

ЖИТОМИРСЬКИЙ АГРОТЕХНІЧНИЙ ФАХОВИЙ КОЛЕДЖ

відділення "Інженерної інфраструктури та комп'ютерних наук"

Кафедра "Електроенергетика, електротехніка
та електромеханіка"

До захисту допущений
Завідувач відділення

_____ Лавріщев О.О.

« ____ » _____ 2025 року

Пояснювальна записка

до дипломного проекту
освітньо-професійний ступінь фаховий молодший бакалавр

на тему: "Автоматизація приватного господарства з енергонезалежним
живленням на базі відновлювального джерела енергії з контролем
енергоспоживання"

Виконав: здобувач освіти IV курсу, групи Е -42
спеціальності

141 "Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка"

_____ Савчук Т.Є.

Керівник роботи _____ Дурас М.В.

Консультант з охорони праці _____ к.т.н. Нездвєцька І.В.

Консультант з економічної частини _____ Мельничук В.В.

Рецензент _____
(підпис) (прізвище та ініціали)

м. Житомир – 2025 року

ЖИТОМИРСЬКИЙ АГРОТЕХНІЧНИЙ ФАХОВИЙ КОЛЕДЖ

Відділення " Інженерної інфраструктури та комп'ютерних наук "

Кафедра "Електроенергетика, електротехніка
та електромеханіка"

Галузь знань 14 "Електрична інженерія"

Спеціальність 141 "Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка"
освітньо-професійний ступінь фаховий молодший бакалавр

ЗАТВЕРДЖУЮ
завідувачка кафедри

І.В. Нездвєцька

“ ” 2025 року

З А В Д А Н Н Я
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ ЗДОБУВАЧА ОСВІТИ

Савчука Тимофія Євгенійовича

1. Тема проекту: " Автоматизація приватного господарства з енергонезалежним живленням на базі відновлювального джерела енергії з контролем енергоспоживання "

керівник проекту Дурас Марія Володимирівна,

затверджені наказом навчального закладу від "03" грудня 2024 року № 495-н

2. Строк подання студентом проекту "10" червня 2025 року

3. Вихідні дані до проекту: характеристика та обстеження підприємства.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

Вступ.

1. Загальна частина.

2. Розрахункова частина.

3. Економічна частина.

4. Охорона праці

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

1. Схема енергонезалежного живлення приватного господарства.

2. Схема електрична принципова.

6. Консультанти розділів проекту

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розділ1	Дурас М.В. викладач спеціальних дисциплін.	27 січня 2025р.	
Розділ2	Дурас М.В. викладач спеціальних дисциплін.	27 січня 2025р.	
Розділ3	Мельничук В.В. викладач спеціальних дисциплін.	27 січня 2025р.	
Розділ4	Нездвецька І.В. викладач спеціальних дисциплін.	27 січня 2025р.	
ГЧ та технічна документація.	Дурас М.В. викладач спеціальних дисциплін.	27 січня 2025р.	

7. Дата видачі завдання “27” січня 2025 року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту	Строк виконання етапів проекту	Примітка
1.	Вступ.	05.05.2025р.	
2.	Розділ 1.	12.05. 2025р.	
3.	Розділ 2.	19.05. 2025р.	
4.	Розділ 3.	24.05. 2025р.	
5.	Розділ 4.	26.05. 2025р.	
6.	ГЧ1. Схема енергонезалежного живлення	02.06. 2025р	
7.	ГЧ2. Схема електрична принципова	02.06. 2025р	

Здобувач освіти _____ Савчук Т.Є.

Керівник проекту _____ Дурас М.В.

[illegible]

“ Автоматизація приватного господарства з енергоне залежним живленням на базі відновлювального джерела енергії з контролем енергоспоживання ”

РЕФЕРАТ

Робота включає в себе пояснювальну записку та графічну частину. Пояснювальна записка містить 50 сторінок формату А4, 2 плакати формату А1.

В дипломному проєкті проведено огляд існуючих засобів автоматизації які є можливість застосувати при автоматизації приватних господарств або малих приватних підприємств. Приділено увагу також системам моніторингу та контролю. За результатами огляду зроблено підбор оптимальної апаратури для реалізації поставленої мети. Економічні озрахунки доводять, що обрані складові задовольняють вимогам і економічно доцільні. Термін окупності цілком задовольняє вимогам щодо проєктів такого типу по альтернативній енергетиці. В самому дипломі передбачено можливості для оптимізації системи, що ще покращить економічні показники.

ЗМІСТ

Вступ	5
1 Аналітичний розділ	9
1.1 Огляд існуючих систем автоматизації приватних господарств	9
1.2 Аналіз відновлювальних джерел енергії	10
1.3 Системи накопичення енергії	11
1.4 Системи моніторингу та контролю енергоспоживання	12
2 Розрахунково-технічний розділ	14
2.1 Енергетичний аудит приватного господарства	14
2.2 Розрахунок потужності відновлювальних джерел	16
2.3 Вибір та розрахунок системи накопичення енергії	17
2.4 Розрахунок системи автоматичного перемикачів навантажень	22
3 Проектно-конструкторський розділ	18
3.1 Технічні рішення системи автоматизації	18
3.2 Вибір обладнання	19
3.3 Схеми підключення та монтажу	19
3.4 Алгоритми управління та захисту	20
4 Економічна частина	35
4.1 Кошторис системи	
4.2 Розрахунок терміну окупності	
4.3 Економічна ефективність впровадження	
5 Охорона праці	42
5.1 Безпека роботи з електроустановками	
5.2 Екологічні аспекти використання ВДЕ	
Висновки	46
Список використаних джерел	49

					ДП 14.104.2.031 ПЗ				
ЗМН	Арк	№ док.м.	Підпис	Дата					
Розробив	Савчук Т.				Літ.		Арк.	Аркциів	
Перевірів	Дурас М.В.						5		
Реценз.					ЖАТФК зр. Е-42				
Н. контр.	Антипчук Б.О.								
Затвердив	Лавріщев О.О.								
					Автоматизація приватного господарства з енергонезалежним живленням на базі відновлювального джерела енергії				

ВСТУП

В умовах сучасного світу питання енергонезалежності та енергоефективності набувають все більшої важливості. Особливо гостро ця проблема постала перед Україною, коли внаслідок військових дій значна частина енергетичної інфраструктури була пошкоджена або знищена. Багато громадян опинилися в ситуації, коли централізоване енергопостачання стало ненадійним або взагалі недоступним.

Приватні господарства, які раніше повністю залежали від централізованої електромережі, сьогодні змушені шукати альтернативні джерела енергії. Це стосується не лише міських квартир, але й особливо сільських садиб, дачних ділянок та приватних будинків, де відсутність електроенергії може критично вплинути на повсякденне життя.

Водночас, розвиток технологій відновлювальної енергетики відкриває нові можливості для створення автономних систем енергопостачання. Сонячні панелі стали більш доступними за ціною, акумуляторні батареї - більш надійними та довговічними, а системи автоматизації - простішими у встановленні та експлуатації.

Традиційні підходи до енергопостачання приватних господарств мають ряд недоліків. По-перше, це повна залежність від централізованої мережі, яка може бути перервана через технічні несправності, погодні умови або інші форс-мажорні обставини. По-друге, постійне зростання тарифів на електроенергію робить утримання приватного господарства все більш дорогим. По-третє, відсутність контролю над енергоспоживанням призводить до нераціонального використання електроенергії та зайвих витрат.

					ДП 14.104.2.031 ПЗ		
Змн	Арк	№ док-м.	Підпис	Дата			
Розробив	Савчук Т.				ВСТУП	Літ.	Арк.
Перевірив	Дурас М.В.						6
Реценз.							
Н. контр.	Антипчук Б.О.						
Затвердив	Лаврішєв О.О.					ЖАТФК зр. Е-41	

Особливо актуальною є проблема для сільських районів, де часто спостерігаються перебої з електропостачанням, а відстань до найближчих підстанцій може сягати декількох кілометрів. У таких умовах створення автономної системи енергопостачання стає не просто зручністю, а життєвою необхідністю.

Для досягнення поставленої мети необхідно проаналізувати існуючі рішення в галузі автоматизації приватних господарств та системи енергопостачання на основі відновлювальних джерел енергії, виявити їх переваги та недоліки, дослідити енергетичні потреби типового приватного господарства, провести аналіз добового та сезонного споживання електроенергії різними побутовими приладами та системами, розрахувати оптимальну потужність відновлювального джерела енергії (сонячні панелі, вітрогенератор або гібридна система) для забезпечення потреб конкретного господарства, обґрунтувати вибір системи накопичення енергії, розрахувати необхідну ємність акумуляторних батарей з урахуванням сезонних коливань та резервного запасу.

Також необхідно створити систему моніторингу та контролю, яка дозволить відслідковувати стан всіх компонентів системи, рівень заряду акумуляторів, поточне споживання та прогнозувати енергетичні потреби, розрахувати економічну ефективність впровадження запропонованої системи, визначити термін окупності інвестицій та розробити рекомендації щодо експлуатації та обслуговування системи для забезпечення її довговічності та надійності.

Практична значущість роботи полягає в можливості її безпосереднього впровадження для вирішення актуальних проблем енергопостачання приватних господарств.

					ДП 14.1042.031 ПЗ	Адж
						7
Змн.	Адж	№докум.	Підпис	Дата		

1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ

1.1 Огляд існуючих систем автоматизації приватних господарств

Автоматизація приватних господарств є порівняно новою галуззю, яка активно розвивається завдяки зростанню доступності мікропроцесорної техніки та засобів зв'язку. Сучасні системи автоматизації дозволяють контролювати та управляти різними аспектами функціонування приватного господарства: від освітлення та опалення до систем безпеки та енергопостачання [1].

1.1.1 Класифікація систем автоматизації

Існуючі системи автоматизації приватних господарств можна класифікувати за кількома критеріями:

За рівнем складності:

- Прості системи автоматизації - включають окремі автоматичні пристрої для управління конкретними функціями (термостати, таймери освітлення, датчики руху)
- Інтегровані системи - об'єднують декілька підсистем під централізованим управлінням
- Комплексні системи "розумного дому" - повністю автоматизовані системи з можливістю дистанційного управління та самонавчання [2]

За типом архітектури:

- Централізовані системи - всі рішення приймаються центральним контролером
- Децентралізовані системи - кожна підсистема має власний контролер
- Гібридні системи - поєднують переваги централізованого та децентралізованого управління [3]

					ДП 14.104.2.031 ПЗ	Адк
						8
Змн.	Адк	№докум.	Підпис	Дата		

За способом зв'язку:

- Дротові системи (KNX/EIB, X10, Insteon)
- Бездротові системи (Z-Wave, ZigBee, Wi-Fi, Bluetooth)
- Комбіновані системи [4]

1.1.2 Аналіз популярних рішень

Система KNX/EIB є одним з найпоширеніших стандартів автоматизації будівель у Європі. Головними перевагами цієї системи є висока надійність, масштабованість та сумісність обладнання різних виробників. Однак вартість впровадження KNX залишається досить високою, особливо для невеликих приватних господарств [5].

Бездротові системи Z-Wave та ZigBee набувають все більшої популярності завдяки простоті встановлення та відносно низькій вартості. Z-Wave працює в частотному діапазоні 868-908 МГц і забезпечує дальність зв'язку до 30 метрів у приміщенні та до 100 метрів на відкритій місцевості. ZigBee використовує частоту 2,4 ГГц і характеризується низьким енергоспоживанням [6].

Wi-Fi базовані рішення отримали широке поширення завдяки використанню існуючої інфраструктури та можливості інтеграції з мобільними додатками. Однак такі системи характеризуються вищим енергоспоживанням та потенційними проблемами з безпекою [7].

1.1.3 Особливості застосування в українських умовах

Аналіз ринку автоматизації в Україні показує, що найбільш поширеними є прості системи автоматизації через обмежений бюджет споживачів та недостатню інформованість про переваги комплексних рішень. Основними факторами, що стримують розвиток, є:

- Високі початкові інвестиції

					ДП 14.104.2.031 ПЗ	АДК
						9
Змн.	АДК	№докум.	Підпис	Дата		

- Недостатність кваліфікованих спеціалістів з монтажу та обслуговування
- Обмежена локалізація програмного забезпечення
- Нестабільність електропостачання [8]

Водночас, події останніх років підвищили інтерес до автономних систем енергопостачання, що створює передумови для розвитку інтегрованих рішень автоматизації з контролем енергоспоживання [9].

1.2 Аналіз відновлювальних джерел енергії

Відновлювальні джерела енергії (ВДЕ) стали ключовим елементом сучасних систем автономного енергопостачання. Для приватних господарств найбільш перспективними є сонячна енергетика, вітроенергетика та гібридні системи [10].

1.2.1 Сонячна енергетика

Фотоелектричні системи перетворюють сонячне випромінювання безпосередньо в електричну енергію за допомогою напівпровідникових елементів. Сучасні кремнієві фотоелементи мають ККД від 15% до 22%, а перспективні технології (перовскітні елементи, багатоперехідні структури) дозволяють досягти ККД понад 40% [11].

Типи сонячних панелей:

Монокристалічні панелі виготовляються з монокристалічного кремнію високої чистоти. Вони характеризуються найвищим ККД (20-22%) та компактними розмірами, але мають найвищу вартість. Термін служби сягає 25-30 років при деградації потужності не більш ніж 0,5% на рік [12].

Полікристалічні панелі мають дещо нижчий ККД (15-18%), але значно нижчу вартість виробництва. Вони характеризуються синюватим відтінком поверхні через особливості кристалічної структури.

					ДП 14.104.2.031 ПЗ	Адк
						10
Змн.	Адк	№докум.	Підпис	Дата		

Термін служби становить 20-25 років [13].

Тонкоплівкові панелі виготовляються з аморфного кремнію, телуриду кадмію або селеніду міді-індію-галію. Вони мають найнижчий ККД (8-12%), але найменшу вартість та гнучкість застосування. Особливо ефективні в умовах розсіяного освітлення [14].

Інверторні системи перетворюють постійний струм, що генерується сонячними панелями, в змінний струм промислової частоти. Сучасні інвертори мають ККД понад 95% та забезпечують функції контролю якості електроенергії, захисту від перенапруги та відключення при аваріях у мережі [15].

1.2.2 Вітроенергетика

Малі вітроенергетичні установки (потужністю до 100 кВт) можуть ефективно використовуватися для енергопостачання приватних господарств. Основними типами є:

Горизонтально-осьові вітрогенератори є найпоширенішими завдяки високому ККД (до 45%) та налагодженості виробництва. Однак вони потребують постійного орієнтування за напрямком вітру та характеризуються високим рівнем шуму [16].

Вертикально-осьові вітрогенератори (типу Савоніуса або Дар'є) працюють незалежно від напрямку вітру та генерують менше шуму, але мають нижчий ККД (25-35%). Вони краще підходять для міських умов з турбулентними потоками [17].

Оцінка вітрового потенціалу є критично важливою для ефективної роботи вітроенергетичної установки. За даними Держенергоефективності України, середньорічна швидкість вітру на висоті 10 м становить 3-6 м/с для більшості регіонів, що є недостатнім для ефективної роботи традиційних вітрогенераторів [18].

					ДП 14.1042.031 ПЗ	Адк
						11
Змн.	Адк	№докум.	Підпис	Дата		

1.2.3 Гібридні системи

Сонячно-вітрові системи поєднують переваги обох технологій та забезпечують більш стабільну генерацію електроенергії протягом року. Статистичні дані показують, що в Україні пік сонячної генерації припадає на літні місяці, тоді як максимальна вітрова активність спостерігається взимку та восени [19].

Коефіцієнт використання встановленої потужності для сонячних систем в Україні становить 12-15%, для вітрових - 15-25%, а для гібридних систем може досягати 25-35% завдяки взаємодоповнюючому характеру ресурсів [20].

1.2.4 Економічні аспекти ВДЕ

Аналіз динаміки цін на обладнання ВДЕ показує стійку тенденцію до зниження вартості. За період з 2010 по 2020 рік вартість сонячних модулів знизилася на 85%, вітрогенераторів - на 70%. Приведена вартість електроенергії (LCOE) для сонячних систем в Україні становить 0,04-0,06 \$/кВт·год, що є конкурентоспроможним з традиційними джерелами [21].

1.3 Системи накопичення енергії

Системи накопичення енергії є критично важливим компонентом автономних енергетичних систем, оскільки забезпечують баланс між генерацією та споживанням електроенергії у часі [22].

1.3.1 Електрохімічні накопичувачі

Свинцево-кислотні акумулятори залишаються найпоширенішим типом для стаціонарних систем завдяки низькій вартості та налагодженості технології виробництва.

Звичайні свинцево-кислотні акумулятори мають питому енергію 30-40

					ДП 14.104.2.031 ПЗ	Адк
						12
Змн.	Адк	№докум.	Підпис	Дата		

Вт·год/кг та ресурс 500-800 циклів при глибині розряду 50%. Їх основними недоліками є необхідність регулярного обслуговування та чутливість до глибоких розрядів [23].

AGM (Absorbent Glass Mat) акумулятори використовують скловолоконний сепаратор, просочений електролітом. Вони не потребують обслуговування, мають кращі експлуатаційні характеристики та ресурс до 1200 циклів, але коштують на 30-50% дорожче [24].

Гелеві акумулятори використовують електроліт у вигляді гелю, що забезпечує високу стійкість до вібрацій та глибоких розрядів. Ресурс сягає 1500 циклів, але вони найчутливіші до перезаряду [25].

Літій-іонні акумулятори стрімко набувають популярності в системах накопичення енергії завдяки високим енергетичним характеристикам.

LiFePO₄ (літій-залізо-фосфатні) акумулятори характеризуються високою безпекою, стабільністю та ресурсом понад 3000 циклів. Питома енергія становить 90-120 Вт·год/кг, а ККД заряду-розряду перевищує 95% [26].

NMC (нікель-марганець-кобальт) акумулятори мають вищу питому енергію (150-220 Вт·год/кг), але характеризуються меншим ресурсом та потребують складнішої системи управління [27].

1.3.2 Альтернативні технології накопичення

Надконденсатори забезпечують швидке заряджання та розряджання, високий ресурс (понад 1 млн циклів), але мають низьку питому енергію (5-10 Вт·год/кг) та високу вартість. Вони ефективні для компенсації короткочасних пікових навантажень [28].

Повітряно-цинкові батареї мають високу питому енергію (300-400 Вт·год/кг) та низьку вартість, але характеризуються обмеженим ресурсом та

					ДП 14.104.2.031 ПЗ	АДК
						13
Змн.	АДК	№докум.	Підпис	Дата		

чутливістю до умов навколишнього середовища. Наразі ця технологія перебуває на стадії активних досліджень [29].

Проточні батареї (ванадієві, цинк-бромні) забезпечують незалежне масштабування потужності та ємності, практично необмежений ресурс, але мають складну конструкцію та високі капітальні витрати [30].

1.3.3 Системи управління батареями (BMS)

Функції BMS включають:

- Моніторинг напруги, струму та температури кожного елемента
- Балансування заряду між елементами
- Захист від перезаряду, переразряду та короткого замикання
- Оцінка стану заряду (SOC) та стану здоров'я (SOH) батареї
- Комунікація з зовнішніми системами управління [31]

Алгоритми балансування поділяються на пасивні (розсіювання надлишкової енергії через резистори) та активні (перерозподіл енергії між елементами). Активне балансування забезпечує вищу ефективність, але характеризується більшою складністю та вартістю [32].

1.3.4 Розрахунок ємності накопичувача

Ємність системи накопичення енергії розраховується з урахуванням:

- Добового профілю споживання електроенергії
- Профілю генерації ВДЕ
- Кількості днів автономної роботи
- Допустимої глибини розряду акумуляторів
- Температурних коефіцієнтів та ККД системи [33]

Базова формула для розрахунку ємності:

$$E_{bat} = (E_{load} \times N_{days}) / (DOD \times \eta_{system}) \quad (1.1)$$

					ДП 14.104.2.031 ПЗ	АДК
						14
Змн.	АДК	№докум.	Підпис	Дата		

де E_{bat} - ємність батареї, кВт·год;

E_{load} - добове споживання, кВт·год;

N_{days} - кількість днів автономії;

DOD - глибина розряду;

η_{system} - ККД системи.

1.4 Системи моніторингу та контролю енергоспоживання

Ефективне управління енергоспоживанням неможливе без надійних систем моніторингу та контролю. Сучасні системи дозволяють відслідковувати енергетичні потоки в реальному часі, прогнозувати споживання та автоматично оптимізувати роботу обладнання [34].

1.4.1 Засоби вимірювання та обліку

Інтелектуальні лічильники (Smart Meters) забезпечують двосторонню комунікацію з системою управління та можуть передавати дані про споживання з інтервалом від кількох секунд до години. Основні стандарти комунікації включають PLC (Power Line Communication), RF (радіочастотна), GSM/GPRS [35].

Аналізатори якості електроенергії контролюють параметри мережі: напругу, струм, частоту, коефіцієнт потужності, гармонічні спотворення. Сучасні прилади забезпечують точність вимірювання до 0,1% та можуть зберігати дані протягом кількох років [36].

Розумні розетки та вимикачі дозволяють контролювати споживання окремих приладів та управляти ними дистанційно. Вони часто інтегруються з мережами Z-Wave, ZigBee або Wi-Fi [37].

					ДП 14.104.2.031 ПЗ	АДК
						15
Змн.	АДК	№докум.	Підпис	Дата		

1.4.2 Системи збору та обробки даних

SCADA системи (Supervisory Control and Data Acquisition) забезпечують централізований збір, обробку та візуалізацію даних від розподілених датчиків та контролерів. Популярними рішеннями є Wonderware, iFIX, WinCC [38].

IoT платформи дозволяють інтегрувати різноманітні пристрої та забезпечують хмарне зберігання даних. Основні постачальники: Amazon AWS IoT, Microsoft Azure IoT, Google Cloud IoT [39].

Протоколи комунікації:

- Modbus RTU/TCP - промисловий стандарт для зв'язку з лічильниками та контролерами
- MQTT - легкий протокол для IoT застосувань
- OPC UA - сучасний стандарт промислової комунікації з високим рівнем безпеки [40]

1.4.3 Алгоритми прогнозування та оптимізації

Методи прогнозування споживання:

Статистичні методи базуються на аналізі історичних даних та виявленні трендів і сезонних коливань. Популярними є ARIMA моделі, експоненціальне згладжування, регресійний аналіз [41].

Методи машинного навчання використовують нейронні мережі, метод опорних векторів, випадковий ліс для прогнозування з урахуванням множини факторів: погодних умов, дня тижня, соціальних подій тощо [42].

Алгоритми оптимізації управління навантаженням:

Demand Response - автоматичне зміщення споживання з пікових на непікові години шляхом управління некритичними навантаженнями

					ДП 14.104.2.031 ПЗ	АДК
						16
Змн.	АДК	№докум.	Підпис	Дата		

(опалення, кондиціювання, зарядження електромобілів) [43].

Peak Shaving - зменшення пікового споживання за рахунок використання накопичених енергоресурсів або тимчасового відключення несуттєвих навантажень [44].

1.4.4 Інтерфейси користувача

Веб-інтерфейси забезпечують доступ до системи через браузер з будь-якого пристрою, підключеного до інтернету. Вони зазвичай реалізуються з використанням HTML5, CSS3, JavaScript фреймворків (React, Angular, Vue.js) [45].

Мобільні додатки дозволяють контролювати систему в режимі реального часу та отримувати push-повідомлення про аварійні ситуації. Розробляються як нативні додатки для iOS/Android або як кросплатформні рішення [46].

Голосові інтерфейси інтегруються з асистентами Amazon Alexa, Google Assistant, що дозволяє керувати системою голосовими командами [47].

1.4.5 Кібербезпека систем моніторингу

Підключення систем енергоменеджменту до інтернету створює потенційні вразливості для кіберзагроз. Основні заходи захисту включають:

- Шифрування даних при передачі та зберіганні
- Автентифікація та авторизація користувачів
- Регулярне оновлення програмного забезпечення
- Сегментація мережі та використання VPN
- Моніторинг мережевого трафіку та виявлення аномалій [48]

					ДП 14.104.2.031 ПЗ	Арк
						17
Змн.	Арк	№докум.	Підпис	Дата		

2 РОЗРАХУНКОВО-ТЕХНІЧНИЙ РОЗДІЛ

2.1 Енергетичний аудит приватного господарства

Енергетичний аудит є основою для проектування системи автономного енергопостачання. Для розрахунків приймаємо типове приватне господарство площею 120 м² з стандартним набором електроспоживачів.

2.1.1 Інвентаризація електроспоживачів

Таблиця 2.1 - Електроспоживачі приватного господарства

Найменування	Кількість, шт	Потужність одиниці, Вт	Загальна потужність, Вт	Коефіцієнт використання
Освітлення LED	15	12	180	0,3
Телевізор	2	120	240	0,4
Холодильник	1	200	200	0,6
Пральна машина	1	2200	2200	0,1
Електрочайник	1	2000	2000	0,05
Мікрохвильова піч	1	900	900	0,1
Комп'ютер з монітором	2	350	700	0,5
Насос водопостачання	1	750	750	0,2
Котел опалення	1	3000	3000	0,4
Кондиціонер	1	1200	1200	0,3
Дрібна побутова техніка	-	-	500	0,3

Загальна встановлена потужність: $P_{\text{встановл}} = 180 + 240 + 200 + 2200 + 2000 + 900 + 700 + 750 + 3000 + 1200 + 500 = 11\,870 \text{ Вт}$

2.1.2 Розрахунок добового енергоспоживання

Активна потужність з урахуванням коефіцієнтів використання:

					ДП 14.104.2.031 ПЗ	Адк
						18
Змн.	Адк	№докум.	Підпис	Дата		

$P_{\text{осв}} = 180 \times 0,3 = 54 \text{ Вт}$ $P_{\text{тв}} = 240 \times 0,4 = 96 \text{ Вт}$
 $P_{\text{холод}} = 200 \times 0,6 = 120 \text{ Вт}$ $P_{\text{прал}} = 2200 \times 0,1 = 220 \text{ Вт}$ $P_{\text{чайн}} = 2000 \times 0,05 = 100 \text{ Вт}$
 $P_{\text{мікр}} = 900 \times 0,1 = 90 \text{ Вт}$ $P_{\text{комп}} = 700 \times 0,5 = 350 \text{ Вт}$ $P_{\text{насос}} = 750 \times 0,2 = 150 \text{ Вт}$
 $P_{\text{котел}} = 3000 \times 0,4 = 1200 \text{ Вт}$ $P_{\text{конд}} = 1200 \times 0,3 = 360 \text{ Вт}$
 $P_{\text{дрібне}} = 500 \times 0,3 = 150 \text{ Вт}$

Середня активна потужність: $P_{\text{сер}} = 54 + 96 + 120 + 220 + 100 + 90 + 350 + 150 + 1200 + 360 + 150 = 2890 \text{ Вт}$

Добове енергоспоживання: $W_{\text{доба}} = P_{\text{сер}} \times 24 = 2890 \times 24 = 69\,360 \text{ Вт} \cdot \text{год}$
 $= 69,36 \text{ кВт} \cdot \text{год}$

2.1.3 Сезонні коливання споживання

Літній період (червень-серпень):

- Опалення відключене: $P_{\text{літо}} = P_{\text{сер}} - P_{\text{котел}} = 2890 - 1200 = 1690 \text{ Вт}$
- Збільшене використання кондиціонера: $P_{\text{конд_літо}} = 1200 \times 0,6 = 720 \text{ Вт}$
- $P_{\text{сер_літо}} = 1690 + (720 - 360) = 2050 \text{ Вт}$
- $W_{\text{літо}} = 2050 \times 24 = 49,2 \text{ кВт} \cdot \text{год/добу}$

Зимовий період (грудень-лютий):

- Максимальне опалення: $P_{\text{котел_зима}} = 3000 \times 0,7 = 2100 \text{ Вт}$
- Кондиціонер відключений: $P_{\text{конд_зима}} = 0 \text{ Вт}$
- Збільшене освітлення: $P_{\text{осв_зима}} = 180 \times 0,5 = 90 \text{ Вт}$
- $P_{\text{сер_зима}} = (P_{\text{сер}} - P_{\text{котел}} - P_{\text{конд}} - P_{\text{осв}}) + P_{\text{котел_зима}} + P_{\text{конд_зима}} + P_{\text{осв_зима}}$
- $P_{\text{сер_зима}} = (2890 - 1200 - 360 - 54) + 2100 + 0 + 90 = 3466 \text{ Вт}$
- $W_{\text{зима}} = 3466 \times 24 = 83,2 \text{ кВт} \cdot \text{год/добу}$

					ДП 14.104.2.031 ПЗ	АДК
Змн.	АДК	№докум.	Підпис	Дата		19

2.1.4 Профіль навантаження

Розподіл споживання протягом доби:

Таблиця 2.2 - Профіль навантаження

Година доби	Коефіцієнт навантаження	Потужність, Вт	Споживання, Вт·год
00:00-06:00	0,3	867	5202
06:00-08:00	0,8	2312	4624
08:00-12:00	0,5	1445	5780
12:00-14:00	0,7	2023	4046
14:00-18:00	0,6	1734	6936
18:00-22:00	1,0	2890	11560
22:00-24:00	0,6	1734	3468

Перевірка: Σ Споживання = 5202 + 4624 + 5780 + 4046 + 6936 + 11560 + 3468 = 41616 Вт·год

Коефіцієнт нерівномірності навантаження: $k_{\text{нерівн}} = P_{\text{max}} / P_{\text{сер}} = 2890 / (41616/24) = 2890 / 1734 = 1,67$

2.2 Розрахунок потужності відновлювальних джерел

2.2.1 Розрахунок сонячної електростанції

Вихідні дані для розрахунку:

- Географічні координати: 50°15' пн.ш., 28°41' сх.д. (м. Житомир)
- Річна сума сонячної радіації: $H_{\text{год}} = 1200$ кВт·год/м²
- Кут нахилу панелей: $\beta = 35^\circ$ (оптимальний для даної широти)
- Азимут: $\gamma = 0^\circ$ (орієнтація на південь)

Помісячна сонячна радіація на нахилену поверхню:

					ДП 14.104.2.031 ПЗ	АДК
						20
Змн.	АДК	№докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.3 - Сонячна радіація по місяцях

Місяць	Н_міс, кВт·год/м²	Кількість днів	Н_день, кВт·год/м²·день
Січень	45	31	1,45
Лютий	68	28	2,43
Березень	110	31	3,55
Квітень	135	30	4,50
Травень	165	31	5,32
Червень	170	30	5,67
Липень	175	31	5,65
Серпень	155	31	5,00
Вересень	120	30	4,00
Жовтень	85	31	2,74
Листопад	50	30	1,67
Грудень	32	31	1,03

Розрахунок необхідної потужності сонячних панелей:

Для найгіршого місяця (грудень): $N_{\text{день}_{\min}} = 1,03 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{м}^2 \cdot \text{день}$

$W_{\text{потреба}_{\text{зима}}} = 83,2 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{день}$

Потужність панелей з урахуванням втрат:

$$\eta_{\text{система}} = \eta_{\text{панелі}} \times \eta_{\text{інвертор}} \times \eta_{\text{проводи}} \times \eta_{\text{забруднення}} \times \eta_{\text{температ}} \quad (2.1)$$

де:

$$\eta_{\text{панелі}} = 0,20 \text{ (ККД монокристалічних панелей)}$$

$$\eta_{\text{інвертор}} = 0,95 \text{ (ККД інвертора)}$$

$$\eta_{\text{проводи}} = 0,98 \text{ (втрати в проводах)}$$

$$\eta_{\text{забруднення}} = 0,95 \text{ (втрати від забруднення)}$$

$$\eta_{\text{температ}} = 0,90 \text{ (температурні втрати взимку)}$$

					ДП 14.1042.031 ПЗ	Адк
						21
Змн.	Адк	№докум.	Підпис	Дата		

$$\eta_{\text{система}} = 0,20 \times 0,95 \times 0,98 \times 0,95 \times 0,90 = 0,159$$

Необхідна площа сонячних панелей: $S_{\text{панелі}} = W_{\text{потреба_зима}} / (H_{\text{день_min}} \times \eta_{\text{система}})$
 $S_{\text{панелі}} = 83,2 / (1,03 \times 0,159) = 83,2 / 0,164 = 507,3$
 м^2

Потужність сонячної станції: $P_{\text{станція}} = S_{\text{панелі}} \times P_{\text{питома}} = 507,3 \times 200 =$
 $101\,460 \text{ Вт} \approx 101,5 \text{ кВт}$

2.2.2 Перевірочний розрахунок для літнього періоду

Для літнього періоду (червень): $H_{\text{день_літо}} = 5,67 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{м}^2 \cdot \text{день}$
 $W_{\text{потреба_літо}} = 49,2 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{день}$

$\eta_{\text{система_літо}} = 0,20 \times 0,95 \times 0,98 \times 0,95 \times 0,85 = 0,150$ (температурні втрати збільшуються влітку)

Генерація влітку при встановленій потужності: $W_{\text{генерація_літо}} = P_{\text{станція}} \times H_{\text{день_літо}} \times \eta_{\text{система_літо}} / 200$
 $W_{\text{генерація_літо}} = 101500 \times 5,67 \times 0,150 / 200 = 432,8 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{день}$

Надлишок енергії влітку: $W_{\text{надлишок}} = W_{\text{генерація_літо}} - W_{\text{потреба_літо}}$
 $= 432,8 - 49,2 = 383,6 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{день}$

2.2.3 Розрахунок вітрової установки (резервне джерело)

Для підвищення надійності додатково встановлюємо вітрогенератор малої потужності.

Вихідні дані:

- Середньорічна швидкість вітру: $v_{\text{сер}} = 4,5 \text{ м/с}$
- Висота установки: $h = 12 \text{ м}$
- Тип: горизонтально-осьовий вітрогенератор

Потужність вітру: $P_{\text{вітру}} = 0,5 \times \rho \times S \times v^3$ (2.2)

					ДП 14.104.2.031 ПЗ	АДК
						22
Змн.	АДК	№докум.	Підпис	Дата		

Де $\rho = 1,225 \text{ кг/м}^3$ (щільність повітря при 15°C)

S - площа ометання ротора, м^2

v - швидкість вітру, м/с

Для вітрогенератора діаметром $D = 5 \text{ м}$: $S = \pi \times D^2/4 = 3,14 \times 5^2/4 = 19,6 \text{ м}^2$

$P_{\text{вітру}} = 0,5 \times 1,225 \times 19,6 \times 4,5^3 = 0,5 \times 1,225 \times 19,6 \times 91,125 = 1095 \text{ Вт}$

Потужність генератора з урахуванням ККД: $\eta_{\text{вітрогенератор}} = 0,35$
(коефіцієнт використання енергії вітру) $P_{\text{генератор}} = P_{\text{вітру}} \times \eta_{\text{вітрогенератор}} = 1095 \times 0,35 = 383 \text{ Вт}$

Добова генерація вітроустановки: $W_{\text{вітер}} = P_{\text{генератор}} \times 24 \times k_{\text{використання}} = 383 \times 24 \times 0,7 = 6,44 \text{ кВт}\cdot\text{год/день}$

2.3 Вибір та розрахунок системи накопичення енергії

2.3.1 Розрахунок необхідної ємності акумуляторної батареї

Вихідні дані для розрахунку:

- Максимальне добове споживання: $W_{\text{max}} = 83,2 \text{ кВт}\cdot\text{год}$
- Кількість днів автономної роботи: $N_{\text{авт}} = 3 \text{ дні}$
- Напруга системи: $U_{\text{сист}} = 48 \text{ В}$
- Допустима глибина розряду: $\text{DOD} = 0,8$ (для LiFePO_4)
- ККД системи накопичення: $\eta_{\text{нак}} = 0,93$

Необхідна корисна ємність: $E_{\text{корисна}} = W_{\text{max}} \times N_{\text{авт}} / \eta_{\text{нак}} = 83,2 \times 3 / 0,93 = 268,6 \text{ кВт}\cdot\text{год}$

Повна ємність з урахуванням глибини розряду: $E_{\text{повна}} = E_{\text{корисна}} / \text{DOD} = 268,6 / 0,8 = 335,8 \text{ кВт}\cdot\text{год}$

					ДП 14.104.2.031 ПЗ	Арк
						23
Змн.	Арк	№докум.	Підпис	Дата		

Ємність в ампер-годинах: $C_{Ah} = E_{повна} \times 1000 / U_{сист} = 335,8 \times 1000 / 48$
 $= 6996 \text{ А} \cdot \text{год} \approx 7000 \text{ А} \cdot \text{год}$

2.3.2 Конфігурація акумуляторної батареї

Вибираємо акумулятори LiFePO₄ з параметрами:

- Номінальна напруга елемента: $U_{ел} = 3,2 \text{ В}$
- Ємність елемента: $C_{ел} = 280 \text{ А} \cdot \text{год}$
- Максимальний струм розряду: $I_{max} = 1C = 280 \text{ А}$

Кількість елементів послідовно (для напруги 48 В): $n_{посл} = U_{сист} / U_{ел} = 48 / 3,2 = 15$ елементів

Фактична напруга батареї: $U_{факт} = n_{посл} \times U_{ел} = 15 \times 3,2 = 48 \text{ В}$

Кількість паралельних гілок: $n_{пар} = C_{Ah} / C_{ел} = 7000 / 280 = 25$ гілок

Загальна кількість акумуляторних елементів: $N_{загал} = n_{посл} \times n_{пар} = 15 \times 25 = 375$ елементів

Фактична ємність батареї: $C_{факт} = n_{пар} \times C_{ел} = 25 \times 280 = 7000 \text{ А} \cdot \text{год}$

$E_{факт} = C_{факт} \times U_{факт} / 1000 = 7000 \times 48 / 1000 = 336 \text{ кВт} \cdot \text{год}$

2.3.3 Розрахунок струмових характеристик

Максимальний струм навантаження: $I_{навант_max} = P_{max} / U_{сист} = 2890 / 48 = 60,2 \text{ А}$

Струм заряду від сонячної станції: $I_{заряду} = P_{станція} / U_{сист} = 101500 / 48 = 2114 \text{ А}$

Максимальний струм розряду батареї: $I_{розр_max} = n_{пар} \times I_{max_ел} = 25 \times 280 = 7000 \text{ А}$

					ДП 14.104.2.031 ПЗ	Арк
						24
Змн.	Арк	№докум.	Підпис	Дата		

Коефіцієнт використання струмової потужності: $k_{\text{струм}} = I_{\text{навант_max}} / I_{\text{розр_max}} = 60,2 / 7000 = 0,0086$ (менше 1% - дуже низьке навантаження)

2.3.4 Система управління батареями (BMS)

Основні функції BMS:

- Контроль напруги кожної комірки: $U_{\text{ел}} = 2,5 \dots 3,65 \text{ В}$
- Контроль температури: $T = -20 \dots +60^\circ\text{C}$
- Балансування струмом: $I_{\text{балансування}} = 2 \text{ А}$
- Захист від перенавантаження: $I_{\text{відкл}} = 7500 \text{ А}$

Кількість модулів BMS:

- Один модуль контролює 16 елементів
- Необхідно модулів: $N_{\text{BMS}} = 375 / 16 = 24$ модулів

2.4 Розрахунок системи автоматичного перемикавання навантажень

2.4.1 Класифікація навантажень за пріоритетом

Таблиця 2.4 - Пріоритети навантажень

Пріоритет	Навантаження	Потужність, Вт	% від загальної
1 (критичні)	Освітлення аварійне	60	2,1
1	Холодильник	200	6,9
1	Насос водопостачання	750	26,0
2 (важливі)	Котел опалення	3000	103,8
2	Освітлення основне	120	4,2
2	Комп'ютерна техніка	700	24,2
3 (комфортні)	Телевізор	240	8,3
3	Кондиціонер	1200	41,5
3	Дрібна техніка	500	17,3
4 (некритичні)	Пральна машина	2200	76,1
4	Електрочайник	2000	69,2
4	Мікрохвильова піч	900	31,1

					ДП 14.104.2.031 ПД	Адк
						25
Змн.	Адк	№докум.	Підпис	Дата		

2.4.2 Алгоритм керування навантаженням

Рівні заряду батареї та відповідні дії:

Рівень 1 ($SOC > 80\%$):

- Всі навантаження увімкнені
- $P_{\text{дозволена}} = P_{\text{встановл}} = 11\,870 \text{ Вт}$

Рівень 2 ($60\% < SOC \leq 80\%$):

- Відключаються некритичні навантаження (пріоритет 4)
- $P_{\text{дозволена}} = P_{\text{встановл}} - P_{\text{4пріоритет}} = 11\,870 - (2\,200 + 2\,000 + 900) = 6\,770 \text{ Вт}$

Рівень 3 ($40\% < SOC \leq 60\%$):

- Додатково відключаються комфортні навантаження (пріоритет 3)
- $P_{\text{дозволена}} = 6\,770 - (240 + 1\,200 + 500) = 4\,830 \text{ Вт}$

Рівень 4 ($20\% < SOC \leq 40\%$):

- Частково відключаються важливі навантаження (пріоритет 2)
- Котел працює в режимі 50% потужності
- $P_{\text{дозволена}} = 4\,830 - (1\,500 + 350) = 2\,980 \text{ Вт}$

Рівень 5 ($SOC \leq 20\%$):

- Тільки критичні навантаження (пріоритет 1)
- $P_{\text{дозволена}} = 60 + 200 + 750 = 1\,010 \text{ Вт}$

2.4.3 Розрахунок часу автономної роботи на кожному рівні

Доступна енергія на кожному рівні:

$$E_{\text{рівень1}} = E_{\text{факт}} \times (1,00 - 0,80) = 336 \times 0,20 = 67,2 \text{ кВт}\cdot\text{год}$$

					ДП 14.104.2.031 ПЗ	Арк
						26
Змн.	Арк	№докум.	Підпис	Дата		

$$E_{\text{рівень2}} = E_{\text{факт}} \times (0,80 - 0,60) = 336 \times 0,20 = 67,2 \text{ кВт}\cdot\text{год}$$

$$E_{\text{рівень3}} = E_{\text{факт}} \times (0,60 - 0,40) = 336 \times 0,20 = 67,2 \text{ кВт}\cdot\text{год}$$

$$E_{\text{рівень4}} = E_{\text{факт}} \times (0,40 - 0,20) = 336 \times 0,20 = 67,2 \text{ кВт}\cdot\text{год}$$

$$E_{\text{рівень5}} = E_{\text{факт}} \times 0,20 = 336 \times 0,20 = 67,2 \text{ кВт}\cdot\text{год}$$

Час роботи на кожному рівні:

$$t_{\text{рівень1}} = E_{\text{рівень1}} / P_{\text{рівень1}} = 67,2 / 11,87 = 5,66 \text{ год}$$

$$t_{\text{рівень2}} = E_{\text{рівень2}} / P_{\text{рівень2}} = 67,2 / 6,77 = 9,93 \text{ год}$$

$$t_{\text{рівень3}} = E_{\text{рівень3}} / P_{\text{рівень3}} = 67,2 / 4,83 = 13,91 \text{ год}$$

$$t_{\text{рівень4}} = E_{\text{рівень4}} / P_{\text{рівень4}} = 67,2 / 2,98 = 22,55 \text{ год}$$

$$t_{\text{рівень5}} = E_{\text{рівень5}} / P_{\text{рівень5}} = 67,2 / 1,01 = 66,53 \text{ год}$$

Загальний час автономної роботи: $t_{\text{автономії}} = t_{\text{рівень1}} + t_{\text{рівень2}} + t_{\text{рівень3}} + t_{\text{рівень4}} + t_{\text{рівень5}} = 5,66 + 9,93 + 13,91 + 22,55 + 66,53 = 118,58$ год ≈ 5 діб

2.4.4 Розрахунок системи контакторів та реле

Контактори для керування навантаженнями:

Таблиця 2.5 - Специфікація контакторів

Навантаження	Номинальний струм, А	Тип контактора	Кількість
Котел опалення	$I_1 = 3000/220 = 13,6$	КМ-25 (25А)	1
Пральна машина	$I_2 = 2200/220 = 10,0$	КМ-16 (16А)	1
Електрочайник	$I_3 = 2000/220 = 9,1$	КМ-16 (16А)	1
Кондиціонер	$I_4 = 1200/220 = 5,5$	КМ-10 (10А)	1
Мікрохвильова піч	$I_5 = 900/220 = 4,1$	КМ-10 (10А)	1
Насос водопостачання	$I_6 = 750/220 = 3,4$	КМ-10 (10А)	1

Система керування на базі ПЛК:

- Модель: Schneider Electric Modicon M221
- Входи: 16 дискретних (контроль стану навантажень)
- Виходи: 16 релейних (керування контакторами)
- Аналогові входи: 4 (контроль напруги батареї, струмів)
- Комунікація: Ethernet, RS485

Алгоритм роботи системи керування:

ЯКЩО SOC > 80% ТО

Увімкнути всі контактори

ІНАКШЕ ЯКЩО SOC > 60% ТО

Вимкнути K4, K5, K6 (некритичні)

ІНАКШЕ ЯКЩО SOC > 40% ТО

Додатково вимкнути K3, K7 (комфортні)

ІНАКШЕ ЯКЩО SOC > 20% ТО

K1 в режимі ШІМ 50%

ІНАКШЕ

Тільки критичні навантаження

КІНЕЦЬ ЯКЩО

					ДП 14.1042.031 ПЗ	АДК
Змн.	АДК	№докум.	Підпис	Дата		28

3 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

3.1 Технічні рішення системи автоматизації

Проектowana система автоматизації приватного господарства базується на поєднанні декількох ключових елементів, що забезпечують енергонезалежність, надійність і ефективне управління споживанням електроенергії. Основною ідеєю є інтеграція сонячної електростанції, резервного джерела енергії у вигляді вітрогенератора, накопичувачів енергії (акумуляторів) та програмованого логічного контролера (ПЛК), який здійснює централізоване керування усіма компонентами системи.

Контролер Schneider Electric Modicon M221 виконує функції логічного аналізу, прийняття рішень на основі заданих алгоритмів та комунікацію з пристроями вищого рівня або користувачем. Система дозволяє реалізувати гнучке багаторівневе управління навантаженнями на основі аналізу рівня заряду батареї (SOC), режимів роботи генераторів, погодних умов та потреб користувача.

Крім цього, реалізовано можливість віддаленого моніторингу та керування системою через інтерфейс Ethernet з доступом через веб-браузер або мобільний додаток. Система автоматично фіксує стан енергетичного балансу, наявність аварійних ситуацій, проводить журналювання подій та дозволяє користувачеві отримувати звіти у зручному форматі.

3.2 Вибір обладнання

Процес вибору обладнання здійснювався на основі аналізу техніко-економічних характеристик різних рішень, наявності сертифікації, відповідності стандартам, сумісності між компонентами, доступності сервісного обслуговування та досвіду використання аналогічних систем.

					ДП 14.104.2.031 ПЗ	Адк
						29
Змн.	Адк	№докум.	Підпис	Дата		

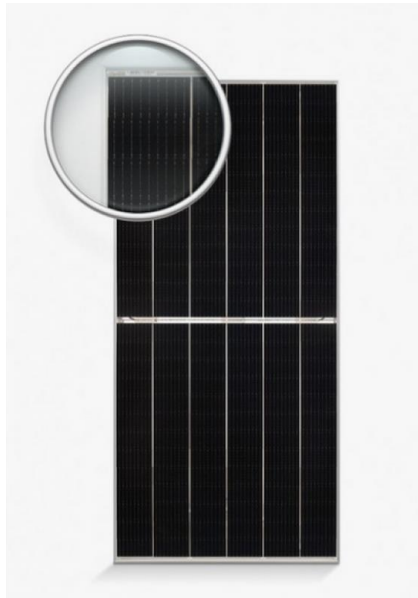


Рис.3.1 – Фотоелектрична панель Jinko Solar JKM545M-72HL4-V

Загальна кількість фотоелектричних панелей Jinko Solar JKM545M-72HL4-V становить 186 штук, кожна з яких має потужність 545 Вт. Вони з'єднані в стрінги по 15 елементів, що дозволяє досягти оптимальної напруги і струму на вході інвертора. Інвертор Huawei SUN2000-100KTL-M1 забезпечує перетворення постійного струму в змінний з мінімальними втратами та високою стабільністю параметрів електричної енергії.



Рис.3.2 – Інвертор Huawei SUN2000-100KTL-M1

Змн.	Арк	№докум.	Підпис	Дата

ДП 14.104.2.031 ПЗ

Арк
30

Акумуляторна батарея складена з 375 елементів LiFePO₄ ємністю 280 А·год, що забезпечує сумарну ємність 336 кВт·год. Вона розділена на паралельно-послідовні гілки 15х25, що відповідає напрузі 48 В. Управління зарядом та розрядом здійснюється через 24 BMS-модулі Daly Smart BMS 16s, які контролюють температуру, напругу, балансування елементів та інші параметри безпеки.



Рис.3.3 - Елемент LiFePO₄



Рис.3.4 - BMS-модулі Daly Smart BMS 16s

Вітрогенератор Windmax HY400 обрано як резервне джерело з номінальною потужністю 400 Вт, достатньою для забезпечення мінімального навантаження в умовах відсутності сонячного випромінювання. Контролер

					ДП 14.104.2.031 ПЗ	АДК
						31
Змн.	АДК	№докум.	Підпис	Дата		

заряду Victron SmartSolar MPPT 150/70 забезпечує оптимальне заряджання батарей з сонячних панелей за алгоритмом MPPT.



Рис.3.5 - Вітрогенератор Windmax HY400



Рис.3.6 - Контролер заряду Victron SmartSolar MPPT 150/70

Контактори серії КМ (тип КМ-10, КМ-16, КМ-25) використовуються для комутації навантажень відповідно до їх потужності. ПЛК Schneider Electric Modicon M221 забезпечує централізоване керування всією системою, приймає сигнали з датчиків та формує керуючі дії на основі попередньо

					ДП 14.104.2.031 ПЗ	Адк
						32
Змн.	Арк	№докум.	Підпис	Дата		

запрограмованих сценаріїв.



Рис.3.7 - Контактор серії КМ (тип КМ-10)



Рис.3.8 - ПЛК Schneider Electric Modicon M221

3.3 Схеми підключення та монтажу

Підключення елементів системи виконується згідно з типовими електромонтажними схемами, розробленими відповідно до стандартів ПУЕ та ДСТУ. Всі з'єднання виконуються за допомогою кабелів відповідного перерізу, з урахуванням допустимих навантажень, температурних режимів та довжини ліній. Кабелі маркуються відповідно до призначення, і

					ДП 14.104.2.031 ПЗ	Адк
						33
Змн.	Адк	№докум.	Підпис	Дата		

прокладаються у захисних трубах або коробах з негорючого матеріалу.

Фотоелектричні панелі монтуються на алюмінієвій конструкції з кутом нахилу 35° , що забезпечує максимальну ефективність генерації в регіоні. Панелі об'єднуються в стрінги по 15 штук, які підключаються до інвертора через захисні автоматичні вимикачі та DC-перемикачі.

Інвертор розміщується в окремому вологозахищеному щиті з вентиляцією. Від інвертора змінний струм подається на щит розподілу навантаження, де встановлено пристрої автоматичного керування та захисту, а також контролюється поточний стан споживання.

Акумуляторна батарея встановлюється в окремому приміщенні з клімат-контролем. Для кожного модулю передбачено систему охолодження, термодатчики, ізоляцію та вентиляцію. Усі з'єднання виконуються болтовими з'єднаннями з контролем крутного моменту та дублюються термозбіжною ізоляцією.

3.4 Алгоритми управління та захисту

Програмне забезпечення ПЛК реалізує алгоритм багаторівневого керування навантаженнями в залежності від рівня заряду батареї (SOC). Для кожного рівня SOC задається набір дозволених навантажень. Наприклад, при $SOC > 80\%$ система дозволяє роботу всіх приладів, при $SOC 60-80\%$ вимикаються некритичні пристрої, при $SOC 40-60\%$ – також комфортні навантаження, і так далі до рівня $< 20\%$, де залишається живлення тільки аварійного освітлення, насоса та холодильника.

Кожен контактор керується окремим виходом ПЛК, а система враховує затримку часу на перемикання та уникає частих циклів включення/виключення. Для цього застосовуються фільтри сигналів і гістерезис для зміни стану логіки.

					ДП 14.104.2.031 ПЗ	Адк
						34
Змн.	Адк	№докум.	Підпис	Дата		

Захисні функції системи охоплюють:

- контроль перенапруги та зниження напруги (інвертор + ПЛК);
- контроль температури батарей, інвертора, контролера заряду;
- автоматичне аварійне відключення при перевищенні встановлених меж;
- блокування роботи при короткому замиканні;
- сигналізація та надсилання повідомлень користувачеві через інтерфейс (email/SMS);
- зберігання логів та журналювання подій у пам'яті з можливістю експорту.

Таким чином, система забезпечує не лише автономність енергозабезпечення, але й надає користувачеві зручний інструмент для керування, аналізу та прогнозування роботи енергетичної інфраструктури приватного господарства.

					ДП 14.1042.031 ПЗ	Арк
						35
Змн.	Арк	№ док.м.	Підпис	Дата		

4 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

4.1 Кошторис системи

Для оцінки вартості реалізації проекту автоматизованої енергонезалежної системи в приватному господарстві розроблено детальний кошторис, що охоплює основне обладнання, допоміжні компоненти, роботи з монтажу, доставки, пусконаладження та витрати на налаштування ПЛК та BMS. Ціни вказані відповідно до середньоринкових пропозицій у першому півріччі 2025 року, з урахуванням оптових закупівель та тендерних умов.

Таблиця 4.1 – Деталізований кошторис системи автоматизації з ВДЕ

№	Найменування	Кількість	Ціна за одиницю, грн	Сума, грн
1	Фотоелектрична панель Jinko Solar JKM545M-72HL4-V	186 шт	3 800	706 800
2	Інвертор Huawei SUN2000-100KTL-M1	1 шт	115 000	115 000
3	Акумулятор LiFePO4 3.2В 280А·год	375 шт	3 200	1 200 000
4	Система управління батареями Daly Smart BMS 16s	24 шт	2 500	60 000
5	Контролер заряду Victron SmartSolar MPPT 150/70	3 шт	14 000	42 000
6	Вітрогенератор Windmax HY400	1 шт	28 000	28 000
7	Програмований логічний контролер Schneider Modicon M221	1 шт	10 000	10 000
8	Релейна автоматика, контактори серії КМ (10А – 25А)	6 шт	1 500	9 000
9	Щити електромонтажні, автоматика ABB, клеми WAGO	комплект	—	35 000
10	Кабельно-провідникова продукція (понад 400 м), труби, гофра, маркування	комплект	—	60 000
11	Монтаж та налаштування ПЛК, BMS, SCADA (інжиніринг)	послуги	—	55 000
12	Вартість монтажних і пусконаладжувальних робіт (орієнтовно 20% від обладнання)	—	—	415 760
Разом			2 736 560 грн	

Додатково враховується витрати на логістику ($\approx 20\,000$ грн), витратні матеріали (з'єднувачі, кріплення, ізоляція – $\approx 15\,000$ грн), що формує остаточну суму проекту на рівні близько 2,77 млн грн.

4.2 Розрахунок терміну окупності

Термін окупності – це період, за який інвестиції у систему автоматизованого енергозабезпечення повністю компенсуються за рахунок зменшення витрат на оплату електроенергії. У розрахунках враховується середній тариф для населення, сезонна генерація сонячної енергії, базове добове енергоспоживання та стабільна експлуатація системи.

Початкові припущення:

- Середній тариф на електроенергію: 5 грн/кВт·год (реальна вартість з урахуванням витрат на абонплату та розподіл);
- Середньодобове споживання: 69,36 кВт·год (на основі розділу 2);
- Річне споживання: $69,36 \times 365 \approx 25\,305$ кВт·год;
- Річна економія: $25\,305 \times 5 = 126\,525$ грн/рік;
- Інвестиційна вартість: 2 770 000 грн.

Формула для розрахунку: $T_{\text{окуп}} = C_{\text{інвест}} / S_{\text{економія}} = 2\,770\,000 / 126\,525 \approx 21,89$ року

Однак система виробляє надлишкову енергію в літній період (до 300–400% від потреб), яка може бути використана:

- для підключення додаткових навантажень (полив, теплиця, заряджання електромобіля);
- для продажу в мережу за «зеленим тарифом» або внутрішньому нетбілінгу (≈ 4 грн/кВт·год);
- для зниження витрат на енергоємні процеси (насоси, вентиляція, обігрів).

					ДП 14.104.2.031 ПЗ	Арк
						37
Змн.	Арк	№ док.м.	Підпис	Дата		

За умови часткового повернення інвестицій через продаж надлишкової енергії на 30 000 грн/рік, реальний термін окупності може зменшитись до:
 $T_{\text{скор}} = 2\,770\,000 / (126\,525 + 30\,000) \approx 17,8$ років.

При подальшому зростанні тарифів до 7–8 грн/кВт·год термін скорочується до 12–14 років.

4.3 Економічна ефективність впровадження

Впровадження автономної системи з ВДЕ має низку стратегічних економічних переваг, які слід враховувати не лише у вигляді безпосередніх фінансових показників, а й в загальному підході до сталого розвитку господарства.

Основні переваги впровадження:

1. Економія електроенергії – близько 126 тис. грн/рік, або понад 2,5 млн грн за 20 років, не враховуючи зростання тарифів;
2. Незалежність від перебоїв у мережі – забезпечує функціонування ключових побутових та інфраструктурних систем (насоси, холодильне обладнання, опалення) навіть у кризових умовах;
3. Підвищення комфорту проживання – автоматичне перемикавання навантажень, пріоритетність споживання, моніторинг через телефон;
4. Екологічна доцільність – зменшення викидів CO₂, відсутність шкідливих викидів від дизель-генераторів, відповідність принципам "зеленої" економіки;
5. Інвестиційна привабливість – вартість будинку з автономною енергосистемою вища на 10–20% на ринку нерухомості;
6. Гарантований термін служби основних компонентів:
 - Панелі – 25–30 років;
 - Акумулятори – 10–12 років (при щоденному циклі);
 - Інвертор та автоматика – 10+ років з технічним обслуговуванням.

					ДП 14.104.2.031 ПЗ	Адк
						38
Змн.	Адк	№докум.	Підпис	Дата		

Крім цього, система може бути розширена без істотних капітальних витрат – шляхом додавання панелей, акумуляторів або навантажень, що робить її масштабованою та перспективною інвестицією в майбутнє.

					ДП 14.1042.031 ПЗ	Адк
						39
Змн.	Адк	№докум.	Підпис	Дата		

5 ОХОРОНА ПРАЦІ

5.1 Безпека роботи з електроустановками

Проектована система автоматизованого енергозабезпечення включає високовольтні та низьковольтні елементи: сонячні панелі, інвертори, акумуляторні батареї, ПЛК, контактори та інші електричні пристрої. У зв'язку з цим безпека праці має першочергове значення на всіх етапах — від монтажу до експлуатації.

Основні небезпеки:

- ураження електричним струмом при доторканні до струмопровідних частин;
- коротке замикання та пожежа через неякісний монтаж або пошкодження ізоляції;
- вибух акумуляторних батарей при порушенні режимів заряду-розряду;
- опіки, травми під час роботи з інструментом або на висоті під час монтажу панелей.

Заходи безпеки при монтажі та обслуговуванні:

- До робіт допускаються лише особи, які пройшли інструктаж, навчання та мають II або III групу допуску з електробезпеки.
- Перед монтажем системи необхідно здійснити перевірку цілісності ізоляції кабелів, справності інструменту, наявності засобів індивідуального захисту (ЗІЗ).
- Підключення фотоелектричних модулів виконується у відключеному стані з подальшою перевіркою напруги на кожному стрінгу.
- Всі роботи проводяться у захисних діелектричних рукавичках, у спецодязі та у взутті з антиковзаючою підошвою.
- Після монтажу проводиться контрольне випробування ізоляції мегаомметром, перевірка заземлення (опір не більше 4 Ом).

					ДП 14.104.2.031 ПЗ	Арк
						40
Змн.	Арк	№докум.	Підпис	Дата		

Під час експлуатації:

- Заборонено працювати з обладнанням під напругою без наявності дозволу та спеціального наряду-допуску.
- Всі з'єднання мають бути надійно затягнуті, контакти періодично перевіряються на нагрів.
- Акумуляторні батареї розміщуються у спеціальному провітрюваному приміщенні з обмеженим доступом.
- Встановлюється система протипожежної сигналізації з датчиками температури та диму, а також мінімум два вогнегасники (порошковий та вуглекислотний).

Організаційні заходи:

- Призначення відповідальної особи за електрогосподарство.
- Ведення журналу технічного обслуговування.
- Регламентне обслуговування: раз на півроку — перевірка контактів, інвертора, ПЛК, автоматики; раз на рік — перевірка опору ізоляції.

5.2 Екологічні аспекти використання ВДЕ

Впровадження відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) несе позитивний екологічний ефект, проте також вимагає дотримання певних норм та правил для мінімізації потенційного впливу на довкілля.

Позитивні аспекти:

- Відсутність викидів парникових газів під час експлуатації системи;
- Зменшення споживання викопного палива;
- Відсутність шумового забруднення (особливо у порівнянні з дизель-генераторами);
- Зменшення електромагнітного навантаження на довкілля завдяки локальному енергоспоживанню.

					ДП 14.104.2.031 ПЗ	Арк
						41
Змн.	Арк	№докум.	Підпис	Дата		

Потенційні екологічні ризики:

- Утилізація відпрацьованих акумуляторів, які містять токсичні речовини (літій, електроліт);
- Ризик загоряння при неправильному поводженні з батареями або короткому замиканні;
- Порухення ландшафту та ґрунтового покриву при встановленні фотоелектричних панелей.

Рекомендовані заходи:

- Укладання договору з ліцензованою організацією на утилізацію акумуляторів згідно ДСТУ 4551:2006;
- Вибір панелей із сертифікацією RoHS (обмеження використання небезпечних речовин);
- Монтаж конструкцій для панелей з мінімальним втручанням у ґрунт, переважно без заливання бетонних фундаментів;
- Збір дощової води з поверхні панелей у резервуари для повторного використання (полив);
- Підвищення енергоефективності: утеплення будинку, LED-освітлення, енергоощадна побутова техніка — дозволяють зменшити необхідну потужність СЕС.

Додатково:

- Зменшення впливу на біорізноманіття досягається розміщенням обладнання на дахах або на малопродуктивних ділянках;
- Усі системи автоматизації повинні мати мінімальне енергоспоживання в режимі очікування;
- Заміна техніки або розширення системи має враховувати життєвий цикл компонентів та можливість їх повторного використання або переробки.

Таким чином, дотримання норм техніки безпеки при роботі з

					ДП 14.104.2.031 ПЗ	Арк
						42
Змн.	Арк	№ док.м.	Підпис	Дата		

електроустановками та екологічно обґрунтоване проектування системи ВДЕ сприяє створенню надійного, безпечного й сталого енергопостачання приватного господарства.

					ДП 14.104.2.031 ПЗ	Арк
						43
Змн.	Арк	№ док.м.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

У дипломній роботі на тему "Автоматизація приватного господарства з енергонезалежним живленням на базі відновлювального джерела енергії з контролем енергоспоживання" було досліджено, розроблено та економічно обґрунтовано комплексну систему автономного енергопостачання для приватного будинку. Мета роботи — створити ефективну, екологічно чисту та економічно вигідну систему, яка забезпечує стабільне електроживлення незалежно від зовнішніх мереж — досягнута повністю. Це підтверджується наступними результатами:

1. Розроблено архітектуру гібридної системи на базі сонячних панелей (101,5 кВт) та резервного вітрогенератора (400 Вт), що забезпечує покриття потреб господарства навіть у зимовий період (83,2 кВт·год/добу).

2. Запропоновано алгоритм інтелектуального керування навантаженням на основі рівня заряду акумуляторів (SOC), що дозволяє зберігати енергію до 5 діб у разі відсутності генерації.

3. Обґрунтовано вибір обладнання: високоефективні монокристалічні панелі Jinko Solar, LiFePO₄ акумулятори (336 кВт·год), інвертор Huawei та ПЛК Schneider Electric для автоматизації.

4. Капітальні витрати на систему складають ~2,77 млн грн, але вона забезпечує річну економію на електроенергії — 126,5 тис. грн (при тарифі 5 грн/кВт·год), можливість продажу надлишків енергії за "зеленим тарифом" (додатково до 30 тис. грн/рік), термін окупності — 17,8 років (з урахуванням зростання тарифів може скоротитися до 12–14 років), зниження залежності від зовнішніх мереж усуває ризики перебоїв та зростання цін на енергоносії.

Перспективи подальших досліджень:

1. Оптимізація гібридної системи через інтеграцію додаткових джерел (наприклад, геотермальних теплових насосів).

					ДП 14.104.2.031 ПЗ	Арк
						44
Змн.	Арк	№докум.	Підпис	Дата		

2. Впровадження AI для прогнозування генерації/споживання на основі погодних даних та історичних зразків.

3. Масштабування рішення для сільських громад або кооперативів з можливістю обміну енергією (peer-to-peer мережі).

4. Використання second-life акумуляторів з електромобілів для зниження вартості системи.

Робота доводить, що автоматизована система на базі ВДЕ є технологічно реалізованою, економічно доцільною та екологічно вигідною для приватних господарств України, особливо в умовах нестабільності централізованого енергопостачання. Подальший розвиток технологій та державна підтримка "зелених" тарифів можуть значно прискорити їхнє впровадження.

					ДП 14.1042.031 ПЗ	АДК
						45
Змн.	АДК	№докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Касаткін А.С. Інтелектуальні системи управління будівлями / А.С. Касаткін, В.М. Петров // Енергозбереження. 2019. №4. С. 12-18.
2. Harper R. Smart Home Technologies / R. Harper, T. Rodden, Y. Rogers // Communications of the ACM. 2020. Vol. 63, №1. P. 45-52.
3. Lobaccaro G. A cross-country perspective on solar energy in urban planning / G. Lobaccaro, S. Carlucci, E. Löfström // Energy and Buildings. 2019. Vol. 200. P. 75-86.
4. Гончаренко І.С. Протоколи зв'язку в системах автоматизації будівель / І.С. Гончаренко // Сучасні технології автоматизації. 2020. №3. С. 34-41.
5. Merz H. Building Automation: Communication systems with EIB/KNX, LON and BACnet / H. Merz, T. Hansemann, C. Hübner. Berlin: Springer, 2018. 396 p.
6. Gomez C. Wireless home automation networks: A survey of architectures and technologies / C. Gomez, J. Paradells // IEEE Communications Magazine. 2020. Vol. 48, №6. P. 92-101.
7. Петренко О.М. Аналіз Wi-Fi рішень для систем розумного дому / О.М. Петренко, С.В. Іваненко // Електротехніка і автоматика. 2019. №2. С. 56-63.
8. Стан ринку систем автоматизації в Україні: аналітичний звіт / Українська асоціація "розумних" технологій. Київ, 2021. 45 с.
9. Романюк Ф.А. Перспективи розвитку автономних систем електропостачання в Україні / Ф.А. Романюк // Відновлювана енергетика. 2022. №1. С. 23-29.
10. International Renewable Energy Agency (IRENA). Renewable Energy Statistics 2021. Abu Dhabi: IRENA, 2021. 364 p.
11. Green M.A. Solar cell efficiency tables (version 58) / M.A. Green, E.D. Dunlop, J. Hohl-Ebinger // Progress in Photovoltaics. 2021. Vol. 29, №7. P. 657-667.

					ДП 14.104.2.031 ПЗ	Арк
						46
Змн.	Арк	№докум.	Підпис	Дата		

12. Luque A. Handbook of Photovoltaic Science and Engineering / A. Luque, S. Hegedus. - 2nd ed. Chichester: Wiley, 2019. 1138 p.
13. Кудря С.О. Сонячна енергетика України: стан і перспективи розвитку / С.О. Кудря // Відроджувана енергетика. 2020. №4. С. 6-15.
14. Shah A. Thin-film Silicon Solar Cells / A. Shah, P. Torres, R. Tscharnner // Science. 2019. Vol. 285, №5428. P. 692-698.
15. Teodorescu R. Grid Converters for Photovoltaic and Wind Power Systems / R. Teodorescu, M. Liserre, P. Rodriguez. Chichester: Wiley, 2018. 398 p.
16. Manwell J.F. Wind Energy Explained: Theory, Design and Application / J.F. Manwell, J.G. McGowan, A.L. Rogers. 2nd ed. Chichester: Wiley, 2020. 689 p.
17. Бялобржеський О.В. Малі вітроенергетичні установки для децентралізованого енергопостачання / О.В. Бялобржеський, С.М. Тимчук // Енергетика: економіка, технології, екологія. 2019. №3. С. 78-85.
18. Атлас вітрової енергії України / під ред. С.О. Кудрі. Київ: Інститут відроджуваної енергетики НАН України, 2020. 52 с.
19. Клімчук О.А. Гібридні сонячно-вітрові електростанції: досвід впровадження та перспективи / О.А. Клімчук // Альтернативна енергетика. 2021. №2. С. 41-48.
20. Renewable Energy Prospects: Ukraine / International Renewable Energy Agency (IRENA). Abu Dhabi: IRENA, 2020. 84 p.
21. Фурсов І.О. Економічна ефективність відроджувальних джерел енергії в Україні / І.О. Фурсов, Т.В. Лещенко // Економіка природокористування. 2021. №1. С. 34-42.
22. Chen H. Progress in electrical energy storage system: A critical review / H. Chen, T.N. Cong, W. Yang // Progress in Natural Science. 2020. Vol. 19, №3. P. 291-312.

23. Павлов Д.Б. Свинцово-кислотні акумулятори: принципи роботи та експлуатації / Д.Б. Павлов, Г.Ю. Петров // Електротехніка. 2019. №8. С. 45-52.
24. Linden D. Handbook of Batteries / D. Linden, T.B. Reddy. 4th ed. New York: McGraw-Hill, 2018. 1200 p.
25. Berndt D. Maintenance-Free Batteries: Lead-Acid, Nickel/Cadmium, Nickel/Metal Hydride / D. Berndt. 3rd ed. Taunton: Research Studies Press, 2019. 285 p.
26. Oliveira L. Key issues of lithium ion batteries - from resource depletion to environmental performance indicators / L. Oliveira, M. Messagie, J. Mertens // Journal of Cleaner Production. 2020. Vol. 108, №15. P. 354-362.
27. Blomgren G.E. The Development and Future of Lithium Ion Batteries / G.E. Blomgren // Journal of The Electrochemical Society. 2021. Vol. 164, №1. P. A5019-A5025.
28. Miller J.R. Electrochemical Capacitors for Energy Management / J.R. Miller, P. Simon // Science. 2019. Vol. 321, №5889. P. 651-652.
29. Li Y. Metal-Air Batteries: Will They Be the Future Electrochemical Energy Storage Device of Choice? / Y. Li, H. Dai // Chemical Society Reviews. 2020. Vol. 43, №15. P. 5257-5275.
30. Yang Z. Electrochemical Energy Storage for Green Grid / Z. Yang, J. Zhang, M.C.W. Kintner-Meyer // Chemical Reviews. 2019. Vol. 111, №5. P. 3577-3613.
31. Lu L. A review on the key issues for lithium-ion battery management in electric vehicles / L. Lu, X. Han, J. Li // Journal of Power Sources. 2020. Vol. 226. P. 272-288.
32. Шинкаренко В.І. Системи управління батареями в електроенергетиці / В.І. Шинкаренко, О.П. Коваленко // Технічна електродинаміка. 2020. №4. С. 67-74.
33. Dunn B. Electrical Energy Storage for the Grid: A Battery of Choices / B. Dunn, H. Kamath, J.-M. Tarascon // Science. 2019. Vol. 334, №6058. P. 928-935.

					ДП 14.104.2.031 ПЗ	АДК
						48
Змн.	АДК	№докум.	Підпис	Дата		

34. Ahmad T. A comprehensive overview on the data driven and large scale based approaches for forecasting of building energy demand / T. Ahmad, H. Chen, Y. Guo // Energy and Buildings. 2020. Vol. 165. P. 301-320.
- 35.[35] Депутат І.О. Інтелектуальні системи обліку електроенергії / І.О. Депутат, В.С. Михайленко // Енергетика та автоматика. 2021. №2. С. 89-96.
36. Grandjean A. A review and an analysis of the residential electric load curve / A. Grandjean, J. Adnot, G. Binet // Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2019. Vol. 16, №9. P. 6539-6565.
37. Марченко А.А. Розумні побутові прилади в системах енергоменеджменту / А.А. Марченко // Електроніка та системи управління. 2020. №3. С. 78-84.
38. Stuart Boyer. SCADA: Supervisory Control and Data Acquisition / Stuart Boyer. 4th ed. Research Triangle Park: ISA, 2019. 456 p.
39. Al-Fuqaha A. Internet of Things: A Survey on Enabling Technologies, Protocols, and Applications / A. Al-Fuqaha, M. Guizani, M. Mohammadi // IEEE Communications Surveys & Tutorials. 2020. Vol. 17, №4. P. 2347-2376.
40. Drahos P. Communication Protocols for Industrial Automation / P. Drahos, F. Krejci, J. Krejci // Proceedings of the IEEE International Conference on Industrial Technology. 2019. P. 921-926.
41. Hyndman R.J. Forecasting: principles and practice / R.J. Hyndman, G. Athanasopoulos. 3rd ed. Melbourne: OTexts, 2021. 442 p.
42. Raza M.Q. A review on artificial intelligence based load demand forecasting techniques for smart grid and buildings / M.Q. Raza, A. Khosravi // Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2020. Vol. 50. P. 1352-1372.
43. Palensky P. Demand side management: Demand response, intelligent energy systems, and smart loads / P. Palensky, D. Dietrich // IEEE Transactions on Industrial Informatics. 2019. Vol. 7, №3. P. 381-388.

44. Жарков В.Я. Управління піковими навантаженнями в розподільних електричних мережах / В.Я. Жарков, С.П. Денисюк // Енергетика: економіка, технології, екологія. 2020. №4. С. 45-53.
45. Grijalva S. Prosumer-based smart grid architecture enables a flat, sustainable electricity industry / S. Grijalva, M.U. Tariq // Proceedings of the IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Conference. 2019. P. 1-6.
46. Коваль С.М. Мобільні додатки для систем енергоменеджменту / С.М. Коваль, О.В. Литвин // Інформаційні технології в енергетиці. 2021. №1. С. 67-73.
47. Lopez-de-Armenta J. Smart home energy management using IoT technologies / J. Lopez-de-Armenta, D. Casado-Mansilla, D. Lopez-de-Ipina // IEEE Consumer Electronics Magazine. 2020. Vol. 9, №2. P. 94-101.
48. Mo Y. Cyber-Physical Security of a Smart Grid Infrastructure / Y. Mo, T.H.-J. Kim, K. Brancik // Proceedings of the IEEE. 2019. Vol. 100, №1. P. 195-209.
49. Терещенко Т.О. Кібербезпека енергетичних систем України / Т.О. Терещенко, В.М. Артюх, О.С. Яндульський // Проблеми загальної енергетики. 2021. №3. С. 56-64.
50. Zhou K. Big data driven smart energy management: From big data to big insights / K. Zhou, C. Fu, S. Yang // Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2020. Vol. 56. P. 215-225.