76	1	99	80	43	19	1	149	81	4	62	1	199	2	40	38	2
50	25	5	73	3	100	85	44	73	1	150	41	41	88	3	200	54	50	64	2

Таблиця 3.3 – Перевірочні дані

№ п/п	X1	X2	X3	Y	№ п/п	X1	X2	X3	Y
1	42	50	100	3	51	85	12	31	1
2	85	45	65	1	52	41	13	4	1
3	100	23	95	2	53	24	15	77	3
4	0	21	82	2	54	68	47	25	1
5	58	44	99	2	55	0	35	93	3
6	75	40	34	1	56	100	25	64	1
7	92	10	75	1	57	59	47	10	1
8	34	35	82	3	58	89	24	25	1
9	28	25	63	3	59	78	49	89	2
10	64	24	64	1	60	42	27	97	3
11	90	27	12	1	61	96	10	53	1
12	99	39	85	1	62	82	23	69	1
13	45	24	63	2	63	42	18	88	3
14	88	24	85	1	64	13	38	22	2
15	23	10	22	1	65	64	24	64	1
16	64	13	34	1	66	27	29	33	2
17	81	35	67	1	67	83	34	77	1
18	24	50	5	1	68	64	44	24	1
19	83	20	9	1	69	10	22	72	3
20	67	0	72	3	70	24	50	20	1
21	92	12	20	3	71	28	49	80	3
22	11	24	45	3	72	93	47	30	1
23	66	29	68	2	73	61	34	70	2
24	77	38	93	2	74	88	32	73	1
25	89	47	24	1	75	44	12	64	3
26	40	40	100	3	76	33	19	98	3
27	50	50	93	2	77	65	45	82	2
28	86	0	52	1	78	93	37	99	2
29	68	30	94	2	79	64	20	55	1
30	64	0	63	1	80	12	31	33	2
31	10	45	34	2	81	83	48	12	1
32	27	20	86	3	82	85	37	84	1
33	65	12	34	1	83	82	30	22	1
34	20	34	100	3	84	91	18	45	1
35	85	50	0	1	85	45	45	85	2
36	93	14	85	1	86	38	46	90	3
37	64	19	43	1	87	18	43	100	3
38	72	35	66	1	88	17	26	91	3
39	31	34	35	2	89	5	24	23	3
40	25	47	82	3	90	10	28	81	3
41	95	22	37	1	91	2	19	71	3
42	42	33	75	2	92	6	17	35	3
43	0	44	86	3	93	7	26	64	3
44	0	10	52	3	94	0	29	81	3
45	74	11	41	1	95	24	11	61	3
46	85	20	24	1	96	78	25	94	2
47	93	48	64	1	97	62	48	71	2
48	31	41	93	3	98	11	37	21	2
49	67	32	24	1	99	55	47	11	1
50	72	20	88	2	100	61	38	55	1

Нейромережне навчання нечіткої системи здійснено з із застосування стандартних налаштувань ANFIS Editor (Fuzzy Logic Toolbox) та з використанням трикутної функції належності *trimf*.

Активувавши ANFIS Editor, завантажили навчальну вибірку (**Рис. 3.8**).



Рисунок 3.8 – Навчальна вибірка

Запустивши навчання із 500 епохами та гібридним алгоритмом підлаштування функцій належності нечіткої системи отримали середньоквадратичну похибку – 0,33476 у.о. (**Рис. 3.9**).

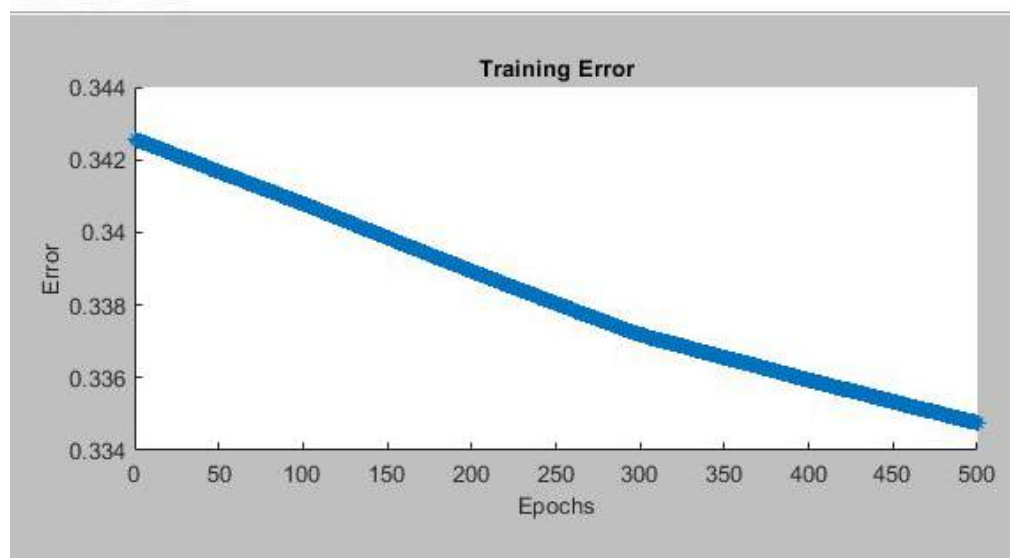


Рисунок 3.9 – Якість навчання із використанням функції *trimf*

У відсотковому відношенні вона становить – 16,74%. Для досягнення

максимально більшої якості функціонування системи, після ряду апробацій обрано функцію належності *gbellmf*, що, для 1000 тренувальних епох, при повторних циклах навчання забезпечують середньоквадратичну похибку 0,2903 у.о. (14,51 %), наведена на **Рис. 3.10**.

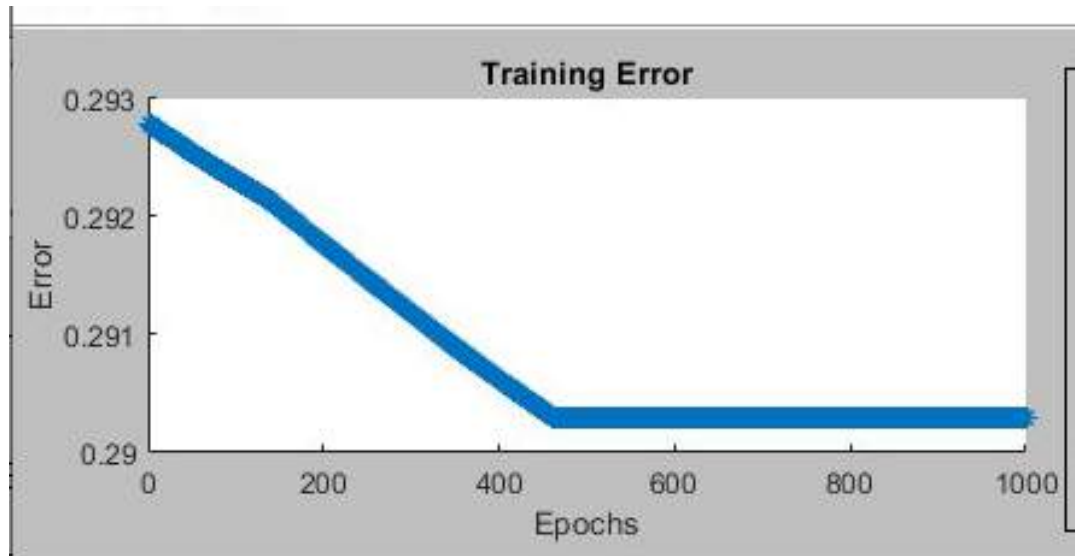


Рисунок 3.10 – Якість навчання із використанням функції *gbellmf*

Потім завантажили блок контрольних даних (**Рис. 3.11**), встановивши, що середньоквадратична похибка роботи нечіткої системи складає 20,5 %.

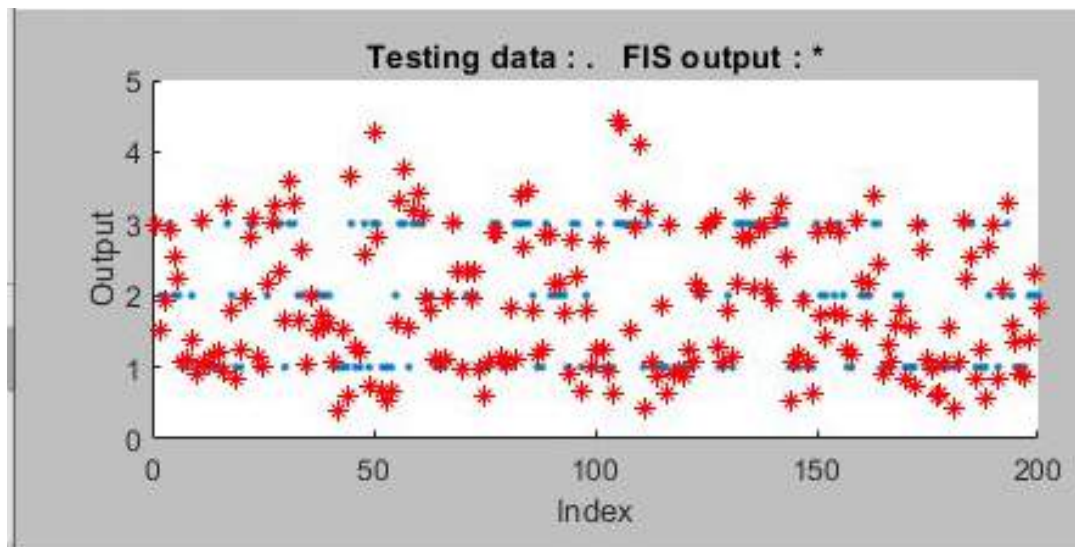


Рисунок 3.11 – Якість функціонування нечіткої системи при контрольній вибірці

Тоді завантажили блок перевіряльник даних (**Рис. 3.12**), який підтвердив

адекватність роботи нечіткої системи: середньоквадратична похибка становить 21,399 %, та відсутність ефекту «перенавчання».

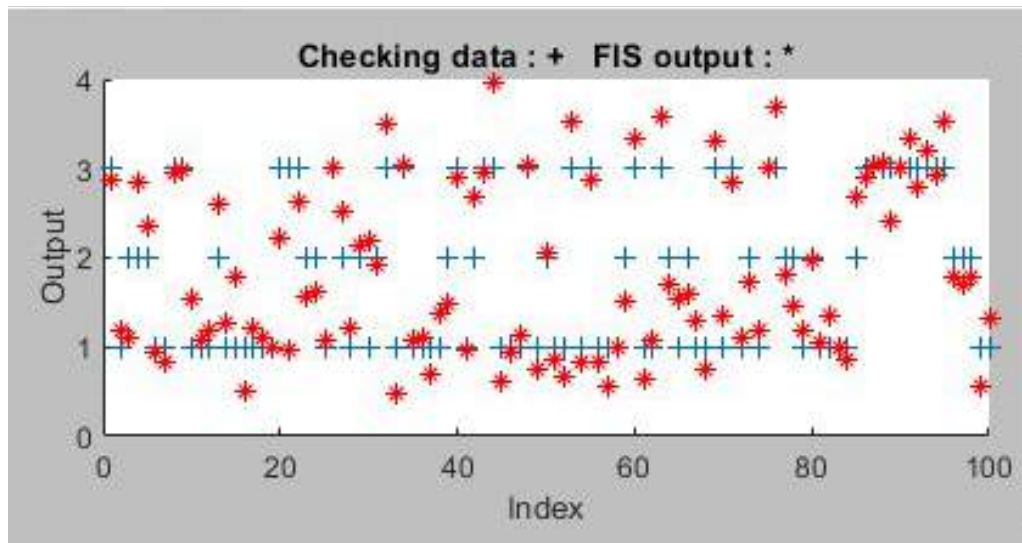


Рисунок 3.12 – Якість функціонування нечіткої системи при перевірочній вибірці

На **Рис. 3.13** наведено архітектуру нечіткої системи керування, згідно рекомендацій ANFIS-Editor.

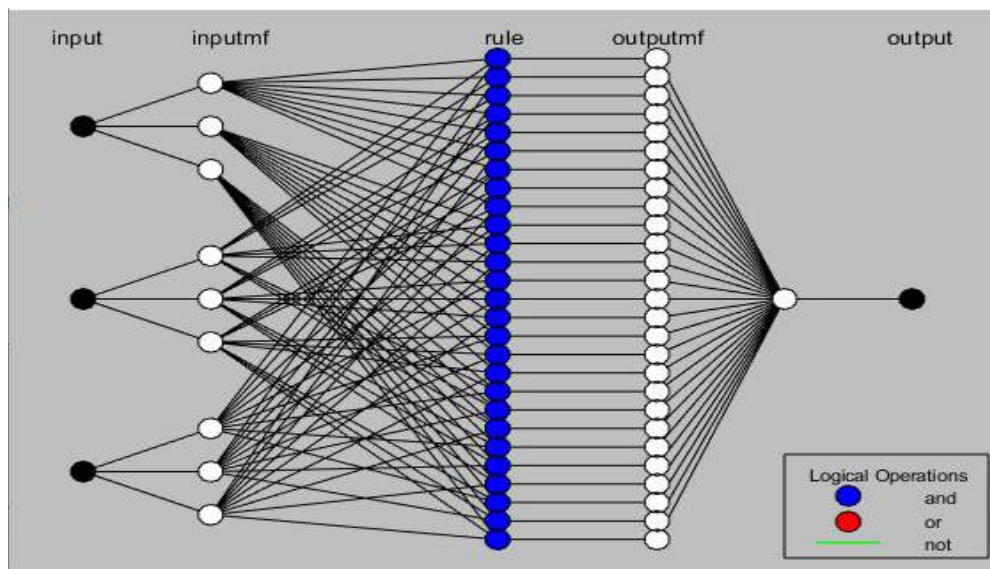
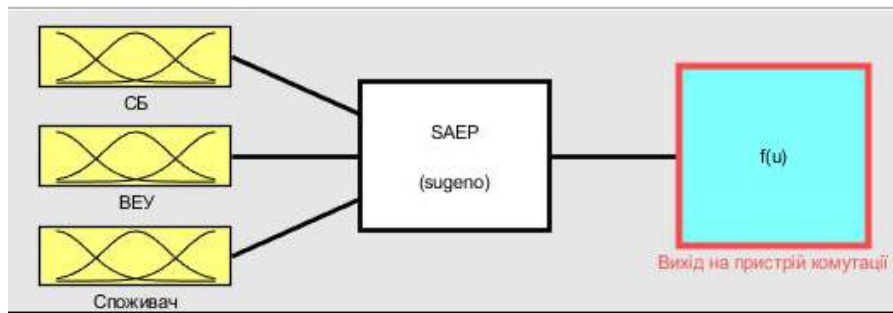


Рисунок 3.13 – Архітектура нечіткої САК САЕП, згідно рекомендацій ANFIS-Editor

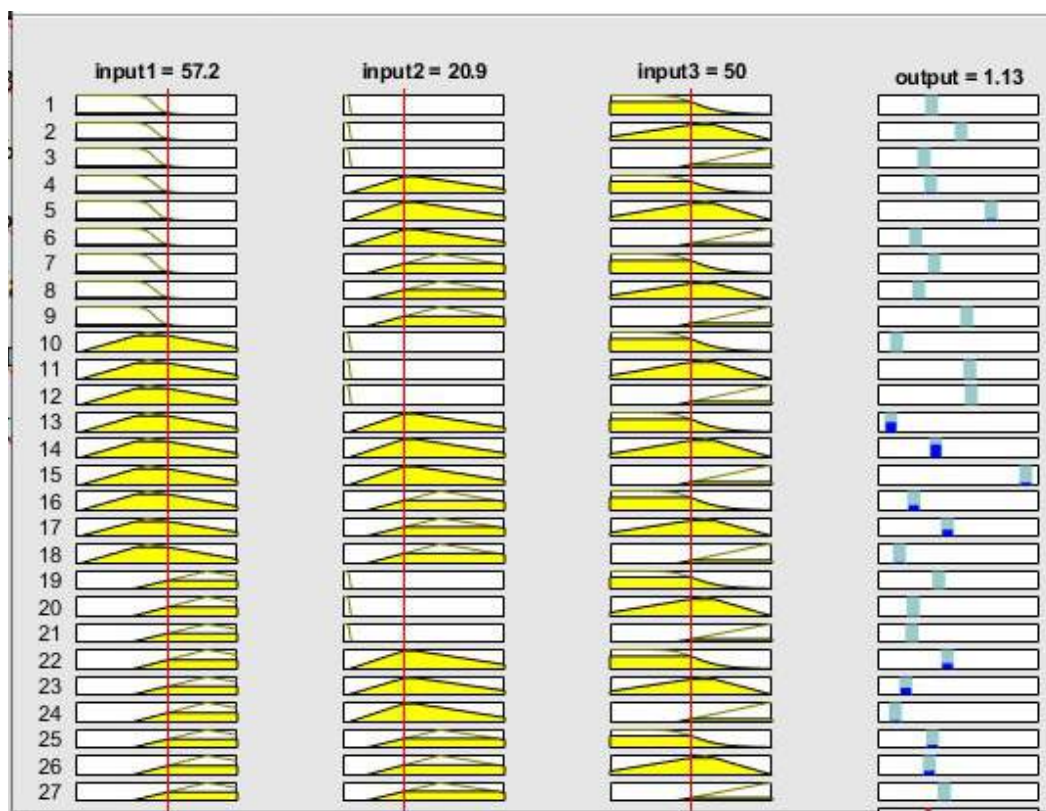
Потім було створено систему нечіткого висновку (FIS-систему). FISсистема апроксимує залежність між входами та виходами, на основі нечіткої

бази знань та нечіткого логічного висновку. На **Рис. 3.14** наведено структуру нечіткої САК САЕП, створеної за допомогою FIS-редактора MatLab®.



**Рисунок 3.14 – Структура нечіткої САК САЕП
(ANFIS-Editor MatLab®)**

Для опрацювання інформації було використано алгоритм Сугено. Сугено – це нечітка база знань, яка ділить простір входних змінних на нечіткі зони, в яких зв'язок між входними та вихідною змінною задають лінійною функцією. Результат нечіткого висновку отримують як зважену лінійну комбінацію результатів нечітких логічних висновків для кожного правила [10, 92].



**Рисунок 3.15 – Правила нечітких продукцій САК САЕП,
нейромережно налаштовані**

На **Рис. 3.15** наведено правила нечітких продукцій для нечіткої САК САЕП з нейропідлаштованими параметрами функцій належності, а на **Рис. 3.16** – **Рис. 3.18** – функції належності для термів вхідних змінних.

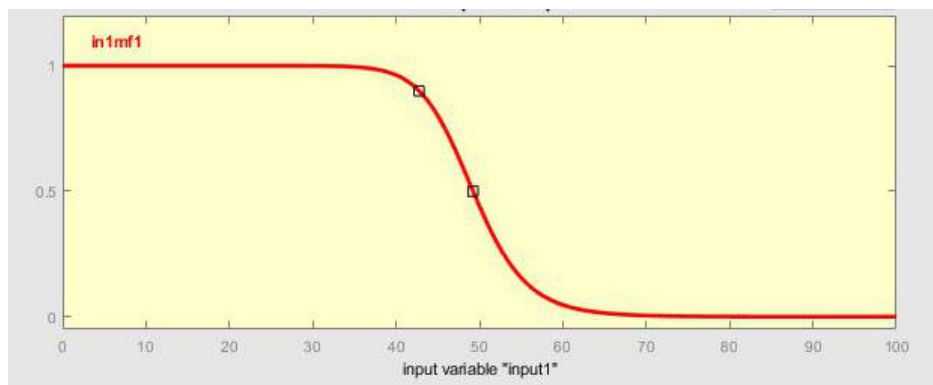


Рисунок 3.16 – Графік функції належності для термів вхідних змінних **СБ**

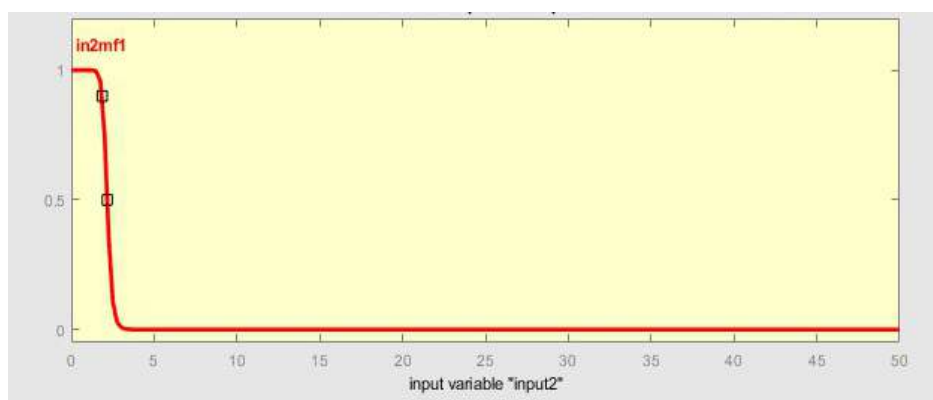


Рисунок 3.17 – Графік функції належності для термів вхідних змінних **ВЕУ**

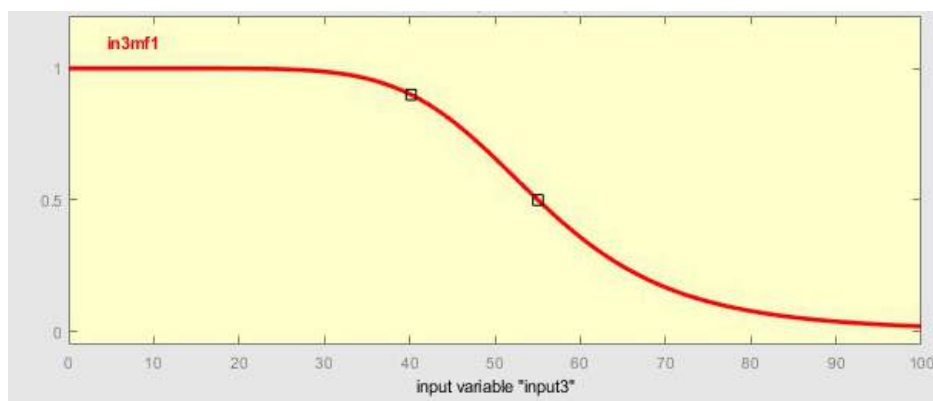


Рисунок 3.18 – Графік функції належності для термів вхідних змінних **споживача**

Висновок: Зменшуючи крок зміни навчальних та контрольних даних при навчанні нейронечіткої мережі, апробації функцій належності та збільшення циклів навчання, можна досягти підвищення якості функціонування нейронечіткої САК до необхідного рівня.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі використано вихідні дані реального об'єкта електропостачання – будівлю, яка розташована на території Кіровоградської області з відповідними електротехнічними характеристиками.

В результаті виконаної роботи було запроектовано інтелектуальну систему керування автономним електропостачанням будівлі. В якості основних джерел енергії обрано системи сонячних батарей (панелей) та вітрогенераторну установку.

Система керування розроблена з врахуванням максимального отримання сонячної енергії, шляхом автоматичного орієнтування сонячних панелей відносно Сонця.

Враховуючи те, що система освітлення будівлі за своєю суттю є підсистемою електропостачання, в силу того, що не потребує додаткових інженерних систем перетворення енергії, в роботі також розглянуто можливість централізованого керування освітленням САК САЕП.

Вся система інтелектуального керування розроблена з врахуванням концепції «Smart home», яка передбачає використання стандартизованих протоколів передачі даних (обміном інформації) та надає можливість масштабувати систему та інтегрувати її з іншими інженерними системами та мережами.

Проектні роботи передбачають розробку наступних схем:

- електрична структурна схема САЕП;
- електрична функціональна схема САП;
- електрична принципова схема мікроконтролерного модуля САК САЕП.

З метою розуміння логіки функціонування САК САЕП, розроблено алгоритм функціонування системи у вигляді блок-схем. Загальний алгоритм роботи САК САЕП передбачає керування такими підсистемами електропостачання як:

- підсистема автоматизованого розподілення енергії від джерел енергії

до споживачів будівлі;

- підсистема автоматичного позиціонування трекерів сонячних батарей (панелей) відносно Сонця, що дає змогу отримати на поверхні фотоелемента найбільшої концентрації сонячної випромінювання;
- підсистема освітлення за концепцією «Smart home» з керуванням від САК САЕП.

В алгоритмі використано принцип послідовної обробки системою автоматичного керування згаданих підсистем, при цьому пріоритетним напрямком керування обрано підсистему розподілу згенерованої енергії від ВДЕ до споживачів. Коли робота САК перебуває на етапі опрацювання підсистем орієнтування трекерів сонячних панелей та освітлення, заданий алгоритм із заданою періодичністю контролює безаварійність роботи підсистеми розподілу енергії, та у разі виникнення аварійних ситуацій, безумовно повертається до їх усунення. Окрім того, система САК САЕП надає можливість пріоритетного електропостачання до споживачів I – II групи за рахунок ввімкнення системи резервного живлення.

Мікроконтролерний модуль системи інтелектуального керування побудований на базі сучасного мікроконтролера ESP32, який добре зарекомендував себе в системах «Smart home» та «IoT» та має хороше співвідношення вартості та надійності роботи.

Враховуючи стохастичність надходження енергії від сонячних батарей та вітрогенератороні установки, а також непередбачуваність умов експлуатації системи автономного електропостачання, було використано нейронечіткий автоматичний регулятор, який покликаний оброблювати інформацію в умовах невизначеності. Дані регулятори здатні імітувати поведінку людини при прийнятті рішень та базуються на базі правил та експертних знаннях.

Роботу нейронечіткого автоматичного регулятора перевірено шляхом комп'ютерного моделювання за допомогою прикладної програми MatLab®. Зроблено висновки, що якість нейронечіткого регулювання напряму залежить від якості вихідних даних, що задаються експертним шляхом. Пори цьому, в нашому

конкретному випадку, якість регулювання можна покращити, шляхом збільшення даних вибірки навчання та контролю.

В роботі використані наступні методи дослідження:

- спостереження;
- аналіз;
- систематизація;
- формалізація;
- алгоритмізація;
- моделювання.

Результати кваліфікаційної роботи можуть бути апробовані в експериментальній будівлі, електротехнічні характеристики та показники якої було взяти за основу при виконанні даної роботи.

В подальшому, запроектована інтелектуальна система керування автономним електропостачанням із застосуванням елементів «Smart home» може бути предметом дослідження з точки зору підвищення енергоефективності будівель і споруд, шляхом її інтеграції з іншими інженерними системами та мережами енергоефективних будівель різного функціонального призначення.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. 5 будинків, котрі дають більше енергії, ніж витрачають // DomUkrBio : вебсайт. URL: <https://dom.ukr.bio/ua/articles/7891/> (дата звернення: 07.10.2024).
2. Активні будинки: ті, що виробляють енергію // Платформа розвитку міст : веб-сайт. URL: <http://urbanua.org/ideyi-i-proekty/koncepciyi-i-strategiyi/132> (дата звернення: 07.10.2024).
3. Басок Б. І. Фундаментальна теплофізична інженерія будівель у контексті відновлення України. За матеріалами доповіді на засіданні Президії НАН України 5 квітня 2023 року. *Visn. Nac. Acad. Nauk Ukr.* 2023. № 6. С. 6272. DOI: <https://doi.org/10.15407/visn2023.06.062> ISSN 10273239.
4. Басок Б. І., Беляєва Т. Г., Божко І. К., Недбайло О. М., Новіков В. Г., Хибіна М. А. Система електрозабезпечення експериментального будинку типу 0-енергії (площею 300 м²) на основі використання відновлювальних і альтернативних джерел енергії. *Nauka innov.* 2015. № 11(6). С. 2939. ISSN 1815-2066.
5. Бушер В. В., Мельникова Л. В. Сучасні методи автоматизації будівель. *Электротехнические и компьютерные системы.* 2013. № 11(87). С. 8289. URL: <http://dspace.opu.ua/jspui/bitstream/123456789/2459/1/82-89n.pdf> (дата звернення: 12.10.2024).
6. Босов Є. П., Жесан Р. В., Каліч В. М., Голик О. П., Зубенко В. О. Охорона праці при проектуванні систем автоматизації виробництва : навч. посіб. 2е вид., перероб. і доп. Кропивницький : ЦНТУ, 2022. 208 с.
7. Василенко В. І., Ремізов І. А. Особливості побудови інтелектуальних енергетичних систем будівель та споруд. *Енергетичний менеджмент: стан та перспективи розвитку* : матеріали VI Міжнар. наук.-тех. та навч.-метод. конф. м. Київ, 04-07 черв. 2019 р. Київ: КПІ ім. І. Сікорського, 2019. С 2122.
8. Вікіпедія. Вільна енциклопедія : веб-сайт. URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki/> (дата звернення: 12.10.2024).
9. Голик О. П., Жесан Р. В. Автоматизована система керування автономним

- енергопостачанням на основі комбінованих вітро-сонячних установок. *Відновлювана енергетика*. 2010. № 4. С. 2022.
10. Голик О. П., Жесан Р. В., Волков І. В., Чеканов О. О., Березюк І. А. Енергозбереження та використання поновлюваних джерел енергії : навч. посіб. Ч. 1. М-во освіти і науки України, Центральноукраїн. нац. техн. ун-т. Кропивницький : Лисенко В. Ф., 2020. 192 с. ISBN 978-617-7813-05-6.
 11. Голик О. П. Жесан Р. В. Сучасні сонячні системи для автономного енергозабезпечення споживачів агропромислового комплексу : тези доп. III міжнар. наук.-прак. конф. м. Київ : НУБіП України, 2015. С. 25-26.
 12. Голик О. П. Інтелектуальні системи підтримки прийняття рішень : методичні вказівки до виконання практичних занять для студентів денної та заочної форми навчання за спеціальностями: 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології», 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка». Кропивницький : ЦНТУ, 2020. 59 с.
 13. Гостев В. И. Нечеткие регуляторы в системах автоматического управления. Київ : Радіоаматор, 2008. 972 с. ISBN 978-966-96178-2-0.
 14. Денисюк С. П. Пріоритети розвитку енергетики на період до 2050 р. *Енергетичний менеджмент: стан та перспективи розвитку – REMS'21* : збірн. наук. праць VII Міжнар. наук.-техн. та навч.-методичн. конф., м. Київ, Інст-т енергозбереж. та енергоменеджм. (ІЕЕ) НТУУ «КПІ ім. І. Сікорського», 911 березня 2021 р. Київ : НТУУ «КПІ ім. І. Сікорського», 2021. С. 10-11.
 15. Денисюк С. П., Базюк Т. М. Особливості формування активного споживача в сучасних електромережах. *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. 2014. № 3. С. 7579. ISSN 1997-9266.
 16. Денисюк С. П., Базюк Т. М., Федосенко М. М., Ярмолюк О. С. Системи електропостачання з активним споживачем: моделі та режими. Київ : Видво ПП «АВЕРС», 2017. 182 с. ISBN 9789668777189.
 17. Денисюк С. П., Радиш І. П., Кабацій В. М., Дерев'янка Д. Г. Основи електротехніки та електропостачання : навч. посіб. Київ : Кондор, 2012.

216 с. ISBN 9789662781014.

18. Денисюк С. П., Таргонський В. А. Енергоефективність України: проблеми та шляхи її зростання. *Енергетика: економіка, технології, екологія*. 2017. № 4(50). С. 7–28. URI: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/24623> (дата звернення: 22.10.2024).
19. ДСТУ EN 15232-1:2017. Енергоефективність будівель. Частина 1. Вплив автоматизованих систем моніторингу та управління будівлями. Модулі M10-4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 (EN 15232-1:2017, IDT). Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2017. 17 с.
20. ДСТУ 3440-96. Системи енергетичні. Терміни та визначення. Київ : Держстандарт України, 1997. 45 с.;
21. Енергетична ефективність України. Кращі проектні ідеї [Електронне видання] : Проект «Професіоналізація та стабілізація енергетичного менеджменту в Україні» / Уклад.: С. П. Денисюк, О. В. Коцар, Ю. В. Чернецька. Київ : КПІ ім. І. Сікорського, 2016. 79 с. ISBN 9789668777127.
22. Енергія сонця // Держенергоефективності : веб-сайт. URL: <https://www.sae.gov.ua/uk/ae/sunenergy> (дата звернення: 13.10.2024).
23. Енергоефективні технології : навч. посіб. / за заг. ред. А. С. Мандрики. Суми : Сумський держ. унів-т, 2021. 330 с. ISBN 9789666578849.
24. Жесан Роман, Голик Олена, Жесан Руслан. Способи орієнтації сонячних панелей домашньої сонячної електростанції, що працює за «зеленим тарифом». *Автоматика, комп'ютерно-інтегровані технології та проблеми енергоефективності в промисловості і сільському господарстві (AKIT2022)* : матеріали міжнар. наук.-техн. конф., м. Кропивницький, ЦНТУ, 10-11 листопада 2022 р. Кропивницький : ПП «Ексклюзив-Систем», 2022. С. 24-25. ISBN 978-617-7942-22-0. URI: <http://dspace.kntu.kr.ua/jspui/handle/123456789/12299> (дата звернення: 11.10.2024).
25. Жесан Р. В., Голик О. П., Коренецька Н. Б., Попок А. А. Шляхи можливого розв'язання сучасних проблем вітчизняної енергетики за допомогою

- поновлюваних джерел енергії. *Збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету. Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація* : зб. наук. пр. Кіровоград : КНТУ, 2015. Вип. 28. С. 266274. URI: <http://dspace.kntu.kr.ua/jspui/handle/123456789/1237> (дата звернення: 15.11.2024).
26. Жесан Р. В., Плешков С. П., Деморецька О. П., Шкабура В. О. Основні проблеми, що виникають при створенні систем автоматизованого енергопостачання з використанням комбінованих геліо-вітрових установок автономного сільськогосподарського споживача. *Збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету. Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація*. Кіровоград : КНТУ, 2006. Вип. 17. С. 312316. URI: <http://dspace.kntu.kr.ua/jspui/handle/123456789/5658> (дата звернення: 08.11.2024).
27. Жесан Р. В., Решетняк В. О., Голик О. П. До питання попереднього визначення кількості сонячної енергії при проектуванні систем енергопостачання з сонячними установками. *Збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету. Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація* : зб. наук. пр. Кіровоград : КНТУ, 2007. Вип. 19. С. 100106. URI: <http://dspace.kntu.kr.ua/jspui/handle/123456789/8728> (дата звернення: 20.11.2024).
28. Жесан Р., Голик О., Кравцов С., Зубенко В. Основні складові зростання енергоефективності в Україні. *Прикладні науково-технічні дослідження* : матеріали VI міжнар. наук.-прак. конф., м. Івано-Франківськ, Академія технічних наук України, 1416 трав. 2024 р. Івано-Франківськ : Видавець Кушнір Г. М., 2024. С. 7780. ISBN: 9786177926619. DOI: <https://doi.org/10.63048/978-617-7926-61-9.0>, URI: <https://ukrtsa.org.ua/wp-content/uploads/2024/05/conf2024.pdf> (дата звернення: 01.09.2024).

29. Жидецький В. Ц. Основи охорони праці : підруч. 3-є вид., перероб і доп. Львів : УАД, 2006. 336 с.
30. Жидецький В. Ц., Джигирей В. С., Сторожук В. М., Туряб Л. В., Лико Х. І. Практикум з охорони праці. Львів : Афіша, 2000. 352 с.
31. Кирик В. В. Математичний апарат штучного інтелекту в електроенергетичних системах : підруч. Київ : КПІ ім. І. Сікорського, Видво «Політехніка», 2019. 224 с. ISBN 978-966-622-969-7.
32. Кириленко О. В. Денисюк С. П. Сучасні тенденції побудови та керування режимами електроенергетичних мереж. *Енергосбережение. Энергетика. Энергоаудит*. 2016. № 4 (147). С. 214. ISSN 22181849.
33. Комеліна О. В., Щербініна С. А. Сучасні проблеми забезпечення енергоефективності житлового будівництва в Україні. *Проблеми економіки*. 2014. № 3. С. 108114. URI: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Pekon_2014_3_15 (дата звернення: 24.10.2024).
34. Конспект лекцій з навчальної дисципліни «Енергозбереження та використання поновлюваних джерел енергії». Частина 1 : для студент. 4 курсу спец. 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка / [уклад. : Р. В. Жесан, О. П. Голик]; М-во освіти і науки України, Центральноукраїн. нац. техн. ун-т, каф. автоматизації виробнич. процесів. Кропивницький : ЦНТУ, 2023. – 63 с. URL: <http://dspace.kntu.kr.ua/jspui/handle/123456789/12696> (дата звернення: 22.10.2024).
35. Корнієнко В. І., Гусєв О. Ю., Герасіна О. В., Щокін В. П. Теорія систем керування : підруч. Дніпро : НГУ, 2017. 497 с. ISBN 978-966-350-650-0. URI: <http://ir.nmu.org.ua/handle/123456789/152814> (дата звернення: 29.11.2024).
36. Костик Л. М., Вакуленко О. О., Фіголь П. М. Підвищення надійності систем електропостачання на базі цифрових технологій. *Актуальні задачі сучасних технологій* : збірн. тез доповідей VII Міжнар. наук.-техн. конф. молод. учених та студ., м. Тернопіль, 2829 лист. 2018 р. Том III. Тернопіль : ТНТУ, 2018. С. 1314. URL: <http://m.tntu.edu.ua/storage/pages/00000742/Book-3->

2018.pdf (дата звернення: 19.11.2024).

37. Куашнинг Ф. Системы возобновляемых источников энергии. Технология – Расчеты – Моделирование : учеб. Пер. с нем. Астана : Фолиант, 2013. 432 с. ISBN (EAN) 9786013020327.
38. Кудря С. О. Електроенергетичний потенціал відновлюваних джерел енергії України. *Відновлювана енергетика та енергоефективність у XXI столітті* : матеріали XXI міжнар. наук.-практ. конф. м. Київ, 1415 трав. 2020 р. Київ : Інтерсервіс, 2020. С. 2633.
39. Кудря С. О., Головки В. М. Основи конструювання енергоустановок з відновлюваними джерелами енергії : курс лекцій. Київ : НТУУ «КПІ», 2005. 132 с. ISBN 9663400978.
40. Кудря С. О., Головки В. М. Основи конструювання енергоустановок з відновлюваними джерелами енергії : навч. посіб. Київ : НТУУ «КПІ», 2011. 182 с. ISBN 9789666224524.
41. Кудря С. О., Яценко Л. В., Душина Г. П., Шинкаренко Л. Я., Довга В. Т., Васько П. Ф., Бриль А. О., Шурчков А. В., Забарний Г. М., Жовмір М. М., Віхарєв Ю. А. Атлас енергетичного потенціалу відновлюваних та нетрадиційних джерел енергії України. Київ : Інст-т електродинаміки НАНУ, 2001. 40 с.
42. Кравцов С., Жесан Р., Жесан Р., Голик О. Базові компоненти зростання енергоефективності та енергонезалежності. *Автоматика та комп'ютерно-інтегровані технології в промисловості та агропромисловому комплексі* : збірник тез доповідей здобувачів вищої освіти (магістрантів) та наукових керівників семінару, м. Кропивницький, 9 лист. 2023 р. Кропивницький : ЦНТУ, 2023. С. 1923. URL: https://avp.kntu.kr.ua/files/tezy_AVP_magister.pdf (дата звернення: 01.09.2024).
43. Кравцов С. В., Жесан Р. В., Голик О. П. Відновлювані джерела енергії й інші базові компоненти зростання енергоефективності та енергонезалежності. *Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки*. Вип. 8(39). Ч. I. Кропивницький : ЦНТУ, 2023. С. 4856. ISSN 2664262X(Print),

- 27079449(Online). **(Фахове видання. Категорія «Б»).** DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2023.8\(39\).1.48-56](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2023.8(39).1.48-56), URL: [http://mapiea.kntu.kr.ua/pdf/8\(39\)_I/8.pdf](http://mapiea.kntu.kr.ua/pdf/8(39)_I/8.pdf) (дата звернення: 01.09.2024).
44. Козирський В. В., Волошин С. М. Основи електропостачання : підруч. Київ : Компринт, 2021. 497 с.
45. Кодекс цивільного захисту України : Закон України від 2 жовт. 2012 р. № 5403-VI. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/main/5403-17#Text> (дата звернення: 09.11.2024).
46. Кодекс законів про працю України : Закон України від 10 груд. 1971 р. № 322-VIII. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/main/322-08#Text> (дата звернення: 09.11.2024).
47. Конституція України. Київ : Вид-во Паливода А. В., 2019. 76 с.
48. Методи та системи штучного інтелекту: навч. посіб. для студентів напряму підготовки 6.050101 «Комп'ютерні науки» / за ред.: А. С. Савченко, О. О. Синельнікова. Київ : НАУ, 2017. 190 с.
49. Мхитарян Н. М. Гелиоэнергетика: системы, технологии, применение. Киев : Наук. думка, 2002. 320 с. ISBN 9660007590.
50. Мхитарян Н. М. Среда обитания: образы комфорта : монография. НАН Украины, Ин-т возобновляемой энергетики. Киев : Наук. думка, 2018. 572 с. ISBN 9789660016569.
51. Мхитарян Н. М. Человек и жилище. [Нац. акад. наук Украины, Ин-т возобновляемой энергетики]. Киев : Наук. думка, 2012. 309 с. ISBN 9789660011816.
52. Мхитарян Н. М. Энергетика и комфорт : монография. Нац. акад. наук Украины, Ин-т возобновляемой энергетики. Киев : Наук. думка, 2011. 440 с. ISBN 9789660011403.
53. Мхитарян Н. М. Энергетика нетрадиционных и возобновляемых источников. Опыт и перспективы. Киев : Наук. думка, 1999. 314 с. ISBN 9660006551.
54. Мхитарян Н. М. Энергосберегающие технологии в жилищном и гражданском строительстве. Киев : Наук. думка, 2000. 420 с. ISBN 9660006683.

55. Мхитарян Н. М. Гелиоенергетика. Системы, технологии, применение. Київ : Наукова Думка, 2002. 300 с.
56. Основи законодавства України про охорону здоров'я : Закон України від 19 листоп. 1992 р. № 2801-XII. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2801-12#Text> (дата звернення 10.11.2024).
57. Пасивний будинок. Будинок нуль енергії : веб-сайт. URL: <https://www.google.com/url?esrc=s&q=&rct=j&sa=U&url=http://nkkep.com/wp-content/uploads/2020/05/26.05-P-12-Pry-roda-I.pdf&ved=2ahUKEwiGjZPjs8WAAxWUFBAlHVlHANGQFnoECAkQAg&usg=AOvVaw17QatV-oUTdHddstpKt98c> (дата звернення: 04.11.2024).
58. Пасивний будинок: що це, переваги та недоліки // Портал продавців кліматичного обладнання : вебсайт. URL: <https://comfortsellers.com.ua/pasyvnyy-budynok-shcho-tse-perevahy-ta-nedoliky/> (дата звернення: 04.11.2024).
59. Пащенко В. Ф., Жесан Р. В. Виявлення факторів, що впливають на ефективність роботи перетворювачів сонячної та вітрової енергії у складі комбінованого геліовітроенергетичного агрегату в умовах Кіровоградського регіону. *Інтегровані технології та енергозбереження*. 2000. № 1. С. 8692.
60. Пащенко В. Ф., Жесан Р. В. Карти енергетичних потенціалів відновлюваних джерел енергії як джерело інформації для проектування автономних систем енергопостачання із САК. *Сборник научных трудов Национальной горной академии Украины*. № 11. Т. 2. Днепропетровск : РИК НГА Украины, 2001. С. 8689.
61. Плешков П. Г., Плешков С. П., Котыш А. И., Солдатенко В. П. Электроснабжение сельскохозяйственных потребителей на базе комплексной электроэнергетической системы с использованием возобновляемых источников энергии. *Електротехніка і Електромеханіка*. Харків : НТУ ХПІ, 2007. № 4. С. 5052. URI: <http://dspace.kntu.kr.ua/jspui/handle/123456789/6210> (дата звернення: 08.10.2024).
62. Приймак О. В., Швачко Н. А. Вибір раціональної схеми системи

- теплопостачання з використанням відновлюваних джерел енергії. *Енергоефективність в будівництві та архітектурі* : наук.-техн. зб. Київ : КНУБА, 2015. Вип. 7. С. 236-240. URI: <https://repository.knuba.edu.ua/server/api/core/bitstreams/43205153-406d-49fd-977c-7b0db56d860d/content> (дата звернення: 22.10.2024).
63. Пушкар М. С., Проценко С. М. Проектування систем автоматизації : навч. посіб. Дніпропетровськ : Національний гірничий університет, 2013. 268 с. ISBN 978 – 966 – 350 – 423 – 0.
64. Проектування систем електрифікації та автоматизації АПК : підручник / І.І. Мартиненко І. І. та ін. Київ, 2008. 330 с.
65. Півняк Г., Шкрабець Ф., Нойбергер Н., Ципленков Д. Основи вітроенергетики : підручник Дніпропетровськ : НГУ, 2015. 335 с. ISBN 978-966-350-526-8.
66. Про альтернативні джерела енергії : Закон України від 20 лют. 2003 р. № 555. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/555-15#Text> (дата звернення: 21.07.2023).
67. Про енергетичну ефективність : Закон України від 21 жовт. 2021 р. № 1818. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1818-20#Text> (дата звернення: 20.10.2024).
68. Про енергетичну ефективність будівель : Закон України від 2 черв. 2017 р. № 2118. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2118-19> (дата звернення: 21.10.2024).
69. Про схвалення Енергетичної стратегії України на період до 2050 року : розпорядження Кабінету Міністрів України від 21 квіт. 2023 року. № 373-р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/373-2023-%D1%80#n6> (дата звернення: 20.10.2024).
70. Правила улаштування електроустановок : вид. офіц. Київ : Міненерговугілля України, 2017. 617 с.
71. Про затвердження правил Правил технічної експлуатації електроустановок споживачів : наказ Міністерства палива та енергетики України від 25 лип.

- 2006 р. № 258. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1143-06#Text> (дата звернення: 02.11.2024).
72. Про систему громадського здоров'я : Закон України від 6 верес. 2022 р. № 2573-IX. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2573-20#n840> (дата звернення 10.11.2024).
73. Про використання ядерної енергії та радіаційну безпеку : Закон України від 8 лют. 1995 р. № 39/95-ВР. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/39/95-%D0%B2%D1%80> (дата звернення 18.11.2024).
74. Про загальнообов'язкове державне соціальне страхування : Закон України від 23 верес. 1999 р. № 1105-XIV. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1105-14> (дата звернення 12.11.2024).
75. Про охорону праці : Закон України від 14 жовт. 1992 р. № 2694-XII. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/main/2694-12#Text> (дата звернення: 07.11.2024).
76. Розумний будинок // VSTechnologies : веб-сайт. URL: http://www.vstechnologies.eu/services_smarthouse_bg.htm (дата звернення: 21.10.2024).
77. Розподілена електрогенерація буде пріоритетом на найближчі роки - Олексій Кулеба // Укрінформ : веб-сайт. URL: <https://www.ukrinform.ua/rubric-economy/3920187-rozpodilena-elektrogeneracia-bude-prioritetom-na-najblizci-roki-oleksij-kuleba.html> (дата звернення: 25.10.2024).
78. Система життєзабезпечення: опис, будова, призначення та функції. Редактор Оксана Гришко : веб-сайт. URL: <https://bigbro.com.ua/sistema-zhittyezabezpechennya-opis-budovu-priznachennya-ta-funktsiyi/#:~:text=Система%20життєзабезпечення%20–%20це%20комплекси%2C%20що,%2C%20апарата%2C%20об%27єкта> (дата звернення: 01.11.2024).
79. Соловей О. І., Розен В. П., Плешков П. Г., Серебренніков С. В., Петрова К. Г. Основи ефективного використання електричної енергії в системах електроспоживання промислових підприємств: навч. посіб. Кіровоград. нац. техн. ун-т. Черкаси : Чабаненко Ю. 2015. 316 с. URI:

- <http://dspace.kntu.kr.ua/jspui/handle/123456789/5881> (дата звернення: 09.10.2024).
80. Степанець О. В., Захарченко А. С. Вплив автоматичної системи моніторингу та управління будівлею на загальні показники енергоефективності. *Автоматизація технологічних і бізнес-процесів*. 2020. № 2. С. 1321. URL: https://www.researchgate.net/publication/347606425_Vpliv_avtomaticnoi_sistem_i_onitoringu_ta_upravlinna_budivleu_na_zagalni_pokazniki_energoefektivnosti (дата звернення: 22.10.2024).
81. Станиславский Л. В., Дзецина О.П. Двигатели внутреннего сгорания : учеб. пособие. Киев : ИСИО, 1994. Ч. 1. 100 с.
82. Трегуб В. Г. Проективання систем автоматизації. Київ : Вид-во Ліра-К, 2017. 344 с. ISBN: 9789662609585.
83. Україна – енергетичний хаб Європи. Уряд схвалив Енергетичну стратегію до 2050 року // Міністерство енергетики України : веб-сайт. URL: <https://mev.gov.ua/novyna/ukrayina-enerhetychnyy-khab-yevropy-uryad-skhvalyv-enerhetychnu-stratehiyu-do-2050-roku> (дата звернення: 12.10.2024).
84. Чучалин М. П. Впровадження енергозберігаючих та енергоефективних технологій у сучасному будівництві. *Міжнародний науковий журнал «Інтернаука»*. 2017. № 1(23). Т. 1. С. 1318. URI: <https://www.inter-nauka.com/issues/2017/1/1921> (дата звернення: 22.11.2024).
85. Швачко Н. А., Приймак О. В., Кольчик Ю. М., Кушніров О. С. Метод подання даних по сонячній радіації для розрахунку систем сонячного теплопостачання. *Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання*. 2002. Вип. 4. С. 8587. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/votp_2002_4_19 (дата звернення: 10.10.2024).
86. Шкрабець Ф. П., Плешков П. Г. Основи електропостачання : навч. посіб. Кіровоград: РВЛ КНТУ, 2010. 408 с.
87. Щербина О. М. Енергія для всіх: технічний довідник з енергоощадності та відновлюваних джерел енергії : Вид. 4-е, допов. і перероб. Ужгород : Вид-во

В. Падяка, 2007. 340 с.

88. Що таке «розумний будинок» і навіщо він потрібен? // Блог STYLUS : вебсайт. URL: <https://stylus.ua/uk/articles/528.html> (дата звернення 05.10.2024).
89. Energy Performance of Buildings : Directive (EU) 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council. URL: <https://www.google.com/url?esrc=s&q=&rct=j&sa=U&url=https://eurlex.europa.eu/LexUriServLexUriServ.do%3Furi%3DOJ:L:2010:153:0013:0035:en:PDF&ved=2ahUKEwi7kaOsk8qAAxXC7rsIHWxCukQFnoECAwQAg&usg=AOvVaw0QKj3hEEZHCQKvaiAVOGvU> (дата звернення: 21.10.2024).
90. ESP32-DevKitC V4. User Guide // Espressif : веб-сайт. URL: https://docs.espressif.com/projects/esp-dev-kits/en/latest/esp32/esp32-devkitc/user_guide.html (дата звернення: 11.11.2024).
91. Gevorkian P. Alternative Energy Systems in Building Design, 1st ed. New York : McGraw-Hill Companies, Inc., 2009. 512 с. ISBN 9780071625241.
92. Kevin M. Passino, Stephen Yurkovich. Fuzzy Control. Ohio State University, 2001. 572 p.
93. Levermore G. J. Building Energy Management Systems: Applications to Low-energy HVAC and Natural Ventilation Control. Abingdon : E & FN Spon, 2000. 519 p. ISBN 0419261400, 9780419261407.
94. Shengwei Wang. Intelligent Buildings and Building Automation. 1. Intelligent buildings. 2. Buildings – Mechanical equipment – Automatic control. I. Title. TH6012.W36, 2010. 696с. dc22. ISBN 0-203-89081-7.
95. Sorensen B. Renewable Energy Conversion Transmission and Storage. Cambridge, Massachusetts : Academic, 2007. 323 p. ISBN 9780123742629.
96. Twidell J., Weir T. Renewable Energy Resources. 2nd ed. London and New York : Routledge Taylor & Francis Group, 2006. 601 с. ISBN 0419253203.
97. Zero будинок // Сахара : веб-сайт. URL: <https://сахара.ua/kompaniya-statti-zerohouse> (дата звернення: 04.11.2024).

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ ТА СПЕЦІАЛЬНИХ ТЕРМІНІВ

Українські терміни:

АВР – автоматичне вмикання резерву.

АКБ – акумуляторна батарея.

АМУБ – система автоматизації, моніторингу та керування (управління) будівлями.

АЦП – аналого-цифровий перетворювач.

БДН – блок датчиків напруги.

БДС – блок датчиків струму.

ВДЕ – відновлювальні джерела енергії.

ВЕС – вітроелектрична станція.

ВЕУ – вітроелектрична установка.

ВУ – вітроустановка;

ГРЩ – головний розподільчий щит.

ДПНСБ – датчик повороту та нахилу сонячних трекерів.

ДСР – датчик сонячної радіації.

ДШНВ – датчик швидкості та напрямку вітру.

ЕА з ДВЗ – електроагрегат з двигуном внутрішнього згорання;

ІС – інтегральна схема.

МК – мікроконтролер.

ОК – об'єкт керування.

ПЕР – паливно-енергетичні ресурси.

ПЛК – програмований логічний контролер (англ. *Programmable Logic Controller (PLC)*).

ПТКЗА – програмно-технічний комплекс засобів автоматизації.

САЕП — система автономного електропостачання.

САК – система автоматичного керування.

СЕС – сонячна електрична станція.

ЦАП – цифро-аналоговий перетворювач.

ІІ – штучний інтелект (англ. *Artificial Intelligence (AI)*).

ШПІ – широтно-імпульсний перетворювач.

ШНМ – штучні нейронні мережі (штучні нейромережі).

Іноземні терміни:

AI – див. ІІІ.

BAS – системи автоматизації будівель (англ. *Building Automation System*).

BMS – система керування будівлею (англ. *Building Management System*).

BEMS – система керування енергоспоживанням будівлі (англ. *Building Energy Management System*).

CCS – центральна станція керування (англ. *Central Control Station*).

EPBD – директива з енергитичної ефективності будівель (англ. *Directive on the energy performance of buildings*).

EPH – будівля плюсової енергії (англ. *Energy Plus House*).

IoT – інтернет речей (*Internet of Things*).

NZE – будівля з чистою нульовою енергією (англ. *Net Zero Energy*).

PH – пасивний будинок (англ. *Passive House*).

PLC – див. ПЛК.

RTU – віддалений термінал (англ. *Remote Terminal Unit*).

SCADA – диспетчерське керування та збір даних (англ. *Supervisory Control and Data Acquisition*).

SI – Міжнародна система одиниць (франц. *Système International d'Unités*) – система одиниць фізичних величин, сучасний варіант метричної системи.

ZEB – будинок нульової енергії (англ. *Zero Energy Building*).

ZNE – споруда з чистою нульовою енергією (англ. *Zero Net Energy*).