

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу
Факультет автоматизації та енергетики
Кафедра інформаційно-вимірювальних технологій та енергетичного
менеджменту

Скрикуляк Володимир Ігорович
(прізвище, ім'я, по батькові)

УДК 621.311.2:681.2
(індекс)

БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА

Розроблення інформаційно-вимірювальної системи для управління
пріоритетності електроспоживання в будівлях з автономними гібридними
сонячними електростанціями (назва роботи)

Інженерія відновлюваної енергетики
(назва освітньої програми)

152 – Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка
(шифр і назва спеціальності)

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

Здобувач освітнього ступеня В.І.Скрикуляк
(підпис, ініціали та прізвище здобувача освітнього ступеня)

Науковий керівник Рибіцький Ігор Володимирович, д.т.н., професор.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Допущено до захисту

Завідувач кафедри

доцент Цих В.С.
(посада) (підпис) (дата) (ініціали та прізвище)

Івано-Франківськ - 2026

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

(повне найменування закладу вищої освіти)

Факультет автоматизації та енергетики

Кафедра інформаційно-вимірювальних технологій та енергетичного менеджменту__

Освітній рівень Бакалавр

Спеціальність 152 – Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Завідувач кафедри
інформаційно-вимірювальних
технологій та енергетичного
менеджменту

В.С. Цих

“ ____ ” _____ 2026 р.

ЗАВДАННЯ

НА БАКАЛАВРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Скрикуляку Володимирі Ігоровичу

1. Тема роботи Розроблення інформаційно-вимірювальної системи для управління пріоритетності електроспоживання в будівлях з автономними гібридними сонячними електростанціями. керівник

роботи Рибіцький Ігор Володимирович, д. т. н., проф. _____,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом ІФНТУНГ від “ 5 ” травня 2026 року №204/7

2. Строк подання студентом роботи “ 12 ” червня 2026 року

3. Вихідні дані до роботи _____

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

1) Структура та особливості енергопостачання будівель з автономними гібридними сонячними електростанціями.

2) Розробка та аналіз інформаційно-вимірювальної системи управління електроспоживанням.

3) Розроблення алгоритмів управління пріоритетністю електроспоживання.

4) Техніко-економічне обґрунтування впровадження системи.

5) Охорона праці та безпека при експлуатації електроенергетичних систем

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

1) Схема структурна інформаційно-вимірювальної системи.

2) Алгоритм роботи основного циклу управління навантаженнями

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
<i>Нормоконтролер</i>	<i>доцент Яворський А.В.</i>		
<i>Перевірка на плагіат</i>	<i>доцент Миндюк В.Д.</i>		

7. Дата видачі завдання

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів бакалаврської роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Видача завдань бакалаврської роботи.	05.05.2026	
2	Складання плану.	08.05.2026	
3	Підбір джерел, оброблення зібраних матеріалів.	11.05.2026-17.05.2026	
4	Написання вступу та Розділу 1 «Теоретичний аналіз систем та засобів автоматизації обліку паливно-енергетичних ресурсів».	18.05.2026-24.05.2026	
5	Написання Розділу 2 «Технічне обґрунтування та апаратне забезпечення інформаційно-вимірювальної системи».	25.05.2026-31.05.2026	
7	Написання Розділу 3 «Метрологічна оцінка та організаційно-технічні аспекти впровадження ІВС».	01.06.2026-07.06.2026	
8	Оформлення роботи.	08.06.2026-15.06.2026	

Студентка

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

«Розроблення інформаційно-вимірювальної системи для управління пріоритетністю електроспоживання в будівлях з автономними гібридними сонячними електростанціями». Дипломна робота освітнього рівня –; бакалавр, на правах рукопису. Спеціальність –; 152 «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка». –; Івано-Франківськ, 2026.

Бакалаврська робота присвячена розробленню інформаційно-вимірювальної системи, яка забезпечує безперервний контроль параметрів електроспоживання у будівлі з автономною гібридною сонячною електростанцією та автоматичне керування підключенням груп навантаження відповідно до встановленого пріоритету в умовах обмеженого ресурсу акумуляторної батареї.

У роботі виконано аналіз сучасних систем обліку та автоматизації паливно-енергетичних ресурсів, розглянуто принципи побудови автономних гібридних сонячних електростанцій та визначено особливості керування навантаженням у системах з обмеженою генерацією. Обґрунтовано структуру апаратного забезпечення інформаційно-вимірювальної системи, до складу якої входять вимірювальні канали струму та напруги на основі датчиків ефекту Холла, мікроконтролерний блок керування, силові комутаційні елементи на основі реле-контакторів та канал передавання даних за інтерфейсом RS-485 з протоколом Modbus RTU. Розроблено алгоритм роботи системи керування пріоритетністю навантаження залежно від рівня заряду акумуляторної батареї та потужності, що генерується сонячними панелями.

Виконано метрологічну оцінку похибок вимірювальних каналів струму, напруги та потужності, визначено складові інструментальної похибки та підтверджено відповідність системи вимогам до точності обліку електроенергії. Розраховано економічну ефективність впровадження системи, визначено капітальні витрати на обладнання, очікуваний річний економічний ефект та термін окупності. Розглянуто питання охорони праці та безпеки під час експлуатації електроенергетичних систем малої потужності.

Результати роботи можуть бути використані під час проектування систем енергетичного менеджменту для приватних будівель, оснащених автономними та гібридними джерелами відновлюваної енергії.

Робота містить 5 розділів, 9 рисунків, 7 таблиць, список використаних джерел.

Ключові слова: інформаційно-вимірювальна система, сонячна електростанція, пріоритетність навантаження, мікроконтролер, RS-485, Modbus, метрологічна оцінка, енергетичний менеджмент.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
РОЗДІЛ 1	11
1.1. Сучасний стан систем обліку електроенергії в автономних об'єктах	11
1.2. Принципи побудови автономних гібридних сонячних електростанцій....	12
1.3. Аналіз методів та засобів автоматизації керування навантаженням.....	13
1.4. Постановка задачі дослідження.....	22
РОЗДІЛ 2.....	25
2.1. Характеристика об'єкту впровадження.....	25
2.2. Структурна схема інформаційно-вимірювальної системи.....	25
2.3. Вибір елементної бази вимірювальних каналів.....	27
2.4. Вибір мікроконтролерного блока керування.....	28
2.5. Силова частина: комутація груп навантаження.....	29
2.6. Канал передавання даних.....	29
2.7. Конструктивне виконання системи	29
2.8. Алгоритм роботи системи управління пріоритетністю навантаження...	30
Висновки до розділу 2.....	31
РОЗДІЛ 3.....	33
3.1. Джерела похибок вимірювальних каналів.....	33
3.2. Розрахунок похибки вимірювального каналу струму.....	33
3.4. Метрологічне забезпечення та перевірка системи.....	35
3.5. Організаційно-технічні рекомендації щодо впровадження системи.....	35
РОЗДІЛ 4.....	37
4.1. Визначення капітальних витрат на впровадження системи.....	37
4.2. Оцінювання очікуваного економічного ефекту.....	37
4.3. Розрахунок терміну окупності.....	38
4.4. Розрахунок чистого приведенного доходу.....	39
4.5. Аналіз отриманих результатів.....	39
Висновки до розділу 4.....	40
РОЗДІЛ 5.....	41
5.1. Охорона праці в енергетичних системах.....	41

5.2. Вимоги безпеки під час монтажу системи.....	41
5.3. Вимоги безпеки під час експлуатації системи.....	42
5.4. Заходи пожежної безпеки.....	43
5.5. Електромагнітна безпека та вплив на навколишнє середовище.....	44
Висновки до розділу 5.....	47
Висновки.....	48

ВСТУП

Актуальність теми. Зростання вартості традиційних енергоносіїв, нестабільність централізованого електропостачання та активний розвиток розподіленої генерації зумовлюють стрімке поширення автономних і гібридних сонячних електростанцій у приватному секторі. На відміну від мережевих фотоелектричних систем, автономні гібридні станції працюють із обмеженим буфером енергії – акумуляторною батареєю, ємність якої завжди скінченна, а потужність сонячних панелей залежить від погодних умов та пори доби. У таких умовах одночасне підключення всіх споживачів будівлі може призвести до глибокого розряду батареї, скорочення строку її служби або повного знеохочення електропостачання у критичний момент. [8; 10; 11; 13]

Традиційні системи обліку електроенергії, побудовані на базі лічильників із візуальним або імпульсним зняттям показів, виконують лише функцію фіксації спожитої енергії і не здатні впливати на розподіл навантаження в реальному часі. Тому актуальним є розроблення інформаційно-вимірювальної системи, яка не обмежується пасивним обліком, а забезпечує безперервний збір даних про потужність генерації та споживання і на основі цих даних автоматично керує підключенням груп навантаження за заданим пріоритетом, утримуючи енергобаланс будівлі в межах можливостей автономної електростанції. [7; 13]

Розроблення такої системи лежить на перетині завдань метрології (забезпечення необхідної точності вимірювання струму, напруги та потужності) та автоматизації (побудова алгоритму прийняття рішень і силового керування навантаженням), що відповідає профілю підготовки фахівців спеціальності 152 «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка». [7; 14]

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота виконана в межах напряму досліджень кафедри інформаційно-вимірювальних технологій та енергетичного менеджменту, пов'язаного з розробленням засобів автоматизованого обліку та управління паливно-енергетичними ресурсами на базі інформаційної системи «ЕНЕРГОСЕРВІС».

Мета і завдання дослідження. Метою роботи є розроблення інформаційно-вимірювальної системи для управління пріоритетністю електроспоживання в будівлях з

автономними гібридними сонячними електростанціями, яка забезпечує безперервний збір даних про параметри електропостачання та автоматичний розподіл навантаження відповідно до наявного енергетичного ресурсу.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- виконати аналіз існуючих систем обліку паливно-енергетичних ресурсів та засобів автоматизації енергетичного моніторингу, визначити їхні переваги та обмеження стосовно задачі керування пріоритетністю навантаження;
- обґрунтувати структуру та склад апаратного забезпечення інформаційно-вимірювальної системи, розробити схемотехнічні рішення вимірювальних каналів і силової частини комутації навантаження;
- розробити алгоритм функціонування системи керування пріоритетністю електроспоживання залежно від потужності генерації сонячної електростанції та стану заряду акумуляторної батареї;
- виконати метрологічну оцінку похибок вимірювальних каналів системи та підтвердити їх відповідність вимогам до точності обліку електроенергії;
- розрахувати економічну ефективність впровадження розробленої системи;
- розглянути питання охорони праці та безпеки під час монтажу й експлуатації системи.

Об'єкт дослідження –; процес контролю та управління розподілом електричної енергії між групами навантаження в автономній гібридній сонячній електростанції житлової будівлі.

Предмет дослідження –; методи та засоби побудови інформаційно-вимірювальної системи для безперервного вимірювання параметрів електроспоживання і автоматичного керування пріоритетністю підключення навантаження.

Методи дослідження. У роботі використано методи системного аналізу для огляду існуючих рішень, методи теорії електричних вимірювань для побудови вимірювальних каналів струму та напруги, методи метрологічного аналізу для оцінювання похибок засобів вимірювання, а також техніко-економічний аналіз для оцінювання ефективності впровадження системи. [7; 12; 13]

Наукова новизна отриманих результатів полягає в розробленні алгоритму автоматичного керування пріоритетністю підключення груп навантаження, який

враховує одночасно поточну потужність генерації сонячної електростанції, рівень заряду акумуляторної батареї та задані користувачем пріоритети споживачів, що дозволяє підвищити автономність електропостачання будівлі без участі оператора.

Практичне значення отриманих результатів полягає у розробленні апаратно-програмного рішення інформаційно-вимірювальної системи, яке може бути впроваджене в приватних будівлях з автономними та гібридними фотоелектричними станціями для підвищення ефективності використання відновлюваної енергії та зниження ризику аварійного знеструмлення.

Структура роботи. Бакалаврська робота складається зі вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел. Робота містить рисунки, таблиці, формули, оформлені відповідно до вимог стандартів. [6]

РОЗДІЛ 1

ТЕОРЕТИЧНИЙ АНАЛІЗ СИСТЕМ ТА ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ ОБЛІКУ ПАЛИВНО-ЕНЕРГЕТИЧНИХ РЕСУРСІВ

1.1. Сучасний стан систем обліку електроенергії в автономних об'єктах

Облік споживання електричної енергії традиційно виконується за допомогою індукційних або електронних лічильників, що встановлюються на межі балансової належності мережі та реєструють інтегральне значення спожитої енергії за певний період. Такий підхід є достатнім для розрахунків зі споживачами централізованої мережі, проте не дає інформації про структуру навантаження, тобто про те, які саме групи споживачів і в який момент часу формують пікове навантаження. [5; 7]

У будівлях з автономним або гібридним електропостачанням ситуація принципово інша. Джерелом енергії є сонячна електростанція, потужність якої залежить від інсоляції, температури фотоелектричних модулів та кута їх установки, а буфером –; акумуляторна батарея обмеженої ємності. Якщо сумарна потужність підключених споживачів перевищує потужність, яку може віддати джерело (сонячні панелі вдень або інвертор від батареї вночі), напруга в локальній мережі починає просідати, інвертор переходить у режим обмеження або аварійно вимикається. Лічильник, що фіксує лише накопичену енергію, не здатний запобігти такій ситуації, оскільки не працює в режимі реального часу і не має виконавчих елементів керування. [8; 10; 11]

Для автономних об'єктів частіше використовуються так звані системи енергетичного моніторингу –; апаратно-програмні комплекси, що здійснюють вимірювання струму та напруги в окремих лініях і передають дані на пристрій відображення або до хмарного сервісу. Прикладами таких рішень є вбудовані монітори гібридних інверторів (Victron Energy, Deye, Axpert), які відображають миттєву потужність генерації, заряду та споживання, а також окремі модулі обліку на основі лічильників із інтерфейсом RS-485 (наприклад, серії DDS, DTS), що інтегруються в системи диспетчеризації. [9; 13; 15]

Аналіз показує, що переважна більшість таких рішень виконує лише функцію моніторингу –; відображення поточних та архівних значень параметрів електромережі, але не функцію автоматичного управління розподілом навантаження. Рішення про

відключення тих чи інших споживачів у разі дефіциту енергії приймає людина вручну, що в умовах змінної генерації (хмарність, добовий хід інсоляції) є неефективним і призводить або до невиправданих обмежень споживачів, або до глибокого розряду акумуляторної батареї. [10; 13]

1.2. Принципи побудови автономних гібридних сонячних електростанцій

Автономна гібридна сонячна електростанція є джерелом електропостачання, що поєднує фотоелектричні панелі, контролер заряду, акумуляторну батарею та інвертор, і може додатково мати резервне джерело (мережу або генератор) для підзарядження батареї в умовах нестачі сонячної генерації. [8; 11]

Принцип роботи такої станції полягає в перетворенні сонячного випромінювання у постійний електричний струм фотоелектричними панелями, стабілізації параметрів заряду контролером (найчастіше з алгоритмом пошуку точки максимальної потужності MPPT) та накопиченні енергії в акумуляторній батареї. Інвертор перетворює постійний струм батареї в змінний струм напругою 220 В, який живить навантаження будівлі. [8; 11]

Ключовою особливістю гібридної станції є обмеженість потужності, яку можна одночасно відібрати від системи. Ця потужність визначається трьома складовими: миттєвою потужністю сонячних панелей, максимальною розрядною потужністю акумуляторної батареї та номінальною потужністю інвертора. У похмурі дні або у вечірній час, коли генерація сонячних панелей відсутня, єдиним джерелом енергії є акумуляторна батарея, розрядний струм якої обмежений з міркувань збереження строку служби (зазвичай не більше 0,2–0,3 від номінальної ємності в одиницях струму). [10; 11]

Узагальнена структура автономної гібридної сонячної електростанції наведена на рисунку 1.2



Рисунок 1.1. Акумуляторна батарея

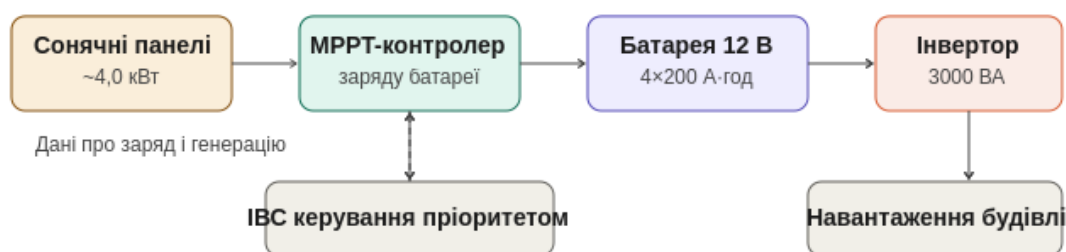


Рисунок 1.2. – Структура автономної гібридної сонячної електростанції

Через ці обмеження виникає задача управління навантаженням –; розподілу наявної потужності між споживачами так, щоб найважливіші з них (наприклад, холодильник, освітлення, насос системи опалення) залишались підключеними якомога довше, тоді як менш критичні споживачі (зарядні пристрої, додаткові розетки) відключаються першими в разі дефіциту енергії. [10; 13]

1.3. Аналіз методів та засобів автоматизації керування навантаженням

У промислових системах керування навантаженням (Load Shedding) застосовують контролери, які за сигналами від датчиків струму чи потужності та за заданою логікою

пріоритетів відключають окремі групи споживачів. Подібні системи широко використовуються на суднах, у системах резервного живлення (UPS) та на промислових об'єктах з обмеженою потужністю генератора. [10; 14]

Стосовно автономних сонячних електростанцій приватних будівель готові рішення такого типу є обмеженими: більшість гібридних інверторів дозволяє підключити лише одне реле «сухий контакт» для керування одним зовнішнім навантаженням за порогом напруги батареї, що є недостатнім для диференційованого керування кількома групами споживачів з різним пріоритетом. [8; 11; 13]

Для вирішення цієї задачі доцільно використовувати окрему інформаційно-вимірювальну систему на базі мікроконтролера, яка: [7; 14]

Під час проектування схем автоматизації необхідно правильно вибрати технічні засоби автоматизації, що випускаються серійно, й розробляти нові.

Вимірювальні перетворювачі використовують у комплекті з вторинними приладами, регуляторами й іншими пристроями автоматики, машинами централізованого контролю й системами керування. У залежності від конкретних умов застосування вимірювальних перетворювачів (ВП) до них існують різноманітні вимоги. Точність датчика в основному визначає точність роботи системи, тому необхідно враховувати в першу чергу метрологічні й динамічні характеристики, спрямованість дії, що характеризує ступінь впливу навантаження на виході датчика на режим вхідного кола, а також зручність монтажу й обслуговування. Крім ВП, важливе значення має вибір або розробка інших пристроїв автоматики, у тому числі відлікових і дозувальних пристроїв (мірна тара, баки, автоматичні ваги й т.п.), стандартних пристроїв з ручним вводом сигналу (тумблери, клавішні вимикачі, кнопки тощо), а також зі змішаним (ручним і автоматичним) вводом сигналу.

Необхідно враховувати граничні значення температур, у діапазоні яких

можна застосовувати різні датчики, а також вид вихідного сигналу. Ці дві характеристики є основними, які в значній мірі визначають вибір того чи іншого

ВП. При виборі датчиків варто враховувати середовище, у якому вони повинні працювати. Термометри опору і термопари забезпечують вимір з точністю 0,5 %, а контактні, і манометричні термометри – не більш 1,5 – 2,5 %.

У діапазоні температур від 50 до +500 °С, як правило, віддається перевага термометрам опору, що менше зазнають дії електричних і магнітних полів.

Причому при вимірах у діапазоні температур від –50 до +150 °С варто застосовувати мідні, а не платинові термометри опору, бо вони більш дешеві і

краще переносять вібрацію. Застосування термопари особливо зручне під час виміру температури важкодоступному чи обмеженому розмірами місці. Цей прилад дозволяє визначити «місцеву» температуру, у той час як термометр опору й манометричний термометр вимірюють середню температуру тіла.

При необхідності одержання пневматичного сигналу можливе застосування як манометричних термометрів із пневмовихідом, так і термопар з наступним перетворенням термо-ЕДС у пневмосигнал.

Витрати рідини і газу на сучасних промислових підприємствах вимірюють різними способами, однак переважна більшість промислових установок оснащено для цієї мети дросельними витратомірами.

Їх основними елементами є звужуючий пристрій, що забезпечує перепад тиску на ділянці трубопроводу, диференціальний манометр, сполучні лінії, а також керуюча, розділова і захисна апаратура.

Найбільш трудомісткою є операція вибору звужуючого пристрою, оскільки в кожному окремому випадку необхідно виконання достатньо громіздкого розрахунку. Стандартизовані звужуючі пристрої є трьох видів; діафрагма (камерна і безкамерна), сопло і сопло Вентурі. Зміна чи забруднення вхідного профілю звужуючого пристрою в процесі експлуатації при використанні діаф-

рагми впливає на точність виміру витрат більше, ніж при застосуванні сопла.

В установках з невеликим статичним тиском, де обмеження втрати тиску

на звужуючому пристрої має вирішальне значення, перевагу віддається соплу

Вентурі. Стандартні звужуючі пристрої можна використовувати, якщо діаметр

трубопроводу не менш 50 мм, статичний тиск не перевищує $2 \cdot 10^7$ Па, а модуль

знаходиться в межах від 0,05 до 0,7 для діафрагми і від 0,05 до 0,6 для сопла

Вентурі. Вибір дифманометра, що працює в комплекті зі звужуючим пристроєм, в

основному зводиться до визначення номінального перепаду тиску відповідно

до стандартної шкали перепадів. Якщо втрата тиску у звужуючому пристрої не

має значення, перепад вибирають таким, щоб модуль дорівнював 0,2, оскільки

більше зменшення модуля (а отже, підвищення перепаду тиску), як правило,

недоцільно. Якщо ж задана припустима втрата тиску у звужуючому пристрої,

то приймають таке найбільше значення номінального перепаду тиску дифма-

нометра, при якому втрата тиску ще залишається менше припустимої.

Вихідними даними для розрахунку звужуючих пристроїв є: внутрішній

діаметр трубопроводу; статичний тиск середовища; температура; максимальне,

середнє і мінімальне значення витрати речовин; припустима втрата тиску на

звужуючому пристрої; матеріал звужуючого пристрою; обраний тип дифмано-

метра. Крім дросельних витратомірів, у промислових установках знаходять за-

стосування ротаметри (витратоміри постійного перепаду), індукційні витрато-

міри й ін. Ротаметри дозволяють вимірювати малі витрати рідини і газу при ді-

аметрі трубопроводу, меншому 50 мм, коли дросельні витратоміри не можна

застосовувати. Вони забезпечують значний діапазон виміру (відношення мак-

симальної витрати до мінімальної витрати може досягати 10), мають рівномірну

16 шкалу , втрати тиску незначні, дозволяють вимірювати витрату агресивних і стерильних речовин.

Таблиця 1.1 – Параметри контролю і управління системи автоматизації лінії виробництва

Технологічний агрегат	Параметр	
	Контроль	Управління
Оперативні бункери	Верхній та нижній рівні зерна	Вмикання / вимикання подачі
Дозатори	Витрата компоненту	Переміщення засувки
Дробарка	Струм навантаження привідного двигуна Продуктивність дробарки Ступінь подрібнення	Подача у дробильну камеру
Завантажувальні транспортери	Відсутність / наявність обриву	Вмикання / вимикання привідного двигуна
Бункери готової продукції	Верхній та нижній рівні концкорму Витрата відпуску готового продукту	Вмикання / вимикання подачі Відкриття / закриття засувки

Таблиця 1.2 – Технічні дані вимірювальних перетворювачів

Вимірювальний перетворювач	Параметр	U_n , В	f , Гц	Зона нечутливості, %	Похибка вимірів, %	Вихідний сигнал, мА
Рівень	СУС-МР	36	50	1	± 3	5
Вологість	ВЧ-536У	36	50	2	± 5	3
Витрати	РЦ-71	24	50	2	± 1	2
Крупність	ДА1	12	50	1	± 5	4
Швидкість	ТГ-041	55	50	2	± 4	6
Вага	16ДК-1000	36	50	5	± 6	3

– забезпечує передавання даних за стандартизованим цифровим інтерфейсом для подальшої інтеграції в систему диспетчеризації або базу даних типу «ЕНЕРГОСЕРВІС». [9; 15]

При виборі вимірювальних перетворювачів технологічних параметрів і інших засобів виділення інформації варто враховувати наступні основні фактори: припустима для АСКТП похибка, що визначає клас точності датчика; інерційність датчика, що характеризується його постійною часу; межі виміру з гарантованою точністю; вплив фізичних параметрів контролюваного й навколишнього середовища (температури, тиску, щільності, вологості) на нормальну роботу датчика; вплив на ВП контролюваного й навколишнього середовища внаслідок його абразивних властивостей, хімічних параметрів тощо; наявність у місці установки ВП неприпустимих для його нормального функціонування вібрацій, магнітних і електричних полів, радіоактивних випромінювань та ін.; можливість застосування вимірювального перетворювача з погляду вимог пожежо- і вибухобезпечності; відстань, на яку може бути передана інформація, що виділяється датчиком; граничні значення вимірюваної величини й інших параметрів середовища. ВП вибирають, як правило, у два етапи. На першому задається різновид ВП (наприклад, при вимірі температури – манометричний термометр, термометр опору, термопара). На другому етапі визначається типорозмір обраного ВП (наприклад, термометр опору мідний, градировки 23, типу ТСМ-5071, го-лівка водозахисна).

Вибір ВП рівня, концентрації, складу і вологості газу, щільності, кута повороту, переміщення, наявності сили, швидкості обертання і прискорення в основному зводиться до обліку і підбора згаданих вище факторів і характеристик. При використанні ВП, що реагують на радіоактивність, необхідно постійно контролювати вплив проникаючої радіації і дотримуватись спеціальних санітарно-технічних правил і техніки безпеки. Для деяких типів ВП, таких як кондуктометричні, ємнісні й інші, варто враховувати вплив температури і передбачати компенсуючі пристрої. Багато датчиків концентрації, складу газу є спеціалізованими і можуть застосовуватися тільки в дуже вузькій галузі. Наприклад, розглянемо методику вибору найбільш поширених ВП технологічних параметрів. У системах подрібнювання зернових компонентів в більшості випадків застосовують вимірювальні перетворювачі неелектричних величин: рівня, витрати, вологості, положення засувки і т.п. Ці величини перетворюються у величини, зручні для передачі на відстань чи для використання у відповідних місцевих пристроях автоматики [3]. Технічні характеристики вимірювальних перетворювачів, що використовуються для контролю параметрів у технологічному процесі. Для оперативного контролю ступеня подрібнювання матеріалу застосовують метод ситового аналізу в різноманітних модифікаціях. Найбільш поширеним є засіб поділу сипучого матеріалу на дві фракції за допомогою ситового екрана з заданими розмірами осередків. Відношення витрати однієї з фракцій до витрати вихідного продукту характеризує дисперсність вихідної суміші. Цей засіб реалізується в спеціальній конструкції дисперсоаналізатора ДА1. Він має циліндричне сито з певним розміром осередків. Сипкий матеріал, проходячи скрізь нього розділяється на дві фракції, контролюючи співвідношення яких можна судити про ступінь помелу кмбікормів.

Виконавчі механізми (вимоги):

за умовами захищеності від дії навколишнього середовища;

за умовою вибухонебезпечності;

за умовою електричної безпеки;

за типом вимірювальної величини;

за похибкою вимірювання перетворювача;

за інерційністю;

за типом вихідної величини.

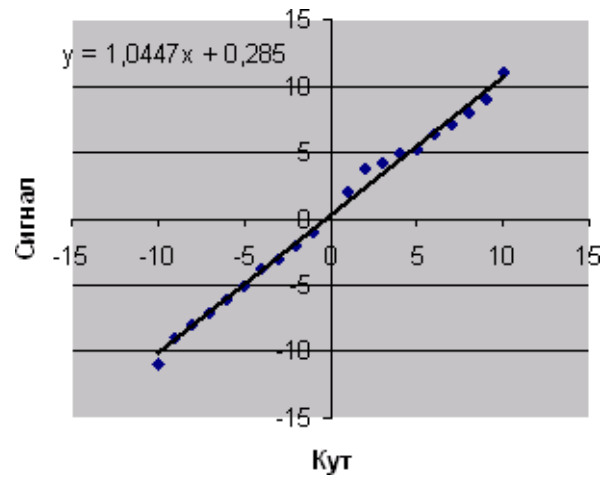


Рисунок 1.4 Статична характеристика

1.4. Постановка задачі дослідження

Виконаний аналіз показав, що існуючі засоби обліку електроенергії в автономних об'єктах переважно обмежуються функцією пасивного моніторингу і не забезпечують автоматичного керування розподілом навантаження

відповідно до наявного енергетичного ресурсу. Вбудовані засоби гібридних інверторів мають обмежену кількість керованих виходів і не дозволяють реалізувати гнучку, багаторівневу пріоритезацію споживачів. [8; 10; 13]

Отже, актуальним є розроблення спеціалізованої інформаційно-вимірювальної системи, яка поєднує функції точного вимірювання електричних параметрів (струму, напруги, потужності) на множині каналів з функцією автоматичного керування силовою комутацією груп навантаження на основі заданого алгоритму пріоритетності. Розробленню структури, схемотехнічних рішень та алгоритму роботи такої системи присвячено розділ 2 цієї роботи. [7; 12; 14]

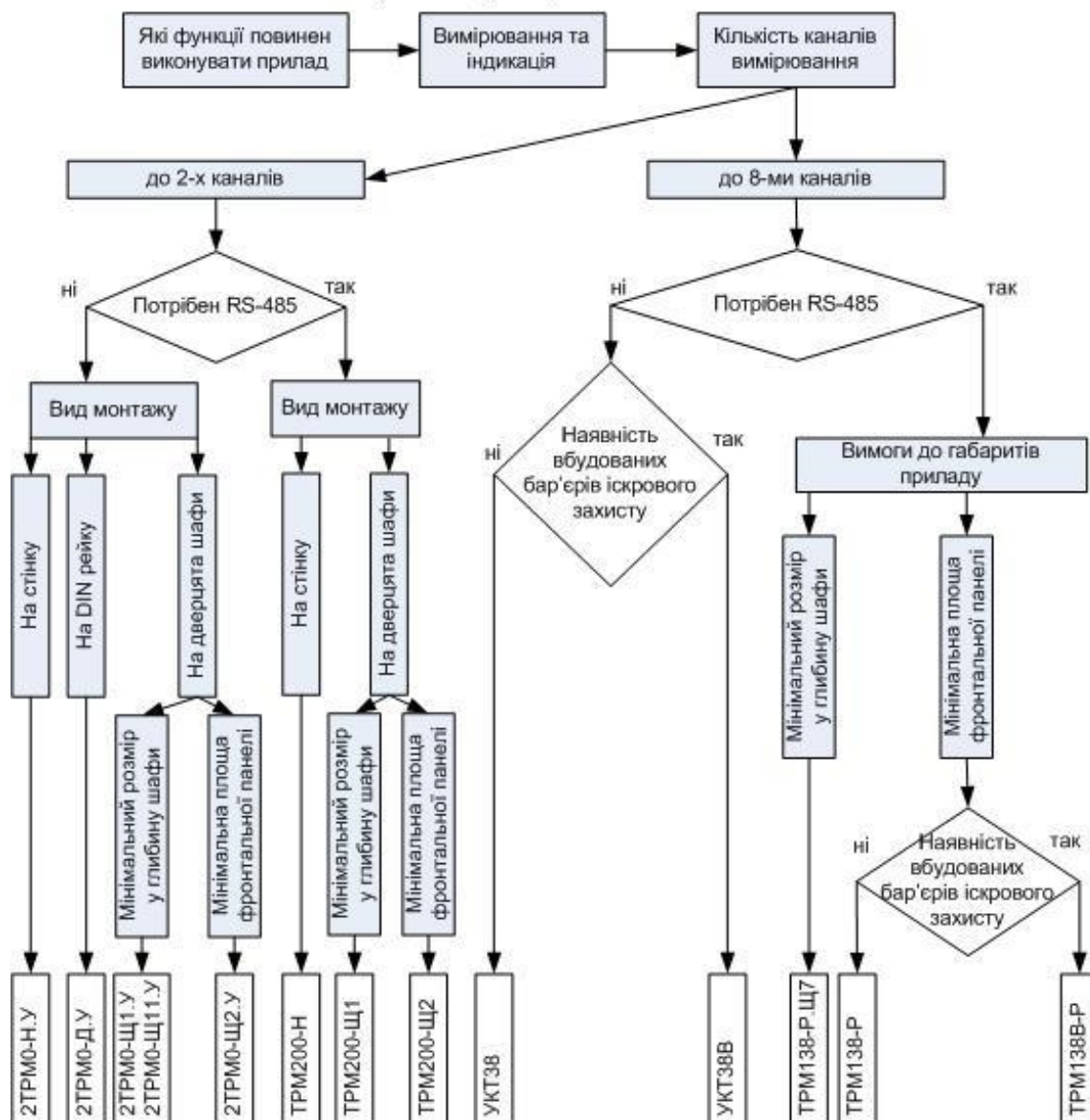


Рисунок 1.5 Алгоритм вибору вимірювачів

РОЗДІЛ 2

ТЕХНІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ТА АПАРАТНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ

2.1. Характеристика об'єкта впровадження

Як об'єкт впровадження розробленої системи розглядається приватний житловий будинок загальною площею близько 120 м², електропостачання якого забезпечується автономною гібридною сонячною електростанцією. Вихідні технічні дані об'єкта наведено в таблиці 2.1. [8; 11]

Таблиця 2.1 –; Вихідні дані об'єкта впровадження

Параметр	Значення
Установлена потужність сонячних панелей	4,0 кВт
Номінальна напруга системи накопичення	12 В (батарея AGM/гелева, 4×200 А·год)
Номінальна потужність гібридного інвертора	3000 ВА
Максимальний розрядний струм батареї	200 А
Кількість керованих груп навантаження	5
Інтерфейс зв'язку зі зовнішньою системою	RS-485, Modbus RTU

Загальна структура електропостачання будівлі передбачає розподіл усіх споживачів на п'ять груп за пріоритетом: група 1 –; життєво важливі споживачі (холодильник, циркуляційний насос опалення, освітлення основних приміщень); група 2 –; освітлення допоміжних приміщень та чергові навантаження; група 3 –; побутова техніка періодичного використання (пральна машина, посудомийна машина); група 4 –; зарядні станції та споживачі низького пріоритету; група 5 –; резервна група (теплові навантаження, бойлер). [10; 13]

2.2. Структурна схема інформаційно-вимірювальної системи

Розроблена інформаційно-вимірювальна система побудована за модульним принципом і складається з таких функціональних блоків: блок вимірювання параметрів генерації (сонячні панелі), блок вимірювання параметрів

накопичувача (акумуляторна батарея), п'ять вимірювально-комутаційних каналів навантаження, центральний мікроконтролерний блок керування та модуль зв'язку RS-485 для передавання даних у зовнішню систему диспетчеризації. [7; 9; 14; 15]

Структурна схема системи наведена на рисунку 2.1.

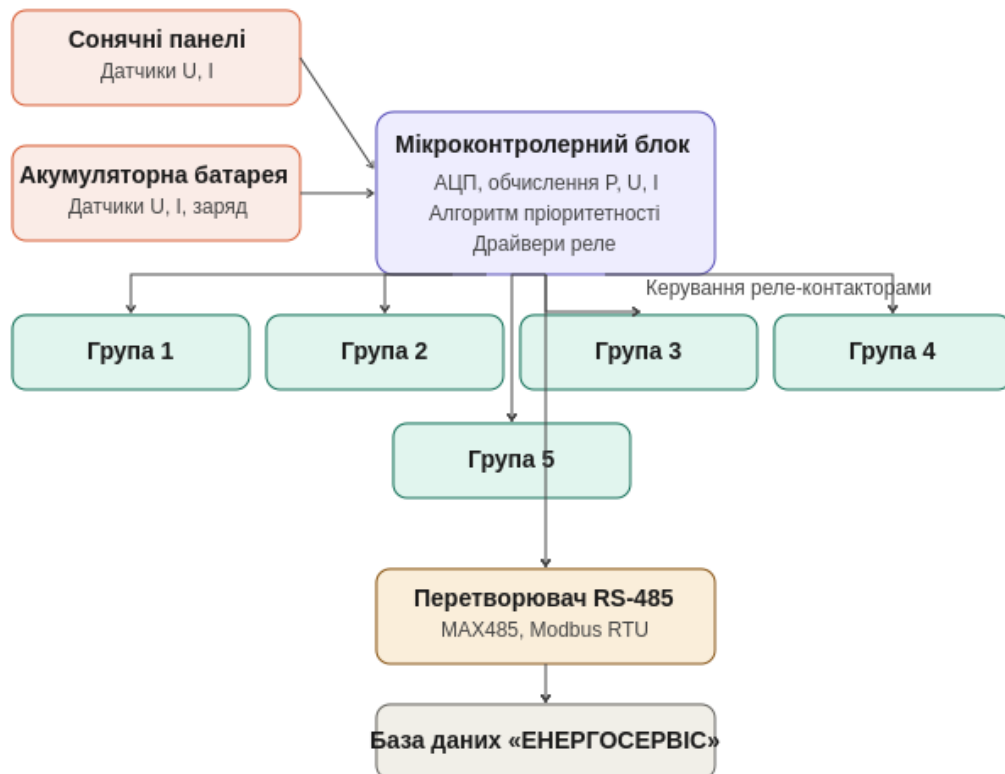


Рисунок 2.1 – Структурна схема інформаційно-вимірювальної системи

Принцип роботи системи такий: датчики струму та напруги безперервно передають аналогові сигнали, пропорційні вимірюваним величинам, на входи аналого-цифрового перетворювача мікроконтролера. Мікроконтролер обчислює діючі значення струму, напруги та активної потужності за кожним каналом, а також оцінює рівень заряду акумуляторної батареї. На основі обчислених значень та заданої таблиці пріоритетів мікроконтролер формує керівні сигнали на драйвери реле-контакторів, які комутують силові кола відповідних груп навантаження. Одночасно поточні значення вимірюваних параметрів передаються через перетворювач інтерфейсу RS-485 у формат Modbus RTU для накопичення в зовнішній базі даних. [7; 9; 12; 14; 15]

2.3. Вибір елементної бази вимірювальних каналів

2.3.1. Вимірювання струму

Для вимірювання струму в колах постійної напруги 12 В (сонячні панелі, акумуляторна батарея) та в колах груп навантаження застосовано датчики на основі ефекту Холла з гальванічною розв'язкою, що дозволяє вимірювати як постійний, так і змінний струм без розриву силового кола та без внесення додаткових втрат потужності. Вихідний сигнал датчика –; аналогова напруга, пропорційна вимірюваному струму відносно опорного рівня половини напруги живлення. [7; 12]

Перетворення вихідної напруги датчика струму у значення струму виконується за формулою [7; 12]

$$I = (U_{\text{вих}} - U_0) / S \quad (2.1)$$

де I –; миттєве значення вимірюваного струму, А; $U_{\text{вих}}$ –; миттєва напруга на виході датчика, В; U_0 –; напруга виходу датчика за нульового струму (зазвичай половина напруги живлення датчика), В; S –; чутливість датчика, В/А.

2.3.2. Вимірювання напруги

Вимірювання напруги в силових колах 12 В виконується за допомогою резистивних подільників напруги з коефіцієнтом ділення, що приводить вимірювану напругу до діапазону входу аналого-цифрового перетворювача мікроконтролера (0...3,3 В чи 0...5 В залежно від обраної платформи). Значення вимірюваної напруги обчислюється за формулою [7; 12]

$$U = U_{\text{АЦП}} \times K_{\text{д}} \quad (2.2)$$

де U –; дійсне значення вимірюваної напруги, В; $U_{\text{АЦП}}$ –; напруга на вході аналого-цифрового перетворювача, В; $K_{\text{д}}$ –; коефіцієнт ділення подільника напруги.

2.3.3. Обчислення активної потужності

Оскільки навантаження в системі є переважно активним або близьким до активного (освітлення, нагрівальні елементи, насоси з активним характером споживання), обчислення активної потужності в кожному каналі базується на визначенні середньоквадратичних значень струму та напруги з урахуванням коефіцієнта потужності. Спрощено, для активного навантаження миттєва потужність обчислюється за формулою [5; 7; 12]

$$P = U_{rms} \times I_{rms} \times \cos \varphi \quad (2.3)$$

де P —; активна потужність каналу, Вт; U_{rms} —; діюче значення напруги, В; I_{rms} —; діюче значення струму, А; $\cos \varphi$ —; коефіцієнт потужності навантаження.

Оскільки більшість побутових навантажень має коефіцієнт потужності, близький до одиниці, або вимірювання виконується в колах постійного струму, для каналів постійної напруги формула (2.3) спрощується до добутку діючих значень напруги та струму без урахування $\cos \varphi$. [7; 12]

2.4. Вибір мікроконтролерного блока керування

Центральним елементом системи є мікроконтролерний блок керування, побудований на платформі з достатньою кількістю аналогових входів для підключення восьми датчиків струму та восьми датчиків напруги (по одному на кожен з вимірювальних каналів генерації, накопичувача та п'яти груп навантаження), а також цифрових виходів для керування драйверами реле та апаратним інтерфейсом UART для зв'язку з перетворювачем RS-485. [14]

До основних вимог щодо мікроконтролерного блока належать: розрядність аналого-цифрового перетворювача не менше 10 біт для забезпечення необхідної роздільної здатності вимірювання; наявність апаратного таймера для формування часових інтервалів усереднення вимірюваних величин; достатній обсяг оперативної пам'яті для зберігання масиву миттєвих відліків під час обчислення діючих значень. [7; 14]

2.5. Силова частина: комутація груп навантаження

Комутація груп навантаження виконується за допомогою реле-контакторів, розрахованих на номінальний струм комутації, що відповідає максимальному струму відповідної групи споживачів. Для груп з малим струмом споживання (освітлення, чергові навантаження) застосовуються реле-контактори на номінальний струм 25 А при напрузі котушки керування 12 В, для груп з більшим струмом (силові навантаження, бойлер) –; реле-контактори на номінальний струм 63 А при тій самій напрузі керування. Кероване включення реле-контакторів здійснюється через транзисторні драйвери, що узгоджують логічні рівні мікроконтролера з напругою котушок реле. [2; 14]

2.6. Канал передавання даних

Для передавання даних про поточні параметри електроспоживання у зовнішню систему диспетчеризації застосовано інтерфейс RS-485 з перетворювачем на основі мікросхеми MAX485, що забезпечує гальванічну стійкість до перешкод та можливість підключення кількох пристроїв на одній лінії за протоколом Modbus RTU. Такий вибір зумовлений поширеністю протоколу Modbus RTU у промислових та побутових системах диспетчеризації, простотою його програмної реалізації та відповідністю вимогам інтеграції з автоматизованою інформаційною системою «ЕНЕРГОСЕРВІС». [9; 15]

2.7. Конструктивне виконання системи

Усі елементи апаратної частини системи (мікроконтролерний блок, драйвери реле, реле-контактори, перетворювач інтерфейсу, джерело живлення) розміщуються в щитовому корпусі розмірами 300×400×150 мм, що забезпечує захист елементів від механічних пошкоджень та пилу і відповідає вимогам до розміщення низьковольтного обладнання в розподільчих щитах. Зовнішній вигляд щитового корпусу з розміщенням основних елементів наведено на рисунку 2.2. [2; 4]

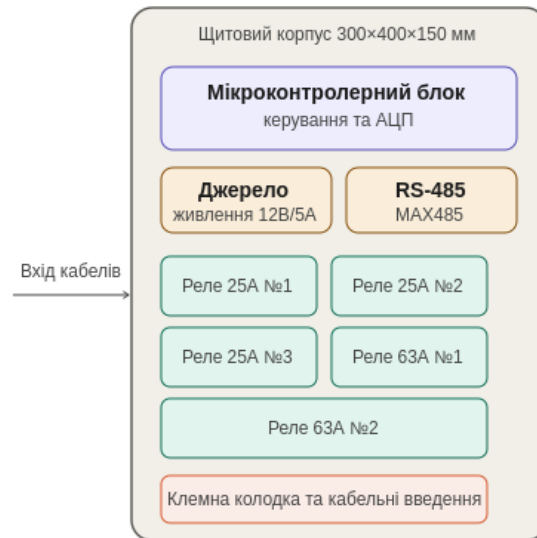


Рисунок 2.2 –; Розміщення елементів апаратної частини в щитовому корпусі

2.8. Алгоритм роботи системи управління пріоритетністю навантаження

Алгоритм роботи системи передбачає циклічне виконання таких кроків: вимірювання миттєвих значень струму та напруги за всіма каналами; обчислення діючих значень струму, напруги та активної потужності генерації, накопичувача і кожної групи навантаження; оцінювання рівня заряду акумуляторної батареї; порівняння розрахункового балансу потужності (генерація плюс допустима розрядна потужність батареї мінус сумарне споживання) з нульовим порогом; у разі дефіциту потужності –; послідовне відключення груп навантаження починаючи з найнижчого пріоритету до відновлення додатного балансу; у разі надлишку потужності та достатнього рівня заряду батареї –; послідовне підключення відключених груп починаючи з найвищого пріоритету. Блок-схема алгоритму наведена на рисунку 2.3. [10; 13; 14]

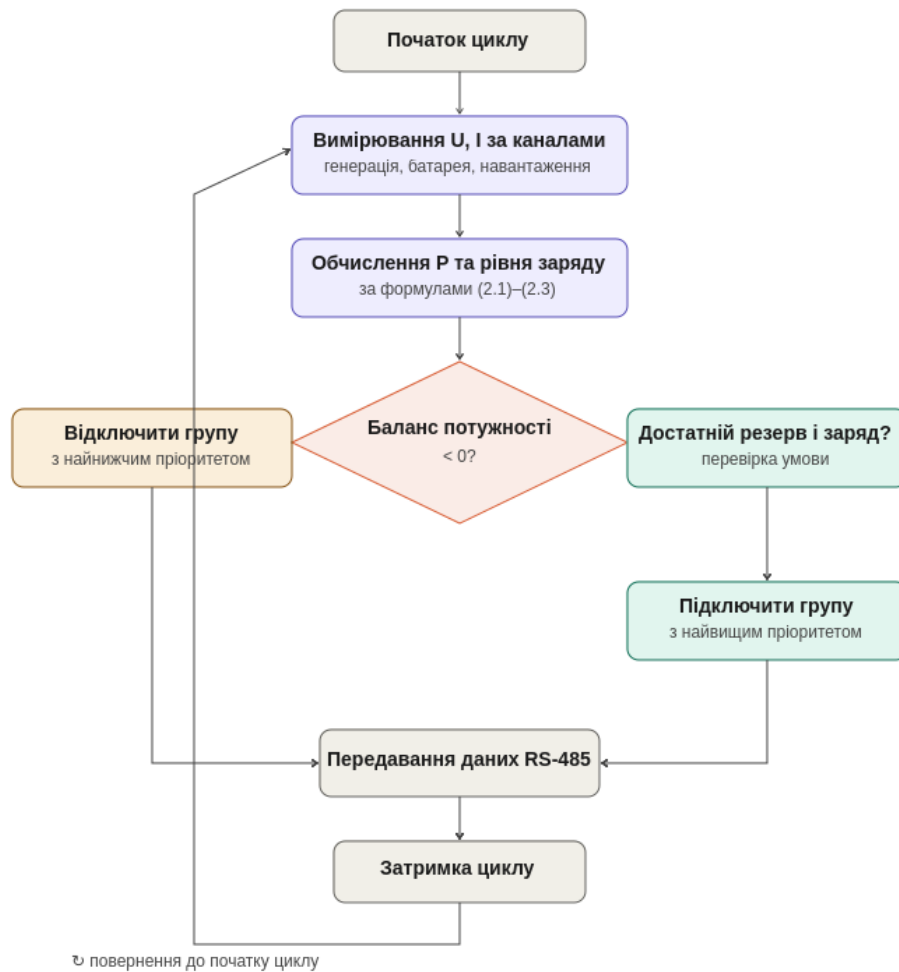


Рисунок 2.3 –; Блок-схема алгоритму управління пріоритетністю навантаження

Описана логіка дозволяє автоматично утримувати енергетичний баланс будівлі в межах можливостей сонячної електростанції та акумуляторної батареї без участі оператора, забезпечуючи при цьому пріоритетне електропостачання найважливіших споживачів. [10; 13]

Висновки до розділу 2

У розділі обґрунтовано структуру апаратного забезпечення інформаційно-вимірювальної системи для управління пріоритетністю електроспоживання, визначено склад вимірювальних каналів струму та напруги, обрано елементну базу датчиків, мікроконтролерного блока керування та силової комутації навантаження. Розроблено алгоритм автоматичного управління пріоритетністю підключення груп навантаження залежно від поточного енергетичного балансу будівлі. Визначено канал передавання даних на основі інтерфейсу RS-485 та

протоколу Modbus RTU для інтеграції розробленої системи з автоматизованою інформаційною системою «ЕНЕРГОСЕРВІС». [7; 9; 10; 12; 14; 15]

РОЗДІЛ 3

МЕТРОЛОГІЧНА ОЦІНКА ТА ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНІЧНІ АСПЕКТИ ВПРОВАДЖЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ

3.1. Джерела похибок вимірювальних каналів

Точність вимірювання параметрів електроспоживання безпосередньо впливає на коректність роботи алгоритму управління пріоритетністю навантаження, оскільки рішення про відключення чи підключення груп споживачів приймається на основі обчисленого енергетичного балансу. Похибка вимірювання струму та напруги в розробленій системі формується з кількох складових: похибки первинного перетворювача (датчика струму чи подільника напруги), похибки аналого-цифрового перетворення, похибки квантування та похибки, зумовленої температурною нестабільністю елементів. [7; 12]

Похибка датчика струму на основі ефекту Холла визначається похибкою його чутливості та похибкою встановлення нульового рівня; для типових датчиків цього класу основна похибка перетворення не перевищує $\pm 1-2\%$ від вимірюваної величини в нормальних умовах експлуатації. Похибка подільника напруги визначається допуском номіналів резисторів, що його утворюють, і за використання резисторів з допуском 1% не перевищує відповідного значення без урахування температурного дрейфу. [7; 12]

3.2. Розрахунок похибки вимірювального каналу струму

Загальна (підсумкова) похибка вимірювального каналу струму δ_I , що складається з незалежних складових, оцінюється за формулою квадратичного додавання часткових похибок [7; 12]

$$\delta_I = \sqrt{(\delta_d)^2 + (\delta_{АЦП})^2 + (\delta_{кв})^2} \quad (3.1)$$

де δ_d –; похибка датчика струму, %; $\delta_{АЦП}$ –; похибка аналого-цифрового перетворювача, %; $\delta_{кв}$ –; похибка квантування, %.

Похибка квантування для n-розрядного аналого-цифрового перетворювача визначається як [7; 12]

$$\delta_{\text{кв}} = (100) / (2^n - 1) \times (1/2) \quad (3.2)$$

де n –; розрядність аналого-цифрового перетворювача, біт.

Для аналого-цифрового перетворювача розрядністю 12 біт похибка квантування становить близько 0,012 %, що є суттєво меншим за похибку первинного датчика і практично не впливає на підсумкову похибку каналу. Підставивши характерні значення $\delta_{\text{д}} = 1,5 \%$ та $\delta_{\text{АЦП}} = 0,3 \%$ у формулу (3.1), отримуємо підсумкову похибку вимірювального каналу струму на рівні приблизно 1,53 %, що відповідає вимогам до точності обліку електроенергії для систем побутового допоміжного обліку (клас точності 1–2 за ДСТУ). [7; 12]

3.3. Розрахунок похибки вимірювального каналу потужності

Похибка вимірювання активної потужності δ_P , що обчислюється як добуток виміряних значень струму та напруги, визначається сумою часткових похибок цих величин [7; 12]

$$\delta_P = \delta_U + \delta_I \quad (3.3)$$

де δ_U –; похибка вимірювального каналу напруги, %; δ_I –; похибка вимірювального каналу струму, %.

Прийнявши похибку каналу напруги δ_U на рівні 1,1 % (з урахуванням допуску резисторів подільника та похибки АЦП) і похибку каналу струму $\delta_I = 1,53 \%$, отримуємо оцінку похибки каналу потужності на рівні близько 2,6 %. Отримане значення є прийнятним для задачі управління пріоритетністю навантаження, оскільки рішення про відключення груп споживачів приймається з певним запасом (гістерезисом) відносно порогових значень балансу потужності, що компенсує вплив зазначеної похибки на коректність роботи алгоритму. [7; 12; 13]

3.4. Метрологічне забезпечення та повірка системи

Для підтвердження метрологічних характеристик розробленої системи передбачено періодичне калібрування вимірювальних каналів за допомогою зразкових засобів вимірювання струму та напруги з відомою похибкою, що не перевищує третини похибки каліброваного каналу. Калібрування полягає у визначенні дійсних коефіцієнтів перетворення (чутливості датчиків струму, коефіцієнтів ділення подільників напруги) шляхом порівняння показів системи з показами зразкового приладу за кількох контрольних точок діапазону вимірювання та подальшого корегування програмних коефіцієнтів мікроконтролера. [7; 12]

3.5. Організаційно-технічні рекомендації щодо впровадження системи

Впровадження розробленої інформаційно-вимірювальної системи в експлуатацію передбачає виконання таких організаційно-технічних заходів: розміщення щитового корпусу системи в безпосередній близькості від точки підключення сонячної електростанції та розподільчого щита будівлі для мінімізації довжини силових з'єднань; виконання маркування та групування кабельних з'єднань відповідно до призначення кожного каналу; первинне налаштування таблиці пріоритетів груп навантаження відповідно до потреб конкретного об'єкта; проведення пробного запуску системи з контролем коректності вимірювання та комутації кожного каналу; інструктаж користувача щодо принципів роботи системи та порядку зміни пріоритетів навантаження за потреби. [2; 4; 13]

Висновки до розділу 3

Виконано метрологічну оцінку похибок вимірювальних каналів струму, напруги та потужності розробленої інформаційно-вимірювальної системи. Встановлено, що підсумкова похибка каналу струму становить близько 1,5 %, а каналу потужності –; близько 2,6 %, що є прийнятним для задачі автоматичного управління пріоритетністю навантаження. Визначено порядок метрологічного

забезпечення системи шляхом періодичного калібрування та сформульовано організаційно-технічні рекомендації щодо впровадження системи в експлуатацію. [7; 12]

РОЗДІЛ 4

РОЗРАХУНОК ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ВПРОВАДЖЕННЯ СИСТЕМИ

4.1. Визначення капітальних витрат на впровадження системи

Капітальні витрати на впровадження розробленої інформаційно-вимірювальної системи включають вартість елементної бази вимірювальних каналів, мікроконтролерного блока керування, силових комутаційних елементів, конструктивних виробів та монтажних матеріалів. Перелік та вартість основних складових системи наведено в таблиці 4.1. [13; 14]

Таблиця 4.1 –; Кошторис витрат на обладнання та монтаж системи

Найменування	Кількість, шт	Ціна за од., грн	Сума, грн
Датчик струму на ефекті Холла	7	180	1260
Датчик напруги (подільник + модуль)	7	60	420
Мікроконтролерний блок керування	1	1450	1450
Реле-контактор 25А/12В	4	380	1520
Реле-контактор 63А/12В	2	620	1240
Трансивер RS-485 (MAX485)	1	30	30
Джерело живлення 12В/5А	1	420	420
Корпус щитовий 300×400×150	1	850	850
Кабель, клеми, монтажні матеріали	–	–	3700
Монтажно-налагоджувальні роботи	–	–	1565
Разом			12455

Отже, загальні капітальні витрати на впровадження інформаційно-вимірювальної системи управління пріоритетністю електроспоживання становлять 12 455 грн.

4.2. Оцінювання очікуваного економічного ефекту

Економічний ефект від впровадження системи формується за рахунок підвищення ефективності використання енергії автономної гібридної сонячної електростанції: зниження частоти глибоких розрядів акумуляторної батареї (що подовжує строк її служби та зменшує витрати на заміну), а також скорочення

витрат на резервне підживлення батареї від мережі чи генератора завдяки раціональному розподілу навантаження протягом доби. [8; 10; 11; 13]

Річний економічний ефект E_p від впровадження системи визначається як сума складових ефекту від подовження строку служби акумуляторної батареї та від скорочення витрат на резервне електропостачання [13]

$$E_p = E_b + E_{p.e} \quad (4.1)$$

де E_b –; складова економічного ефекту від подовження строку служби акумуляторної батареї, грн/рік; $E_{p.e}$ –; складова економічного ефекту від скорочення витрат на резервне електропостачання, грн/рік.

За результатами розрахунку для розглянутого об'єкта (з урахуванням вартості заміни групи акумуляторних батарей, очікуваного подовження строку їх служби на 15–20 % завдяки виключенню режимів глибокого розряду, а також скорочення споживання від резервного джерела) річний економічний ефект становить

$$E_p = 20\,037 \text{ грн/рік.}$$

4.3. Розрахунок терміну окупності

Простий термін окупності $T_{ок}$ визначається відношенням капітальних витрат до річного економічного ефекту [13]

$$T_{ок} = K / E_p \quad (4.2)$$

де K –; капітальні витрати на впровадження системи, грн; E_p –; річний економічний ефект, грн/рік.

Підставивши значення капітальних витрат $K = 12\,455$ грн та річного економічного ефекту $E_p = 20\,037$ грн/рік у формулу (4.2), отримуємо

$$T_{ок} = 12\,455 / 20\,037 \approx 0,62 \text{ року} \approx 7,5 \text{ місяця.}$$

4.4. Розрахунок чистого приведеного доходу

Для оцінювання довгострокової інвестиційної привабливості проекту виконано розрахунок чистого приведеного доходу (NPV) за горизонтом 10 років при ставці дисконтування 15 %, що відповідає типовому рівню ризику для проектів у сфері відновлюваної енергетики в Україні. Чистий приведений дохід обчислюється за формулою [13]

$$NPV = -K + \sum_{t=1}^{n} E_p / (1 + r)^t \quad (4.3)$$

де K –; капітальні витрати, грн; E_p –; річний економічний ефект, грн/рік; r –; ставка дисконтування; n –; горизонт розрахунку, років; t –; порядковий номер року.

Виконавши розрахунок за формулою (4.3) для $n = 10$ років, $r = 0,15$, отримуємо

$$NPV = -12\,455 + 20\,037 \times [1 - (1 + 0,15)^{-10}] / 0,15 \approx 88\,116 \text{ грн.}$$

Додатне значення чистого приведеного доходу підтверджує економічну доцільність впровадження розробленої інформаційно-вимірювальної системи.

4.5. Аналіз отриманих результатів

Результати виконаних розрахунків зведено в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 –; Основні техніко-економічні показники проекту

Показник	Значення
Капітальні витрати на впровадження	12 455 грн
Очікуваний річний економічний ефект	20 037 грн/рік
Простий термін окупності	7,5 місяця
Чистий приведений дохід за 10 років ($r = 15\%$)	88 116 грн

Отримані показники свідчать про високу інвестиційну привабливість проекту: термін окупності менше одного року є значно нижчим за типовий горизонт окупності енергетичного обладнання (3–5 років), а додатне значення чистого приведеного доходу за 10-річний період підтверджує економічну ефективність впровадження розробленої системи в експлуатацію. [13]

Висновки до розділу 4

Виконано розрахунок капітальних витрат на впровадження інформаційно-вимірювальної системи управління пріоритетністю електроспоживання, які становлять 12 455 грн. Визначено очікуваний річний економічний ефект на рівні 20 037 грн/рік, що забезпечує простий термін окупності 7,5 місяця. Розрахований чистий приведений дохід за 10 років при ставці дисконтування 15 % становить 88 116 грн, що підтверджує високу інвестиційну привабливість запропонованого технічного рішення. [13]

РОЗДІЛ 5

ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА ПРИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМ

5.1. Охорона праці в електроенергетичних системах

Охорона праці є невід’ємною складовою частиною будь-якої технічної діяльності, пов’язаної з обслуговуванням електроенергетичних установок. Правова база в Україні в цій сфері включає Закон України «Про охорону праці» від 14.10.1992 № 2694-XII, Правила улаштування електроустановок (ПУЕ), Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів (ПБЕЕС), ДСТУ EN 50110:2017 «Експлуатація електричних установок» та інші чинні нормативні документи, що встановлюють вимоги до безпечного проєктування, монтажу та обслуговування електротехнічного обладнання. [1; 2; 3; 4]

Розроблена в роботі інформаційно-вимірювальна система працює із силовими колами постійної напруги 12 В (сторона сонячних панелей, акумуляторної батареї та комутації навантаження на стороні контролера) та змінної напруги 220 В (вихід гібридного інвертора, лінії живлення груп навантаження будівлі). Незважаючи на те, що напруга 12 В належить до категорії малих напруг і за нормальних умов не створює небезпеки прямого електричного удару для людини, акумуляторна батарея здатна віддавати значний струм короткого замикання (до сотень ампер), що створює ризик термічних опіків, пошкодження обладнання та виникнення пожежі в разі короткого замикання чи помилкового монтажу. Кола змінної напруги 220 В становлять стандартну небезпеку електричного удару, характерну для побутових і виробничих електроустановок. [2; 3; 4]

5.2. Вимоги безпеки під час монтажу системи

Під час монтажу інформаційно-вимірювальної системи необхідно дотримуватися таких вимог безпеки: монтаж силових кіл виконується лише за відключеного живлення від сонячних панелей (закриті панелі

світлонепроникним матеріалом або від'єднані від контролера заряду) та від'єднаної акумуляторної батареї; перед початком робіт виконується перевірка відсутності напруги вимірювальним прибором на всіх ділянках кола, з якими передбачено контакт; з'єднання силових кіл постійного струму виконуються кабелем достатнього перерізу з урахуванням максимального робочого струму та допустимого падіння напруги, з обов'язковим встановленням запобіжників або автоматичних вимикачів на ділянках між акумуляторною батареєю та комутаційними елементами; усі металеві неструмовідні частини щитового корпусу та кріплення підлягають захисному заземленню чи зрівнюванню потенціалів відповідно до вимог ПУЕ; робота з паяльним та монтажним інструментом виконується з використанням засобів індивідуального захисту (діелектричні рукавички за потреби, захисні окуляри під час паяння). [2; 3; 4]

Особливу увагу при монтажі слід приділяти запобіганню коротким замиканням на стороні акумуляторної батареї, оскільки високий струм короткого замикання здатний спричинити швидкий нагрів провідників, пошкодження ізоляції та виникнення пожежі. Для цього передбачено встановлення запобіжника безпосередньо на виводі акумуляторної батареї з номінальним струмом, що дещо перевищує максимальний робочий струм системи. [2; 3]

5.3. Вимоги безпеки під час експлуатації системи

Під час експлуатації розробленої системи повинні виконуватися такі вимоги: періодичний візуальний огляд стану кабельних з'єднань, контактних з'єднань реле-контакторів та цілісності корпусу системи; контроль температурного режиму силових елементів (реле-контакторів, з'єднувальних клем) під час максимального навантаження для своєчасного виявлення ослаблених контактних з'єднань; недопущення потрапляння вологи та сторонніх предметів усередину щитового корпусу; обмеження доступу до внутрішніх елементів системи особами, які не мають відповідної кваліфікаційної групи з електробезпеки. [2; 3; 4]

До обслуговування системи, пов'язаного з розкриттям щитового корпусу та виконанням робіт у силових колах, допускаються особи, які пройшли навчання з питань охорони праці, мають групу з електробезпеки відповідно до вимог ПБЕЕС та проінструктовані щодо принципу роботи й особливостей конкретної системи. [1; 3; 4]

5.4. Заходи пожежної безпеки

Для зниження ризику виникнення пожежі під час експлуатації системи передбачено такі заходи: застосування кабельної продукції з ізоляцією, що не поширює горіння; встановлення запобіжників на всіх силових лініях постійного струму; розміщення щитового корпусу на негорючій основі з дотриманням припустимих відстаней до горючих матеріалів та конструкцій будівлі; забезпечення вентиляційних отворів корпусу для відведення тепла від силових елементів під час тривалого навантаження. [1; 2; 3]

Основним вражаючим фактором в електроенергетиці є електричний струм. Для захисту від високої напруги співробітники енергетичних підприємств повинні використовувати такі засоби індивідуального , як діелектричні боти і діелектричні рукавички. Діелектричні боти захищають ноги працівника від контакту з землею, а отже не дають струму проходити через тіло при проведенні електромонтажних і ремонтних робіт. Діелектричні боти здатні витримати 15 кіловольт і є ефективним засобом індивідуального захисту.

Використання знаків безпеки на електрообладнанні та установках викликано необхідністю забезпечення заборони відключення або включення напруги в процесі проведення планових ремонтних робіт. За своїм характером вони класифікуються на:

- Попереджувальні;
- забороняючі;
- приписуючі;
- вказуючі.

5.5. Електромагнітна безпека та вплив на навколишнє середовище

Робота мікроконтролерного блока та перетворювача інтерфейсу RS-485 супроводжується незначним рівнем електромагнітного випромінювання, що відповідає вимогам електромагнітної сумісності для побутового та комерційного обладнання. Застосування екранованого кабелю для лінії RS-485 та правильне заземлення екрана дозволяють додатково знизити рівень випромінюваних і прийнятих перешкод, підвищуючи стійкість каналу передавання даних до впливу зовнішніх електромагнітних полів, зокрема від силових кіл комутації навантаження. [4; 9; 15]



Рисунок 5.1. Робота електромонтерів під виконання робіт

Висновки до розділу 5

Розглянуто вимоги охорони праці та безпеки під час монтажу й експлуатації розробленої інформаційно-вимірювальної системи. Визначено основні небезпечні фактори, пов'язані з роботою силових кіл постійної напруги 12 В акумуляторної батареї та змінної напруги 220 В мережі будівлі, а також сформульовано конкретні заходи щодо запобігання електротравматизму, виникненню коротких замикань та пожеж. Встановлено вимоги до кваліфікації персоналу, який допускається до обслуговування системи, та визначено заходи забезпечення електромагнітної сумісності розробленого обладнання. [1; 2; 3; 4]

ВИСНОВКИ

У результаті виконання бакалаврської роботи розроблено інформаційно-вимірювальну систему для управління пріоритетністю електроспоживання в будівлях з автономними гібридними сонячними електростанціями, яка забезпечує безперервний збір даних про параметри електропостачання та автоматичне керування підключенням груп навантаження відповідно до заданого пріоритету. За результатами роботи можна сформулювати такі основні висновки:

1. Виконано аналіз сучасних систем обліку паливно-енергетичних ресурсів та засобів автоматизації енергетичного моніторингу, який показав, що існуючі рішення переважно обмежуються функцією пасивного відображення параметрів і не забезпечують автоматичного управління розподілом навантаження відповідно до наявного енергетичного ресурсу автономної сонячної електростанції.

2. Обґрунтовано структуру апаратного забезпечення інформаційно-вимірювальної системи, що включає вимірювальні канали струму на основі датчиків ефекту Холла, канали вимірювання напруги на основі резистивних подільників, мікроконтролерний блок керування, силові комутаційні елементи на основі реле-контакторів номінальним струмом 25 А та 63 А, а також канал передавання даних за інтерфейсом RS-485 з протоколом Modbus RTU.

3. Розроблено алгоритм автоматичного управління пріоритетністю електроспоживання, який забезпечує послідовне відключення груп навантаження за дефіциту потужності генерації та акумуляторної батареї, починаючи з найнижчого пріоритету, та автоматичне підключення груп за відновлення достатнього енергетичного балансу.

4. Виконано метрологічну оцінку похибок вимірювальних каналів системи: встановлено, що підсумкова похибка каналу струму становить близько 1,5 %, а каналу активної потужності –; близько 2,6 %, що відповідає вимогам до точності засобів допоміжного обліку електроенергії та є прийнятним для коректної роботи алгоритму управління навантаженням.

5. Розраховано економічну ефективність впровадження розробленої системи: капітальні витрати становлять 12 455 грн, очікуваний річний економічний ефект –; 20 037 грн/рік, простий термін окупності –; 7,5 місяця, чистий приведений дохід за 10 років при ставці дисконтування 15 % –; 88 116 грн, що підтверджує високу інвестиційну привабливість запропонованого технічного рішення.

6. Розглянуто питання охорони праці та безпеки під час монтажу й експлуатації системи, визначено основні небезпечні фактори та сформульовано конкретні заходи щодо запобігання електротравматизму та пожежної безпеки.

Отже, поставлену в роботі мету досягнуто: розроблено інформаційно-вимірювальну систему, яка дозволяє підвищити ефективність використання енергії автономної гібридної сонячної електростанції та автоматизувати процес управління пріоритетністю електроспоживання в житловій будівлі без участі оператора. Результати роботи можуть бути використані під час проєктування систем енергетичного менеджменту для об'єктів, оснащених автономними та гібридними джерелами відновлюваної енергії, а також інтегровані з автоматизованою інформаційною системою «ЕНЕРГОСЕРВІС».

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Про охорону праці: Закон України від 14.10.1992 № 2694-ХІІ. Відомості Верховної Ради України. 1992. № 49. Ст. 668 (зі змінами).
2. Правила улаштування електроустановок. Київ: Міненерговугілля України, 2017. 617 с.
3. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів: НПАОП 40.1-1.21-98. Київ: Держнаглядохоронпраці, 1998.
4. ДСТУ EN 50110-1:2017. Експлуатація електричних установок. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2017.
5. ДСТУ 2843-94. Електротехніка. Основні поняття. Терміни та визначення. Київ: Держстандарт України, 1994.
6. ДСТУ 3008:2015. Інформація та документація. Звіти у сфері науки і техніки. Структура та правила оформлювання. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2016.
7. Жук М. М., Пилипенко Ю. В. Метрологія та вимірювальна техніка: підручник. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2018. 372 с.
8. Тонкаль В. Є., Новський В. О., Лазебник Б. Є. Електропостачання та електроустаткування об'єктів з відновлюваними джерелами енергії: навч. посібник. Київ: Наукова думка, 2019. 284 с.
9. Кутін В. М., Шпачук В. П. Технологія Modbus у системах промислової автоматизації: навч. посібник. Харків: ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2020. 156 с.
10. Стогній Б. С., Кириленко О. В. Розумні мережі електропостачання та системи акумулювання енергії: монографія. Київ: Інститут електродинаміки НАН України, 2021. 296 с.
11. Гераскін О. А. Сонячна енергетика: технології, обладнання, перспективи: навч. посібник. Одеса: ОНПУ, 2019. 212 с.
12. Цапенко Є. Ф. Електричні вимірювання неелектричних величин: навч. посібник. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. 188 с.
13. Левченко О. А., Дешко В. І. Енергетичний менеджмент: підручник. Київ: КНУБА, 2021. 304 с.

14. Допіра Б. В., Кравченко О. П. Мікроконтролерні системи керування: навч. посібник. Вінниця: ВНТУ, 2019. 196 с.
15. Modbus Organization. Modbus Application Protocol Specification V1.1b3. North Grafton: Modbus Organization, 2012. 50 p.