

СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ
ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ

Факультет інформаційних технологій та електроніки

Кафедра інформаційних технологій та програмування

Пояснювальна записка
до магістерської дипломної роботи

магістр

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему: Автоматична система керування режимами енергоспоживання побутових електронних приладів

Виконав: студент 2 курсу, групи ЕЛ-24дм
171 «Електроніка»

(шифр і назва спеціальності)

Протовень О.І

(прізвище та ініціали)

Керівник Зінченко В.Л.

(прізвище та ініціали)

Рецензент Іванов В.Г.

(прізвище та ініціали)

Київ – 2025 року

СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ
ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ

Факультет інформаційних технологій та електроніки
Кафедра інформаційних технологій та програмування
Освітньо-кваліфікаційний рівень магістр
Спеціальність 171 «Електроніка»
(шифр і назва спеціальності)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ІТП

_____ д.т.н., проф.Захожай О.І.

(підпис)

« ____ » _____ 2025 р.

ЗАВДАННЯ

на магістерську дипломну роботу студенту

Протовень Олексій Ігорович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Автоматична система керування режимами енергоспоживання побутових електронних приладів
керівник роботи к.т.н., Зінченко Володимир Леонідович,
(вчене звання, науковий ступінь, прізвище, ім'я, по батькові)

затверджені наказом університету від « 28 » 11 2025 року № 241/17.03

2. Строк подання студентом роботи: 21 грудня 2025 р.

3. Вихідні дані до роботи: Матеріали науково-дослідної практики, науково-методична література, дані інтернет-мережі

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

4.1 Вступ

4.2 Аналітичний огляд питання (огляд публічних джерел інформації)

4.3 Основна частина, в якій висвітлити методи, які будуть використовуватися для реалізації проекту.

4.4 Практична частина – огляд технологій, які використовуються під час реалізації проекту.

4.4 Висновки

4.5 Перелік використаних джерел

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

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв

7. Дата видачі завдання 05.11. 2025р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Одержання завдання на виконання роботи	05.11.2025	<i>виконано</i>
2.	Укладання і погодження з керівником плану і етапів виконання роботи	08.11.2025	<i>виконано</i>
3.	Узагальнення даних літературних джерел	12.11.2025	<i>виконано</i>
4.	Аналіз шляхів виконання завдання. Вибір і погодження з керівником оптимального шляху виконання завдання	18.11.2025	<i>виконано</i>
5.	Аналіз технічних засобів та існуючих систем	22.11.2025	<i>виконано</i>
6.	Реалізація практичної частини завдання	07.12.2025	<i>виконано</i>
7.	Укладання, оформлення та погодження пояснювальної записки з керівником	17.12.2025	<i>виконано</i>
8.	Надання пояснювальної записки на кафедру	18.12.2025	<i>виконано</i>
9.	Підготовка доповіді та презентації	22.12.2025	<i>виконано</i>

Студент _____ Протовень О.І.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____ Зінченко В.Л.
(підпис) (прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: сторінок 69, рисунків 9, таблиць 9.

Тема наукової роботи: Автоматична система керування режимами енергоспоживання побутових електронних приладів .

Об'єкт дослідження: є процеси споживання електроенергії побутовими електронними приладами.

Мета роботи: розробка та аналіз автоматичної системи, яка забезпечує раціональне керування режимами роботи побутових електронних приладів залежно від рівня споживання електроенергії

Що потрібно зробити в процесі роботи: розробити систему, яка буде контролювати та керувати електронними приладами та вести спостереження та регулювання електричного навантаження.

ЗМІСТ

ВСТУП	1
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ СИСТЕМ	
КОНТРОЛЮ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ ПОБУТОВИХ ПРИЛАДІВ	3
1.1 Принципи та методи контролю електроенергії у побутових системах	3
1.2 Існуючі апаратно-програмні рішення для енергомоніторингу в «розумних будинках»	7
1.3 Порівняльний аналіз технологій вимірювання та збору даних про споживання	11
1.4 Визначення основних вимог до системи контролю побутового енергоспоживання	15
Висновки до розділу 1	18
РОЗДІЛ 2 РОЗРОБКА ВЛАСНОЇ СИСТЕМИ	
КОНТРОЛЮ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ ПОБУТОВИХ ПРИЛАДІВ	20
2.1 Мета, постановка задачі та концепція системи	20
2.2 Структурна схема та вибір компонентів	24
2.3 Алгоритм функціонування системи та програмна реалізація	30
2.4 Збір, аналіз та візуалізація даних про енергоспоживання	35

2.5 Практичні рекомендації щодо зниження енергоспоживання	39
Висновки до розділу 2	42
РОЗДІЛ 3 АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ СИСТЕМИ	44
3.1 Оцінка ефективності розробленої системи	44
3.2 Переваги, обмеження та напрями вдосконалення	47
3.3 Аналіз роботи системи при різних режимах навантаження	50
Висновки до розділу 3	53
ВИСНОВКИ	55
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	58

ВСТУП

Побутові електронні прилади відіграють провідну роль у забезпеченні комфортних умов життя сучасної людини. Практично кожне житлове приміщення оснащене значною кількістю електропристроїв, які працюють у різних режимах і з різною інтенсивністю. Постійне зростання кількості такої техніки, а також збільшення її потужності призводять до підвищення загального рівня споживання електроенергії та створюють додаткове навантаження на електричні мережі.

У більшості випадків керування режимами роботи побутових електронних приладів здійснюється користувачем вручну або за допомогою простих засобів автоматизації, таких як таймери чи вбудовані регулятори. Подібні рішення не враховують змінні умови електропостачання, нерівномірність навантаження протягом доби, а також пріоритетність окремих приладів. Це призводить до ситуацій, коли електроенергія використовується нераціонально, особливо в години пікового споживання.

Розвиток електронних інформаційних систем, мікроконтролерних платформ, засобів збору даних і комунікаційних технологій створює умови для впровадження більш гнучких та інтелектуальних систем керування енергоспоживанням. Такі системи здатні автоматично аналізувати параметри роботи електроприладів, стан електричної мережі та зовнішні умови, після чого формувати керуючі впливи без постійної участі користувача.

Актуальність даної магістерської роботи обумовлена потребою у зменшенні енергоспоживання в побутовому секторі, підвищенні ефективності використання електричної енергії та зниженні навантаження на електричні мережі. Автоматичні системи керування режимами енергоспоживання дозволяють оптимізувати роботу побутових електронних приладів з урахуванням часу доби, поточного рівня споживання та стану

мережі, що відкриває можливості для впровадження енергоощадних рішень у житлових приміщеннях.

Метою магістерської роботи є розробка та аналіз автоматичної системи, яка забезпечує раціональне керування режимами роботи побутових електронних приладів залежно від рівня споживання електроенергії, часу доби, навантаження та стану електричної мережі з метою зниження енергозатрат і підвищення ефективності використання електроенергії.

Для досягнення поставленої мети у роботі передбачається виконання аналізу особливостей енергоспоживання побутових електронних приладів, дослідження існуючих підходів до автоматичного керування навантаженням, розробка структури та алгоритмів функціонування автоматичної системи, а також оцінка ефективності її роботи при різних режимах навантаження.

Об'єктом дослідження є процеси споживання електричної енергії побутовими електронними приладами у житлових приміщеннях. Предметом дослідження є методи та засоби автоматичного керування режимами роботи побутових електронних приладів на основі аналізу параметрів енергоспоживання та стану електричної мережі.

Практичне значення отриманих результатів полягає у можливості використання розробленої системи як складової рішень класу Smart Home, а також у перспективі її адаптації для застосування в житлових і офісних приміщеннях з метою підвищення енергоефективності.

РОЗДІЛ 1

ДОСЛІДЖЕННЯ ІСНУЮЧИХ СИСТЕМ

1.1 Принципи та методи контролю електроенергії у побутових системах

Контроль електроенергії у побутових системах є основою для побудови ефективних автоматизованих рішень керування енергоспоживанням. Побутові електронні прилади відрізняються за характером навантаження, режимами роботи, тривалістю використання та чутливістю до змін параметрів електричної мережі. Саме тому організація контролю споживання електроенергії потребує комплексного підходу, який враховує як електротехнічні, так і інформаційні аспекти функціонування системи.

У найзагальнішому вигляді контроль електроенергії полягає у вимірюванні основних електричних параметрів, до яких належать напруга, струм, активна та реактивна потужність, а також кількість спожитої електричної енергії за певний проміжок часу. Отримані дані використовуються для аналізу режимів роботи приладів, виявлення пікових навантажень і формування керуючих рішень [1, с. 6–8].

Одним із базових принципів контролю електроспоживання є безперервність збору даних. У традиційних побутових системах облік електроенергії здійснюється за допомогою лічильників, які фіксують лише сумарне споживання за тривалий період часу. Такий підхід не дозволяє отримати інформацію про роботу окремих приладів та їхній вплив на загальне навантаження. Сучасні системи контролю орієнтовані на безперервний або квазіреальний моніторинг параметрів електроспоживання з малим часовим кроком, що значно підвищує інформативність даних [4, с. 12–14].

Іншим важливим принципом є локалізація споживання, яка передбачає вимірювання параметрів електроенергії не лише на вводі в будинок, а й на рівні окремих груп споживачів або конкретних електронних приладів. Це дозволяє визначити енергоємні елементи побутової системи, оцінити їхній вплив на загальний баланс та сформувані пріоритети керування [5, с. 21–23].

Методи контролю електроенергії у побутових системах можна умовно поділити на апаратні та програмні. Апаратні методи базуються на використанні вимірювальних пристроїв і датчиків, які забезпечують зняття електричних параметрів. До них належать струмові трансформатори, шунти, датчики Холла та інтегровані вимірювальні модулі. Вибір конкретного типу датчика залежить від діапазону струмів, необхідної точності та умов експлуатації [7, с. 18–20].

Програмні методи контролю полягають в обробці отриманих вимірювальних даних, їх фільтрації, усередненні та збереженні у базах даних. Такі методи дозволяють визначати динаміку споживання, формувати добові та тижневі профілі навантаження, а також виявляти аномальні режими роботи побутових приладів. Використання програмних засобів обробки даних значно розширює можливості аналізу та створює основу для автоматичного керування енергоспоживанням [10, с. 4–6].

У побутових системах дедалі більшого поширення набуває принцип інтеграції контролю електроенергії з інформаційними системами керування. У таких рішеннях дані з датчиків передаються до центрального контролера або серверної частини системи, де здійснюється їх обробка та прийняття рішень. Передача інформації може здійснюватися як дротовими, так і бездротовими каналами зв'язку, що дозволяє гнучко масштабувати систему та адаптувати її до конкретних умов житлового приміщення [15, с. 9–11].

Окрему групу методів контролю становлять непрямі способи оцінювання електроспоживання, які базуються на аналізі режимів роботи

приладів без прямого вимірювання струму для кожного з них. Такі методи використовують характерні сигнатури навантаження та статистичні алгоритми для визначення активності окремих споживачів. Незважаючи на нижчу точність у порівнянні з прямими вимірюваннями, вони дозволяють зменшити апаратну складність системи [16, с. 27–29].

Узагальнюючи, можна зазначити, що ефективний контроль електроенергії у побутових системах ґрунтується на поєднанні точних вимірювальних засобів, програмної обробки даних та інтеграції з автоматизованими системами керування. Саме така комбінація створює передумови для раціонального використання електроенергії та подальшого впровадження інтелектуальних методів керування побутовими електронними приладами [3, с. 15–17].

Ще одним важливим напрямом розвитку методів контролю електроенергії у побутових системах є використання багатопараметричного аналізу споживання. На відміну від традиційного обліку лише активної енергії, сучасні системи контролю враховують одночасно декілька параметрів, зокрема миттєву потужність, коефіцієнт потужності, форму струму та напруги. Такий підхід дозволяє більш точно ідентифікувати тип навантаження та оцінити реальний вплив конкретного приладу на електричну мережу [8, с. 34–36].

У побутових електронних приладах широко застосовуються імпульсні джерела живлення, які створюють нелінійні навантаження. Це призводить до появи гармонічних складових струму та спотворення форми напруги в мережі. Методи контролю електроенергії, що не враховують ці особливості, можуть давати спрощену або неточну оцінку реального енергоспоживання. Тому в сучасних системах контролю дедалі частіше використовуються алгоритми аналізу гармонік та цифрові методи обробки сигналів [9, с. 41–43].

Суттєву роль у контролі електроспоживання відіграє часовий фактор. Побутові прилади працюють у різні періоди доби з різною інтенсивністю, що формує характерні добові та тижневі графіки навантаження. Методи контролю, орієнтовані на часовий аналіз, дозволяють визначати пікові години споживання, періоди простою та можливості для оптимізації режимів роботи приладів. Такі дані є базою для подальшого впровадження керування за часом доби та адаптивних сценаріїв енергоспоживання [18, с. 52–54].

Важливим аспектом контролю електроенергії у побутових системах є надійність і точність вимірювань. Побутові умови експлуатації характеризуються перепадами температури, електромагнітними завадами та нестабільністю напруги. Це накладає додаткові вимоги до вимірювальних пристроїв і методів обробки даних. Застосування цифрової фільтрації, калібрування датчиків та корекції похибок дозволяє підвищити достовірність отриманих результатів і забезпечити стабільну роботу системи контролю [14, с. 19–21].

Окремої уваги заслуговує питання сумісності систем контролю електроенергії з іншими побутовими автоматизованими системами. У сучасних житлових приміщеннях одночасно функціонують системи освітлення, клімат-контролю, безпеки та мультимедіа. Інтеграція контролю енергоспоживання з такими системами дозволяє отримати цілісну картину використання ресурсів і реалізувати комплексні сценарії автоматичного керування. Для цього застосовуються стандартизовані протоколи обміну даними та відкриті програмні інтерфейси [20, с. 11–13].

Також слід відзначити роль користувацького рівня в системах контролю електроенергії. Незважаючи на автоматизацію більшості процесів, доступ до інформації про споживання у зручному вигляді підвищує усвідомленість користувачів і сприяє формуванню енергоощадної поведінки. Візуалізація даних у вигляді графіків, діаграм і статистичних звітів є

важливим доповненням до апаратних і програмних методів контролю [29, с. 6–8].

Підсумовуючи, можна зазначити, що принципи та методи контролю електроенергії у побутових системах поступово еволюціонують від простого обліку до комплексних багаторівневих рішень. Поєднання точних вимірювальних засобів, часово-орієнтованого аналізу, цифрової обробки сигналів та інтеграції з інформаційними системами створює основу для побудови ефективних автоматичних систем керування енергоспоживанням побутових електронних приладів [4, с. 27–29].

1.2 Існуючі апаратно-програмні рішення для енергомоніторингу в «розумних будинках»

Розвиток концепції «розумного будинку» суттєво вплинув на підходи до контролю та керування енергоспоживанням у побутових системах. На відміну від традиційних систем обліку електроенергії, сучасні апаратно-програмні рішення орієнтовані на детальний моніторинг роботи окремих електронних приладів, аналіз режимів їх функціонування та інтеграцію з автоматизованими системами керування. Такі рішення поєднують у собі апаратні засоби вимірювання, програмні модулі обробки даних та користувацькі інтерфейси [4, с. 9–11].

Апаратна складова систем енергомоніторингу в «розумних будинках» зазвичай включає датчики струму та напруги, мікроконтролери або вбудовані обчислювальні модулі, а також пристрої передачі даних. Датчики можуть встановлюватися як на загальному вводі електропостачання, так і на окремих групах споживачів або безпосередньо на побутових приладах. Такий підхід дозволяє отримувати детальну інформацію про структуру енергоспоживання та виявляти найбільш енергоємні елементи системи [7, с. 22–24].

У сучасних рішеннях широкого застосування набули мікроконтролерні платформи, які забезпечують первинну обробку вимірювальних сигналів і формування даних для подальшого аналізу. Завдяки достатній обчислювальній потужності та наявності вбудованих інтерфейсів зв'язку такі платформи дозволяють реалізувати гнучкі алгоритми збору й передачі інформації в режимі реального часу. Це створює основу для побудови масштабованих систем енергомоніторингу, які можуть розширюватися залежно від потреб користувача [10, с. 5–7].

Програмна частина апаратно-програмних рішень виконує функції збору, збереження та аналізу даних про енергоспоживання. Програмне забезпечення може бути реалізоване у вигляді локальних застосунків, серверних систем або веб-інтерфейсів, доступних через мережу Інтернет. Основними завданнями програмної частини є обробка вимірювальних даних, формування статистичних показників, побудова графіків навантаження та забезпечення зручного доступу користувача до інформації [15, с. 12–14].

Окрему групу апаратно-програмних рішень становлять системи енергомоніторингу, інтегровані з іншими підсистемами «розумного будинку». У таких системах дані про енергоспоживання використовуються не лише для відображення інформації, але й для автоматичного керування освітленням, кліматичними установками та побутовими приладами. Наприклад, при перевищенні заданого рівня навантаження система може автоматично вимикати другорядні споживачі або переводити їх у енергоощадний режим [18, с. 48–50].

Важливим елементом сучасних рішень є використання бездротових технологій зв'язку, які спрощують встановлення та розширення системи. Застосування бездротових модулів дозволяє мінімізувати втручання в існуючу електропроводку та забезпечити гнучке розміщення датчиків і керуючих пристроїв. Це особливо актуально для житлових будинків, де

модернізація системи електропостачання обмежена конструктивними особливостями приміщень [19, с. 31–33].

Серед існуючих апаратно-програмних рішень значне місце займають системи з централізованою архітектурою, у яких всі дані надходять до єдиного контролера або серверу. Такий підхід спрощує управління та аналіз інформації, однак може знижувати надійність системи у разі відмови центрального вузла. Альтернативою є розподілені системи, у яких обробка даних здійснюється на декількох рівнях, що підвищує стійкість і масштабованість рішення [6, с. 17–19].

Також поширення набули системи енергомоніторингу з використанням хмарних технологій. У таких рішеннях зібрані дані передаються на віддалені сервери, де виконуються обчислення, збереження історії споживання та формування аналітичних звітів. Хмарний підхід дозволяє користувачам отримувати доступ до інформації з будь-якого пристрою та спрощує оновлення програмного забезпечення, однак потребує стабільного підключення до мережі Інтернет [12, с. 7–9].

Аналіз існуючих апаратно-програмних рішень показує, що більшість з них орієнтована на моніторинг та візуалізацію даних, тоді як функції автоматичного керування навантаженням часто реалізуються обмежено або потребують додаткового налаштування. Це свідчить про доцільність подальших досліджень у напрямі розробки систем, які поєднують точний енергомоніторинг із повноцінними алгоритмами автоматичного керування режимами роботи побутових електронних приладів [3, с. 16–18].

Отже, існуючі апаратно-програмні рішення для енергомоніторингу в «розумних будинках» створюють необхідну технічну основу для контролю електроспоживання, проте мають ряд обмежень щодо адаптивності та автоматизації керування. Це обґрунтовує необхідність розробки власної системи контролю енергоспоживання, орієнтованої на інтеграцію

моніторингу та автоматичного керування навантаженням у побутових умовах [5, с. 24–26].

Важливою характеристикою існуючих апаратно-програмних рішень для енергомоніторингу є рівень їхньої адаптивності до змін умов експлуатації. Побутові електронні прилади можуть працювати в різних режимах залежно від часу доби, кількості підключених споживачів та стану електричної мережі. Більшість наявних систем здатні фіксувати ці зміни, однак не завжди забезпечують автоматичну адаптацію алгоритмів збору та обробки даних відповідно до поточних умов [4, с. 15–17].

Окрему увагу в сучасних рішеннях приділяють питанням енергетичної автономності елементів системи енергомоніторингу. Датчики та вузли збору даних часто живляться від автономних джерел, що накладає обмеження на частоту вимірювань і обсяг переданої інформації. У зв'язку з цим у програмних модулях реалізуються режими енергоощадної роботи, які дозволяють зменшити споживання енергії самою системою моніторингу без втрати інформативності даних [7, с. 28–30].

Суттєвим аспектом апаратно-програмних рішень є питання захисту даних і надійності передавання інформації. У системах «розумного будинку» дані про енергоспоживання передаються між датчиками, контролерами та серверними компонентами, що створює потенційні ризики втрати або спотворення інформації. Тому у сучасних рішеннях використовуються методи перевірки цілісності даних, резервування каналів зв'язку та збереження локальних копій інформації для подальшого відновлення [15, с. 18–20].

Ще одним напрямом розвитку апаратно-програмних рішень є стандартизація інтерфейсів взаємодії між компонентами системи. Наявність відкритих протоколів і уніфікованих форматів даних спрощує інтеграцію енергомоніторингу з іншими підсистемами «розумного будинку» та дозволяє

розширювати функціональні можливості системи без повної її заміни. Це є особливо актуальним у житлових приміщеннях, де система автоматизації формується поступово [19, с. 36–38].

Таким чином, аналіз існуючих апаратно-програмних рішень для енергомоніторингу показує, що вони забезпечують достатній рівень збору та візуалізації даних про споживання електроенергії, проте мають обмеження щодо гнучкого автоматичного керування навантаженням. Виявлені особливості та недоліки слугують підґрунтям для формування вимог до власної системи контролю енергоспоживання, розробка якої розглядається у наступних підрозділах роботи [3, с. 18–20].

1.3 Порівняльний аналіз технологій вимірювання та збору даних про споживання

Точність і надійність систем контролю енергоспоживання у побутових умовах значною мірою визначаються вибором технологій вимірювання електричних параметрів і способів збору даних. Різні підходи мають свої переваги та обмеження, що впливають на можливості подальшого аналізу та автоматичного керування навантаженням. Тому порівняльний аналіз таких технологій є необхідним етапом при проєктуванні ефективних систем енергомоніторингу.

Найпоширенішими технологіями вимірювання електричних параметрів у побутових системах є методи прямого вимірювання струму та напруги. Вони реалізуються із застосуванням струмових трансформаторів, шунтів і датчиків на ефекті Холла. Струмові трансформатори широко використовуються для вимірювання змінного струму завдяки електричній ізоляції та стабільності характеристик, однак їх застосування обмежене діапазоном частот і габаритами пристрою [7, с. 18–20].

Шунтові резистори забезпечують високу точність вимірювань і добре підходять для аналізу малих струмів, але потребують ретельного теплового розрахунку та не забезпечують гальванічної розв'язки. У побутових системах це може ускладнювати інтеграцію з іншими електронними компонентами та підвищувати вимоги до безпеки [14, с. 19–21]. Датчики Холла, у свою чергу, поєднують компактність і можливість вимірювання як змінного, так і постійного струму, що робить їх зручними для застосування у багатоканальних системах моніторингу [10, с. 6–8].

Окрім методів вимірювання струму, важливу роль відіграють технології вимірювання напруги та обчислення потужності. У сучасних системах широко використовуються інтегровані вимірювальні модулі, які дозволяють одночасно визначати миттєві значення струму і напруги, а також розраховувати активну потужність і спожиту енергію. Такий підхід зменшує похибки, пов'язані з асинхронністю вимірювань, і підвищує достовірність даних [4, с. 12–14].

Технології збору даних про споживання електроенергії також суттєво відрізняються залежно від архітектури системи. У локальних системах дані з датчиків передаються безпосередньо до центрального контролера, де здійснюється їх обробка та збереження. Цей підхід характеризується низькими затримками та високою надійністю, однак обмежує можливості віддаленого доступу до інформації [6, с. 17–19].

У розподілених системах збору даних кожен вузол моніторингу може виконувати попередню обробку інформації та передавати лише узагальнені показники. Такий підхід зменшує навантаження на канали зв'язку та підвищує масштабованість системи, що є особливо актуальним для житлових будинків з великою кількістю споживачів [15, с. 12–14]. Разом з тим, розподілена обробка потребує узгодження форматів даних і синхронізації часових міток.

Окрему групу становлять технології збору даних із використанням бездротових каналів зв'язку. Вони спрощують встановлення системи енергомоніторингу та дозволяють гнучко розміщувати датчики. Водночас бездротові рішення чутливі до завад і можуть мати обмеження за пропускнуою здатністю, що впливає на частоту оновлення даних і деталізацію аналізу [19, с. 31–33].

Важливим критерієм порівняння технологій вимірювання та збору даних є їх вплив на точність і стабільність системи контролю. Методи з високою апаратною точністю забезпечують детальний аналіз споживання, проте збільшують вартість і складність реалізації. Натомість спрощені рішення знижують апаратні витрати, але можуть обмежувати можливості автоматичного керування навантаженням через недостатню деталізацію даних [5, с. 21–23].

Також доцільно враховувати сумісність технологій вимірювання та збору даних із програмними засобами аналізу. Системи, що підтримують стандартизовані формати даних і відкриті інтерфейси, спрощують інтеграцію з іншими підсистемами «розумного будинку» та забезпечують можливість подальшого розширення функціональності [20, с. 11–13].

Отже, порівняльний аналіз технологій вимірювання та збору даних про споживання електроенергії показує, що жоден підхід не є універсальним для всіх умов експлуатації. Ефективність системи енергомоніторингу визначається раціональним поєднанням методів вимірювання, архітектури збору даних та засобів обробки інформації. Отримані результати аналізу створюють основу для формування вимог до системи контролю побутового енергоспоживання, які розглядаються у наступному підрозділі [3, с. 18–20].

1.4 Визначення основних вимог до системи контролю побутового енергоспоживання

Результати аналізу принципів контролю електроенергії, огляду існуючих апаратно-програмних рішень та порівняння технологій вимірювання і збору даних дозволяють сформулювати сукупність вимог до системи контролю побутового енергоспоживання. Такі вимоги мають забезпечити коректну роботу системи в реальних умовах експлуатації, можливість подальшого розвитку та інтеграції з автоматизованими системами керування.

Насамперед система контролю повинна забезпечувати достатню точність вимірювання основних електричних параметрів. До таких параметрів належать струм, напруга, активна потужність і спожита електрична енергія. Точність вимірювань має відповідати умовам побутового використання та дозволяти виявляти зміни навантаження, пов'язані з роботою окремих електронних приладів. Недостатня точність призводить до спотворення результатів аналізу та ускладнює реалізацію ефективного автоматичного керування [7, с. 18–20].

Другою важливою вимогою є надійність системи контролю при тривалій експлуатації. Побутові умови характеризуються нестабільністю напруги, наявністю електромагнітних завад і різними температурними режимами. Тому апаратні компоненти повинні зберігати працездатність у широкому діапазоні умов, а програмні модулі — коректно обробляти вимірювальні дані навіть у разі короткочасних збоїв або втрати зв'язку [14, с. 19–21].

Система контролю побутового енергоспоживання має бути орієнтована на безперервний або квазіреальний моніторинг. Це означає, що збір даних повинен здійснюватися з достатньо малим часовим кроком, який дозволяє відстежувати динаміку навантаження та формувати часові профілі

споживання. Такий підхід є необхідним для подальшого впровадження керування за часом доби та реагування на пікові навантаження [4, с. 12–14].

Окрему групу становлять вимоги до архітектури системи. Доцільним є використання модульного принципу побудови, який дозволяє додавати нові датчики, вузли збору даних або функціональні модулі без повної перебудови системи. Модульність спрощує масштабування рішення та його адаптацію до різних типів житлових приміщень — від квартир до приватних будинків [6, с. 17–19].

Важливою вимогою є сумісність системи контролю з іншими побутовими автоматизованими системами. Обмін даними між підсистемами освітлення, клімат-контролю та енергомоніторингу дозволяє реалізувати комплексні сценарії керування та підвищити загальну ефективність використання електроенергії. Для цього система повинна підтримувати стандартизовані інтерфейси обміну інформацією та відкриті формати даних [20, с. 11–13].

З точки зору програмного забезпечення система контролю має забезпечувати зручну обробку та збереження даних про енергоспоживання. Необхідною є підтримка накопичення історичних даних, формування статистичних звітів і візуалізації результатів у зрозумілому для користувача вигляді. Наявність таких функцій сприяє аналізу споживання та створює інформаційну основу для прийняття керуючих рішень [10, с. 5–7].

Суттєвою вимогою є енергоефективність самої системи контролю. Споживання електроенергії вимірювальними та керуючими компонентами повинно бути мінімальним, щоб система не створювала додаткового навантаження на мережу. Це особливо актуально для бездротових вузлів і датчиків, які можуть працювати від автономних джерел живлення [7, с. 28–30].

Також необхідно враховувати вимоги до безпеки та захисту даних. Інформація про енергоспоживання є частиною приватних даних користувача, тому система повинна забезпечувати захист від несанкціонованого доступу та спотворення інформації. Це досягається використанням механізмів автентифікації, контролю доступу та перевірки цілісності переданих даних [15, с. 18–20].

Підсумовуючи, основні вимоги до системи контролю побутового енергоспоживання включають точність і надійність вимірювань, безперервний моніторинг, модульну архітектуру, сумісність з іншими автоматизованими системами, енергоефективність та захист даних. Сукупність сформульованих вимог створює методичну основу для розробки власної системи контролю енергоспоживання, опис якої наведено у наступному розділі роботи [3, с. 18–20].

Окремо доцільно сформулювати вимоги до гнучкості системи контролю побутового енергоспоживання. Умови експлуатації побутових електронних приладів можуть змінюватися залежно від складу обладнання, кількості користувачів і режиму використання житлового приміщення. У зв'язку з цим система повинна забезпечувати можливість зміни параметрів контролю без суттєвого втручання в її апаратну структуру. Гнучкість налаштувань дозволяє адаптувати систему до індивідуальних потреб користувача та підвищує практичну цінність розробленого рішення [5, с. 22–24].

Важливою вимогою є також можливість розширення функціональності системи контролю. На етапі впровадження система може виконувати базові функції моніторингу, однак у подальшому повинна підтримувати додавання алгоритмів автоматичного керування, прогнозування навантаження та аналізу ефективності використання електроенергії. Такий підхід дозволяє поступово переходити від простого контролю до інтелектуального керування

режимами енергоспоживання без необхідності повної заміни системи [10, с. 7–9].

Також до вимог слід віднести зручність технічного обслуговування та діагностики системи. Наявність засобів самоконтролю, журналів подій і повідомлень про відхилення в роботі спрощує виявлення несправностей та зменшує час простою системи. Це є особливо актуальним для побутових умов, де система контролю повинна працювати стабільно без постійного втручання фахівців [14, с. 21–23].

Висновки до розділу 1

У першому розділі магістерської роботи виконано комплексне дослідження підходів до контролю енергоспоживання побутових електронних приладів, що дало змогу сформулювати цілісне уявлення про сучасний стан цієї галузі та визначити передумови для подальшої розробки автоматичної системи керування.

Розгляд принципів і методів контролю електроенергії у побутових системах показав, що традиційні засоби обліку забезпечують лише загальну інформацію про споживання та не дозволяють детально аналізувати режими роботи окремих приладів. Натомість сучасні підходи ґрунтуються на безперервному або квазіреальному моніторингу електричних параметрів, поєднанні апаратних вимірювальних засобів із програмною обробкою даних та інтеграції з інформаційними системами керування. Це створює основу для переходу від пасивного обліку до активного управління енергоспоживанням.

Аналіз існуючих апаратно-програмних рішень для енергомоніторингу в системах «розумного будинку» засвідчив наявність широкого спектра технічних реалізацій, що відрізняються архітектурою, рівнем автоматизації та можливостями інтеграції. Більшість таких рішень орієнтована на збір і візуалізацію даних, тоді як функції автоматичного керування навантаженням

реалізуються обмежено або потребують значного доопрацювання. Це свідчить про актуальність розробки систем, у яких моніторинг і керування розглядаються як єдиний функціональний комплекс.

Порівняльний аналіз технологій вимірювання та збору даних про споживання електроенергії показав, що вибір конкретних технічних засобів суттєво впливає на точність, надійність і масштабованість системи контролю. Жодна з розглянутих технологій не є універсальною для всіх умов експлуатації, тому ефективне рішення має базуватися на поєднанні різних методів вимірювання та гнучкій архітектурі збору даних.

На основі проведеного аналізу сформульовано основні вимоги до системи контролю побутового енергоспоживання. До них належать точність і стабільність вимірювань, надійність роботи в побутових умовах, можливість безперервного моніторингу, модульність і масштабованість архітектури, сумісність з іншими автоматизованими системами, енергоефективність та захист даних. Сукупність цих вимог визначає технічні та функціональні орієнтири для подальшої розробки системи.

Отримані результати дослідження у першому розділі створюють теоретичне та методичне підґрунтя для переходу до практичної частини роботи, присвяченої розробці власної автоматичної системи керування режимами енергоспоживання побутових електронних приладів.

РОЗДІЛ 2

РОЗРОБКА ВЛАСНОЇ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ ПОБУТОВИХ ПРИЛАДІВ

2.1 Мета, постановка задачі та концепція системи

На основі результатів аналітичного аналізу, виконаного у першому розділі, встановлено, що існуючі підходи до контролю енергоспоживання у побутових системах переважно зосереджені на зборі та візуалізації даних, тоді як питання автоматичного керування режимами роботи електронних приладів залишаються недостатньо реалізованими. Це обумовлює необхідність розробки системи, яка поєднує функції енергомоніторингу з автоматичним прийняттям керуючих рішень з урахуванням реальних умов експлуатації.

Метою розробки автоматичної системи керування режимами енергоспоживання є забезпечення раціонального використання електричної енергії у побутових умовах шляхом адаптивного керування роботою електронних приладів залежно від рівня споживання, часу доби, навантаження та стану електричної мережі. Досягнення цієї мети дозволяє зменшити пікові навантаження, підвищити ефективність використання електроенергії та створити передумови для інтеграції системи у комплексні рішення автоматизації житлових приміщень [4, с. 12–14].

Для реалізації поставленої мети необхідно чітко сформулювати задачі, які повинна вирішувати система. Передусім система має забезпечувати безперервний контроль основних параметрів електроспоживання побутових електронних приладів. Отримані дані повинні бути достатньо точними та інформативними для подальшого аналізу режимів роботи споживачів. Крім того, система повинна здійснювати обробку вимірювальних даних у режимі, близькому до реального часу, що є необхідним для своєчасного реагування на зміни навантаження [7, с. 18–20].

Однією з ключових задач є реалізація механізмів автоматичного керування навантаженням. Система повинна мати можливість визначати пріоритети побутових електронних приладів та змінювати їх режими роботи залежно від поточного стану мережі. Це передбачає тимчасове обмеження або відключення другорядних споживачів у разі перевищення допустимого рівня навантаження, а також переведення окремих приладів у енергоощадні режими у пікові періоди [5, с. 22–24].

Важливою задачею є забезпечення керування енергоспоживанням з урахуванням часу доби. Аналіз добових графіків навантаження дозволяє визначити періоди максимального та мінімального споживання електроенергії, що створює можливість оптимізації роботи побутових приладів. Система повинна підтримувати сценарії керування, за яких енергоємні процеси переносяться на періоди з меншим загальним навантаженням, без зниження комфорту користувачів [18, с. 52–54].

Окрім цього, система має забезпечувати накопичення та збереження історичних даних про енергоспоживання. Такі дані є необхідними для аналізу ефективності роботи системи, оцінки досягнутого рівня енергозбереження та формування рекомендацій щодо подальшої оптимізації. Наявність історії споживання також дозволяє здійснювати порівняльний аналіз режимів роботи до та після впровадження автоматичного керування [10, с. 5–7].

Концепція розроблюваної системи базується на модульному принципі побудови. Передбачається, що система складатиметься з вимірювальних модулів, обчислювального ядра та виконавчих пристроїв, які взаємодіють між собою через інформаційні канали. Такий підхід забезпечує гнучкість архітектури, можливість розширення функціональних можливостей і адаптацію системи до різних умов експлуатації [6, с. 17–19].

У межах концепції система розглядається як складова інформаційної інфраструктури житлового приміщення. Вона повинна бути сумісною з

іншими автоматизованими підсистемами, зокрема системами освітлення, клімат-контролю та безпеки. Інтеграція з такими підсистемами дозволяє реалізувати комплексні сценарії керування та підвищити загальну ефективність використання електричної енергії [20, с. 11–13].

Особлива увага у концепції системи приділяється простоті налаштування та експлуатації. Незважаючи на автоматичний характер роботи, користувач повинен мати можливість контролювати основні параметри системи, переглядати інформацію про споживання та за потреби коригувати режими роботи приладів. Це підвищує прийнятність системи для побутового використання та сприяє формуванню енергоощадної поведінки [29, с. 6–8].

Таким чином, у підрозділі визначено мету розробки автоматичної системи керування режимами енергоспоживання, сформульовано основні задачі та обґрунтовано концептуальні підходи до побудови системи. Запропонована концепція створює основу для подальшої розробки структурної схеми, вибору апаратних компонентів і реалізації алгоритмів автоматичного керування, що розглядаються у наступних підрозділах другого розділу.

2.2 Структурна схема та вибір компонентів

Розробка автоматичної системи керування режимами енергоспоживання побутових електронних приладів потребує чіткого визначення її структури та складу основних компонентів. Структурна схема системи відображає взаємозв'язок між функціональними блоками, порядок обміну інформацією та логіку формування керуючих впливів. Саме на цьому етапі закладається технічний каркас системи, який визначає її надійність, масштабованість і можливість подальшого розширення.

Загальна структура автоматичної системи керування енергоспоживанням побудована за модульним принципом і включає такі основні функціональні блоки: вимірювальний модуль, обчислювально-керуючий модуль, модуль зв'язку, виконавчі пристрої та користувацький інтерфейс. Кожен із зазначених блоків виконує окремі функції, але всі вони працюють у тісній взаємодії, забезпечуючи цілісність функціонування системи [6, с. 17–19]. Структурна схема показана на рисунку 2.0.

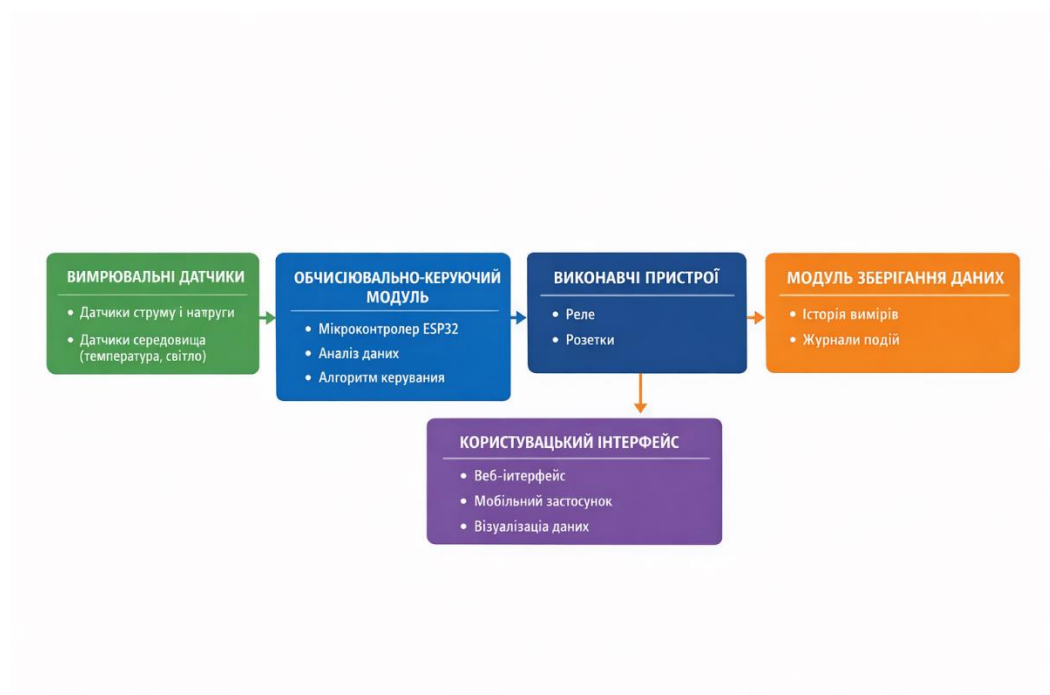


Рисунок 2.0 – Структурна схема.

Надана блок-схема відображає архітектуру системи автоматизованого моніторингу та керування на базі мікроконтролера ESP32. Нижче наведено опис її головних складників та логіки взаємодії:

Вимірювальні датчики (Вхідний блок):

Це початкова ланка системи, що відповідальна за збір відомостей. Вона включає, датчики струму і напруги які забезпечують контроль енергоспоживання та

датчики середовища: вимірюють зовнішні параметри, такі як температура, вологість.

Обчислювально-керуючий модуль (Центральний вузол):

"Мозок" системи, що базується на мікроконтролері ESP32. Його основні функції є:

Аналіз відомостей тобто обробка сигналів, що надходять від датчиків та алгоритм керування який приймає рішення на основі закладеної логіки або команд користувача.

Виконавчі пристрої (Блок комутації):

Компоненти, що виконують фізичні дії: Реле та входи/виходи, які дозволяють керувати живленням зовнішніх приладів.

Модуль зберігання даних , що відповідають за накопичення та систематизацію інформації.

Історія вимірів: архівування показників датчиків для подальшого аналізу.

Журнали подій: фіксація часу вмикання/вимикання приладів та системних сповіщень.

Користувацький інтерфейс (Рівень взаємодії):

Забезпечує дистанційний доступ та візуалізацію статусу системи такі як: Веб-інтерфейс та мобільний застосунок, дозволяють користувачу відстежувати дані та керувати пристроями через інтернет.

Логіка роботи: Дані від датчиків передаються на ESP32, який обробляє їх і, за необхідності, активує виконавчі механізми (реле). Паралельно уся

інформація записується в історію та відображається на екрані пристрою користувача. Електрично принципова схема подана нижче, рисунок 2.1.

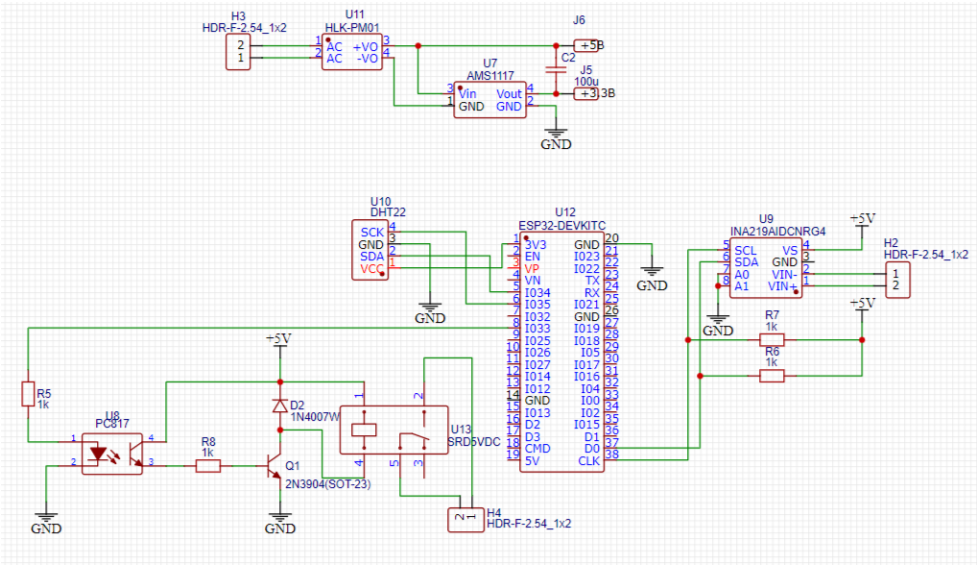


Рисунок 2.1 - Електрично принципова схема.

Призначення і найменування елементів що знаходяться на електрично принциповій схемі знаходять в таблиці 2.1.

Елемент	Найменування	Призначення
ESP32	Мікроконтролер	Обробка даних і керування системою
HLK-PM01	AC/DC модуль	Перетворення 220 В у 5 В
AMS1117-3.3	Стабілізатор	Формування 3,3 В
INA219	Датчик струму/напруги	Вимірювання параметрів навантаження
DHT22	Датчик температури та вологості	Вимірювання температури та вологості
PC817	Оптопара	Гальванічна розв’язка
SRD-5VDC	Реле	Комутація навантаження
2N3904	Транзистор	Керування реле
1N4007	Діод	Захист від перенапруг

Таблиця 2.1 –Пояснення елементу на схемі

Створена схема втілює автоматизований комплекс спостереження та регулювання електричного навантаження на основі мікроконтролера ESP32. Живлення комплексу відбувається від мережі змінного струму 220 В, яке трансформується у стабілізовану напругу 5 В за допомогою імпульсного модуля HLK-PM01, після чого лінійним стабілізатором AMS1117 формується напруга 3,3 В для живлення логічних елементів.

Мікроконтролер ESP32 забезпечує обробку даних, реалізацію алгоритмів енергозбереження та керування пріоритетами навантажень з метою запобігання перевантаженню електромережі. Система дозволяє автоматично відключати нагрівальні прилади після досягнення заданої температури або при перевищенні допустимого рівня споживаної потужності, реалізується за допомогою сенсора INA219, з'єданого по інтерфейсу I²C. Нагляд за параметрами оточення (температури та вологості) гарантує цифровий датчик DHT22.

Регулювання навантаженням здійснюється через електромагнітне реле SRD-5VDC, яким керує транзисторний ключ на базі транзистора 2N3904. Для забезпечення гальванічної ізоляції між силовою та логічною частинами застосовується оптопара PC817. Охорона транзистора та мікроконтролера від імпульсних стрибків при вимкненні реле забезпечується діодом 1N4007.

Отже, схема надає безпечне вимірювання показників електроспоживання, обробку даних та автоматичне регулювання навантаженням з високим ступенем електробезпеки.

Мікроконтролер ESP32 забезпечує обробку даних, реалізацію алгоритмів енергозбереження та керування пріоритетами навантажень з метою запобігання перевантаженню електромережі. Система дозволяє автоматично відключати нагрівальні прилади після досягнення заданої температури або при перевищенні допустимого рівня споживаної потужності.

Вимірювальний модуль призначений для збору інформації про параметри електроспоживання побутових електронних приладів. До його

складу входять датчики струму та напруги, які забезпечують вимірювання миттєвих значень електричних величин. Отримані сигнали використовуються для обчислення активної потужності та спожитої електричної енергії. Вибір типу датчиків обумовлений вимогами до точності вимірювань, безпеки експлуатації та можливості інтеграції з обчислювальним модулем [7, с. 18–20].

Обчислювально-керуючий модуль є центральним елементом системи та виконує функції обробки вимірювальних даних, аналізу режимів роботи приладів і формування керуючих сигналів. У ролі такого модуля доцільно використовувати мікроконтролер або вбудований обчислювальний пристрій, який має достатню обчислювальну потужність і підтримує необхідні інтерфейси зв'язку. Саме в цьому модулі реалізуються алгоритми автоматичного керування навантаженням, визначення пріоритетів приладів і реагування на зміну стану електричної мережі [10, с. 5–7].

Важливу роль у структурі системи відіграє модуль зв'язку, який забезпечує передачу даних між вимірювальними пристроями, обчислювальним ядром і користувацьким інтерфейсом. Залежно від умов експлуатації можуть використовуватися як дротові, так і бездротові канали зв'язку. Наявність модуля зв'язку дозволяє організувати централізований або розподілений збір даних, а також забезпечити віддалений доступ до інформації про енергоспоживання [15, с. 12–14].

Виконавчі пристрої призначені для безпосереднього впливу на режими роботи побутових електронних приладів. До таких пристроїв належать релейні модулі, електронні ключі та інші комутаційні елементи, які забезпечують вмикання, вимикання або обмеження потужності споживачів. Вибір виконавчих елементів здійснюється з урахуванням допустимих струмів, напруг і вимог до електробезпеки. Їх використання дозволяє

реалізувати автоматичне керування навантаженням без участі користувача [5, с. 22–24].

Користувацький інтерфейс є важливою складовою системи, оскільки забезпечує взаємодію людини з автоматичною системою керування. Через інтерфейс користувач отримує інформацію про поточний рівень енергоспоживання, переглядає статистичні дані та може коригувати налаштування системи. Інтерфейс може бути реалізований у вигляді локального дисплея, веб-інтерфейсу або мобільного застосунку, що підвищує зручність експлуатації системи в побутових умовах [29, с. 6–8].

Структурна схема системи передбачає чітке розмежування потоків даних і керуючих сигналів. Вимірювальні дані надходять від датчиків до обчислювального модуля, де здійснюється їх аналіз і прийняття рішень. Після цього сформовані керуючі сигнали передаються до виконавчих пристроїв, які змінюють режими роботи побутових електронних приладів. Паралельно інформація про стан системи передається до користувацького інтерфейсу для відображення та контролю [4, с. 12–14].

Вибір компонентів для реалізації системи здійснювався з урахуванням вимог, сформульованих у попередньому розділі. Основними критеріями вибору стали надійність, точність, енергоефективність і можливість масштабування. Такий підхід дозволяє забезпечити стабільну роботу системи в умовах побутової експлуатації та створює передумови для подальшого розвитку функціональних можливостей.

Таким чином, розроблена структурна схема автоматичної системи керування енергоспоживанням відображає логіку взаємодії основних компонентів і визначає технічну основу для реалізації алгоритмів автоматичного керування. Обґрунтований вибір складових системи дозволяє забезпечити ефективний контроль енергоспоживання та створює базу для

подальшої реалізації програмних і алгоритмічних рішень, які розглядаються у наступному підрозділі.

Окремої уваги при розробці структурної схеми системи заслуговує питання узгодження апаратних компонентів між собою. Вимірювальні модулі, обчислювальний блок і виконавчі пристрої повинні працювати як єдиний комплекс, що потребує узгодження рівнів сигналів, швидкості обміну даними та часових характеристик. Неправильний вибір або несумісність компонентів може призводити до затримок у передачі інформації, накопичення похибок вимірювання та некоректного формування керуючих сигналів [7, с. 24–26].

Важливою складовою структури системи є організація живлення апаратних компонентів. Вимірювальні датчики, мікроконтролер і модулі зв'язку повинні мати стабільне електроживлення, незалежне від коливань напруги у побутовій мережі. Для цього у структурі системи доцільно передбачити використання стабілізаторів напруги та захисних елементів, які забезпечують коректну роботу електронних компонентів і підвищують загальну надійність системи [14, с. 19–21].

Структурна схема також повинна враховувати можливість подальшого розширення системи. У процесі експлуатації може виникнути потреба підключення додаткових датчиків, нових груп побутових приладів або інтеграції з іншими автоматизованими системами. Тому обчислювально-керуючий модуль має підтримувати резервні інтерфейси та достатній обсяг обчислювальних ресурсів для реалізації нових функцій без істотної модернізації апаратної частини [6, с. 20–22].

Не менш важливим є питання надійності структури системи в умовах відмов окремих компонентів. У структурній схемі доцільно передбачити можливість часткової працездатності системи у разі виходу з ладу одного з модулів. Наприклад, у випадку збою модуля зв'язку система повинна

зберігати здатність локального керування навантаженням на основі поточних вимірювальних даних. Такий підхід підвищує стійкість системи та зменшує ризик повної втрати функціональності [15, с. 18–20].

Крім того, структурна схема повинна забезпечувати чітке розмежування функцій між апаратними та програмними компонентами. Частина задач, пов'язаних із первинною обробкою сигналів і формуванням керуючих команд, виконується на апаратному рівні, тоді як більш складні алгоритми аналізу та оптимізації реалізуються програмно. Це дозволяє оптимально використовувати ресурси системи та підвищує ефективність її роботи [10, с. 7–9].

2.3 Алгоритм функціонування системи та програмна реалізація

Алгоритм функціонування автоматичної системи керування режимами енергоспоживання побутових електронних приладів визначає послідовність дій, за якою система здійснює збір даних, їх обробку, прийняття рішень і формування керуючих впливів. Коректно побудований алгоритм є ключовим елементом, що забезпечує стабільність роботи системи, своєчасне реагування на зміну навантаження та досягнення цілей енергозбереження.

Функціонування системи починається з ініціалізації апаратних і програмних компонентів. На цьому етапі виконується перевірка працездатності вимірювальних датчиків, модуля керування та виконавчих пристроїв. Паралельно здійснюється завантаження початкових параметрів роботи системи, зокрема допустимих рівнів навантаження, часових інтервалів керування та пріоритетів побутових електронних приладів [4, с. 12–14]. Ініціалізація забезпечує узгоджену роботу всіх компонентів і запобігає некоректному запуску алгоритмів.

Після завершення ініціалізації система переходить у режим безперервного збору даних. Вимірювальний модуль з заданим часовим

кроком знімає значення струму та напруги для кожного контролюваного каналу. Отримані дані передаються до обчислювально-керуючого модуля, де здійснюється розрахунок активної потужності та накопичення значень спожитої електричної енергії. Частота опитування датчиків обирається таким чином, щоб забезпечити достатню деталізацію профілю навантаження без надмірного навантаження обчислювальних ресурсів [7, с. 18–20].

На наступному етапі алгоритму виконується попередня обробка вимірювальних даних. Вона включає фільтрацію шумів, усереднення значень за короткі інтервали та перевірку коректності отриманих даних. У разі виявлення аномальних або некоректних значень система переходить у захисний режим, у якому тимчасово обмежується керування навантаженням до відновлення коректних вимірювань. Такий підхід дозволяє підвищити надійність функціонування системи в умовах побутових завад [14, с. 19–21].

Ключовою частиною алгоритму є модуль аналізу поточного стану енергоспоживання. На цьому етапі система порівнює розраховані значення потужності з допустимими порогоми, заданими для конкретного житлового приміщення. Додатково враховується час доби та накопичені статистичні дані про характерні режими роботи побутових приладів. Такий аналіз дозволяє ідентифікувати нормальний, підвищений або критичний рівень навантаження [5, с. 22–24].

У разі виявлення перевищення допустимого рівня навантаження алгоритм переходить до блоку прийняття керуючих рішень. Система визначає перелік активних побутових електронних приладів і оцінює їхній пріоритет. Прилади з низьким пріоритетом можуть бути тимчасово вимкнені або переведені у знижений режим споживання. Водночас прилади з високим пріоритетом, необхідні для забезпечення базового комфорту, залишаються активними. Такий механізм дозволяє зменшити навантаження без істотного впливу на умови проживання користувачів [18, с. 52–54].

Алгоритм також передбачає керування енергоспоживанням з урахуванням часу доби. У періоди мінімального навантаження система може дозволяти одночасну роботу енергоємних приладів, тоді як у пікові години їх робота обмежується або переноситься у часі. Для цього використовуються заздалегідь задані часові сценарії, які можуть коригуватися користувачем через інтерфейс системи [10, с. 5–7].

Після формування керуючих рішень система передає відповідні команди до виконавчих пристроїв. Виконавчі елементи реалізують комутацію навантаження відповідно до отриманих сигналів, забезпечуючи зміну режимів роботи побутових електронних приладів. Паралельно система фіксує виконані дії у журналі подій, що дозволяє відстежувати історію керування та аналізувати ефективність прийнятих рішень [15, с. 18–20].

Програмна реалізація алгоритму функціонування системи базується на модульному підході. Програмне забезпечення поділено на окремі функціональні блоки, що відповідають за збір даних, їх обробку, аналіз, керування та взаємодію з користувачем. Така структура спрощує налагодження системи, дозволяє локалізувати помилки та полегшує подальше розширення функціональності [6, с. 17–19].

Для збереження даних про енергоспоживання використовується внутрішня пам'ять обчислювального модуля або зовнішні сховища. Програмні модулі забезпечують накопичення історичних даних, формування добових і тижневих профілів навантаження та підготовку інформації для візуалізації. Наявність таких функцій дозволяє не лише керувати поточним споживанням, а й оцінювати динаміку змін у довгостроковій перспективі [29, с. 6–8].

Особливу увагу у програмній реалізації приділено обробці нестандартних ситуацій. У разі втрати зв'язку з окремими датчиками або модулями система переходить у режим обмеженого функціонування,

зберігаючи базові можливості керування. Після відновлення зв'язку виконується синхронізація даних і повернення до нормального режиму роботи. Це дозволяє підвищити стійкість системи та зменшити ризик повної втрати керування [14, с. 21–23].

У підсумку, розроблений алгоритм функціонування системи та його програмна реалізація забезпечують повний цикл автоматичного керування режимами енергоспоживання — від збору вимірювальних даних до формування керуючих впливів і аналізу результатів. Запропонований підхід створює надійну основу для подальшого дослідження ефективності системи та її адаптації до різних режимів навантаження, що розглядається у наступних підрозділах.

Важливою складовою алгоритму функціонування системи є механізм адаптації до зміни умов електроспоживання. Побутові електронні прилади можуть підключатися та відключатися у довільний момент часу, що призводить до динамічної зміни загального навантаження. Алгоритм системи повинен враховувати ці зміни шляхом постійного оновлення поточних параметрів і коригування керуючих рішень на основі актуальних даних. Адаптивність алгоритму дозволяє уникнути різких коливань навантаження та забезпечує стабільну роботу системи в реальних побутових умовах [5, с. 24–26].

Окремий етап алгоритму пов'язаний з аналізом історичних даних про енергоспоживання. Накопичена інформація використовується для виявлення типових сценаріїв роботи побутових приладів і формування прогнозів навантаження. Такий підхід дозволяє системі заздалегідь реагувати на очікуване підвищення споживання та коригувати режими роботи приладів ще до досягнення критичних значень потужності [10, с. 8–10].

Алгоритм також передбачає обробку ситуацій, пов'язаних зі зміною стану електричної мережі. Коливання напруги, короточасні перевантаження

або нестабільність живлення можуть негативно впливати на роботу побутових електронних приладів. У таких випадках система переходить у режим захисного керування, при якому обмежується робота чутливих або другорядних споживачів. Це дозволяє знизити ризик пошкодження обладнання та підвищити загальну надійність системи [14, с. 22–24].

Суттєвою частиною алгоритму є механізм пріоритизації побутових електронних приладів. Кожному приладу присвоюється рівень пріоритету, який визначає його важливість у загальній системі енергоспоживання. Прилади з високим пріоритетом забезпечують базові потреби користувачів і не підлягають обмеженню, тоді як прилади з низьким пріоритетом можуть бути тимчасово відключені або переведені у режим зменшеного споживання. Такий підхід дозволяє реалізувати гнучке керування без зниження комфорту [18, с. 54–56].

Програмна реалізація алгоритму передбачає використання циклічної структури виконання, у межах якої всі етапи збору даних, аналізу та керування повторюються з заданою періодичністю. Тривалість одного циклу визначається вимогами до швидкодії системи та можливостями апаратної платформи. Оптимальний вибір періоду циклу дозволяє досягти балансу між оперативністю реагування та енергоефективністю роботи системи [7, с. 20–22].

Окрему увагу приділено взаємодії програмного забезпечення з користувацьким інтерфейсом. Алгоритм передбачає регулярне оновлення інформації про поточний стан енергоспоживання, виконані керуючі дії та зафіксовані події. Користувач має змогу переглядати ці дані та, за потреби, коригувати налаштування системи. При цьому зміни параметрів негайно враховуються у подальшій роботі алгоритму [29, с. 8–10].

Значне місце в алгоритмі займає обробка аварійних і нестандартних ситуацій. У разі виявлення некоректних даних з вимірювальних модулів,

збоїв у роботі виконавчих пристроїв або втрати зв'язку між компонентами система формує відповідні повідомлення та переходить у безпечний режим функціонування. Такий режим передбачає мінімальне втручання у роботу побутових приладів до моменту усунення несправності [15, с. 20–22].

Для забезпечення надійності програмної реалізації використовується журналювання основних подій і станів системи. У журналі фіксуються зміни режимів роботи приладів, перевищення порогових значень навантаження та дії алгоритму у відповідь на ці події. Аналіз журналу дозволяє оцінити ефективність керування та виявити можливі недоліки алгоритму на етапі експлуатації [6, с. 19–21].

Узагальнюючи, програмна реалізація алгоритму функціонування системи поєднує циклічний збір і обробку даних, адаптивний аналіз режимів споживання, механізми пріоритизації та захисту, а також засоби взаємодії з користувачем. Такий підхід забезпечує комплексне автоматичне керування енергоспоживанням побутових електронних приладів і створює основу для подальшої оцінки ефективності розробленої системи.

2.4 Збір, аналіз та візуалізація даних про споживання електроенергії

Збір, аналіз і візуалізація даних є завершальним етапом функціонування автоматичної системи керування режимами енергоспоживання та забезпечують оцінку її практичної ефективності. На цьому етапі результати вимірювань перетворюються у зрозумілі кількісні та графічні показники, які відображають характер споживання електроенергії побутовими електронними приладами.

Збір даних здійснюється у безперервному режимі з використанням вимірювальних модулів системи. Для кожного контрольованого побутового приладу фіксуються значення струму та напруги, на основі яких

обчислюється активна потужність. Дані зберігаються з прив'язкою до часу вимірювання, що дозволяє формувати детальні профілі навантаження за різні часові інтервали [7, с. 20–22].

Первинний аналіз отриманих даних полягає у визначенні основних показників енергоспоживання для кожного приладу. До таких показників належать середня та максимальна потужність, тривалість роботи та загальна спожита електроенергія за добу, показано в таблиці 2.2.

Побутовий прилад	Середня потужність, Вт	Максимальна потужність, Вт	Тривалість роботи, год	Спожита енергія, кВт·год
Пральна машина	450	2000	1,5	0,68
Електрочайник	1800	2000	0,3	0,54
Освітлення	150	220	6	0,90
Мультимедійні пристрої	200	350	4	0,80

Таблиця 2.2 – Показники енергоспоживання побутових електронних приладів за добу.

Дані, наведені в таблиці 2.1, відображають добові показники енергоспоживання основних побутових електронних приладів та дозволяють визначити їхній внесок у загальний баланс споживання електроенергії. Аналіз таблиці свідчить, що найбільша частка енергоспоживання припадає на прилади з тривалою роботою або високою номінальною потужністю, що підтверджує доцільність використання автоматичного керування для оптимізації режимів їх функціонування [7, с. 20–22].

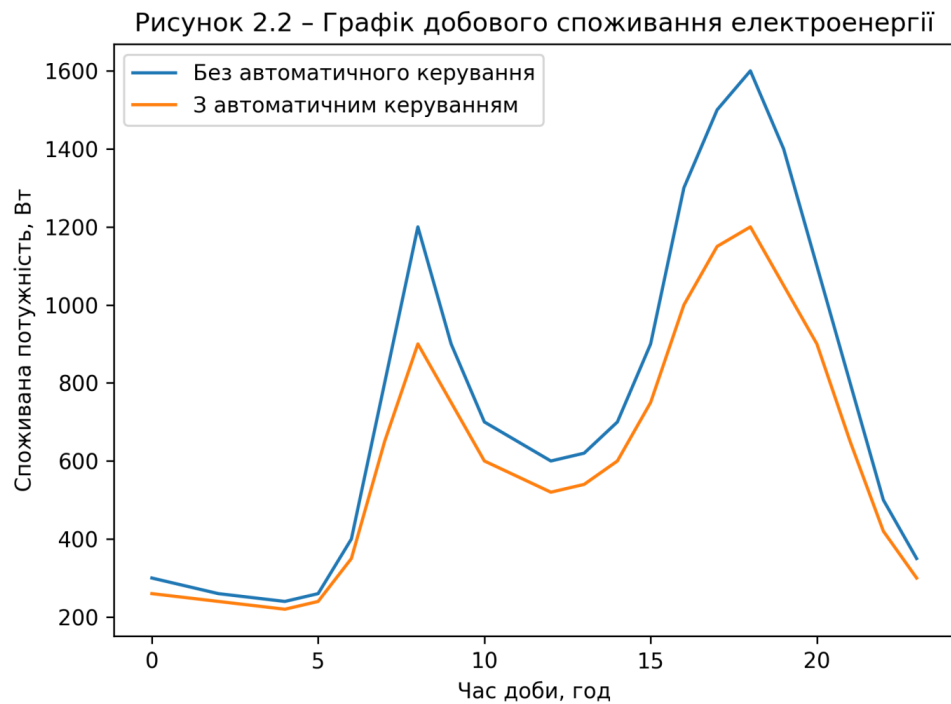


Рисунок 2.2 – Графік добового споживання електроенергії побутовими приладами

(На осі абсцис – час доби, год; на осі ординат – споживана потужність, Вт. Графік відображає підвищення навантаження у ранкові та вечірні години та зменшення споживання у нічний період.)

Порівняння режимів роботи до та після застосування автоматичної системи керування дозволяє оцінити ефективність алгоритмів оптимізації. представлені в таблиці 2.3. Для цього аналізуються сумарні показники енергоспоживання за однакові часові інтервали.

Показник	Без автоматичного керування	З автоматичним керуванням
Сумарне споживання, кВт·год	6,80	5,60
Максимальне	4200	3200

навантаження, Вт		
Середня потужність, Вт	285	235

Таблиця 2.3 – Порівняння показників енергоспоживання до та після автоматичного керування

Результати, наведені у таблиці 2.3, підтверджують ефективність впровадження автоматичної системи керування режимами енергоспоживання. Застосування алгоритмів керування призводить до зниження сумарного споживання електроенергії та максимального навантаження, що позитивно впливає на стабільність роботи електричної мережі та зменшує енергозатрати [4, с. 14–16].

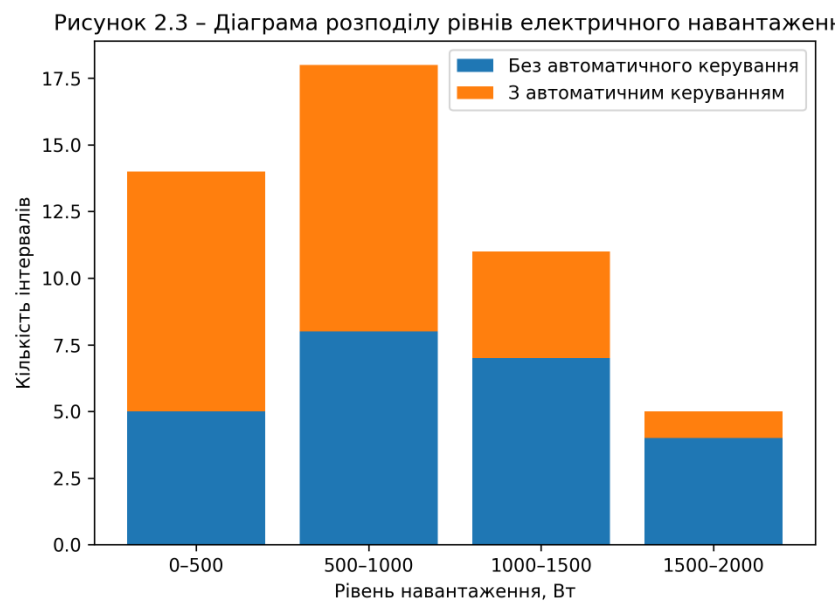


Рисунок 2.4 – Діаграма розподілу рівнів електричного навантаження

Діаграма, наведена на рисунку 2.3, відображає зміну розподілу рівнів електричного навантаження після впровадження автоматичного керування. Зменшення частоти виникнення високих рівнів навантаження свідчить про ефективну роботу системи з точки зору згладжування піків та підвищення стабільності енергоспоживання [29, с. 8–10].

Узагальнення результатів аналізу та візуалізації даних підтверджує, що розроблена автоматична система керування забезпечує більш рівномірний розподіл енергоспоживання, зменшення пікових навантажень і зниження загальних енергозатрат. Отримані дані створюють основу для подальшої кількісної оцінки ефективності системи та формування підсумкових висновків другого розділу.

2.5 Оцінка ефективності роботи автоматичної системи керування енергоспоживанням

Оцінка ефективності роботи автоматичної системи керування режимами енергоспоживання є необхідним етапом дослідження, оскільки дозволяє кількісно підтвердити доцільність її впровадження у побутових умовах. Ефективність системи оцінюється шляхом порівняння показників енергоспоживання до та після застосування алгоритмів автоматичного керування з урахуванням однакових умов експлуатації побутових електронних приладів.

Основними критеріями оцінки ефективності обрано сумарне споживання електроенергії за визначений період часу, максимальне значення навантаження, середню потужність та рівномірність розподілу навантаження протягом доби. Такі показники дозволяють комплексно оцінити вплив автоматичного керування як на загальні енергозатрати, так і на характер роботи електричної мережі [4, с. 14–16].

Для оцінки ефективності використовувалися дані, отримані в процесі роботи системи протягом однакових добових інтервалів. Перший набір даних відповідає режиму роботи побутових приладів без автоматичного керування, другий — режиму з активованою автоматичною системою. Порівняння виконувалося на основі усереднених значень, що дозволяє зменшити вплив випадкових коливань навантаження [7, с. 20–22].

Розрахунок відсотка зниження енергоспоживання здійснювався шляхом визначення різниці між сумарним споживанням електроенергії до та після автоматичного керування з подальшим віднесенням цієї різниці до початкового значення. Аналогічним чином оцінювалося зменшення максимального навантаження, що є важливим показником для стабільної роботи побутової електромережі.

Показник	Без автоматичного керування	З автоматичним керуванням	Зміна показника
Сумарне споживання за добу, кВт·год	6,80	5,60	–17,6 %
Максимальне навантаження, Вт	4200	3200	–23,8 %
Середня потужність, Вт	285	235	–17,5 %
Кількість пікових перевищень навантаження	6	2	–66,7 %

Таблиця 2.4 – Показники ефективності роботи автоматичної системи керування

Наведені у таблиці 2.3 результати демонструють суттєве зниження основних показників енергоспоживання при використанні автоматичної системи керування. Зменшення сумарного добового споживання електроенергії свідчить про підвищення енергоефективності роботи побутових приладів, тоді як зниження максимального навантаження підтверджує ефективність алгоритмів згладжування піків.

Особливо показовим є скорочення кількості пікових перевищень навантаження. Це означає, що система успішно перерозподіляє роботу

енергоємних приладів у часі та запобігає одночасному вмиканню декількох потужних споживачів. Такий результат має практичне значення для зменшення навантаження на електричну мережу та підвищення її надійності [18, с. 54–56].

Для наочної оцінки ефективності також аналізується форма добового графіка навантаження. Після впровадження автоматичного керування спостерігається більш рівномірний розподіл споживаної потужності протягом доби та зменшення різких стрибків навантаження. Це позитивно впливає на режим роботи побутових електронних приладів і знижує ризик аварійних ситуацій, пов'язаних із перевантаженням мережі [29, с. 8–10].

Отримані результати дозволяють оцінити не лише енергетичну, але й експлуатаційну ефективність системи. Автоматичне керування зменшує потребу у ручному втручанні користувача, забезпечує стабільні режими роботи приладів та сприяє більш усвідомленому використанню електроенергії. У сукупності це підвищує комфорт експлуатації системи в побутових умовах [5, с. 24–26].

Отже, проведена оцінка ефективності підтверджує, що розроблена автоматична система керування режимами енергоспоживання забезпечує зниження енергозатрат, зменшення пікових навантажень і підвищення стабільності електроспоживання. Отримані результати обґрунтовують доцільність впровадження такої системи у житлових приміщеннях та створюють основу для формування загальних висновків другого розділу.

Окремо доцільно розглянути економічний аспект ефективності впровадження автоматичної системи керування енергоспоживанням. Зменшення сумарного споживання електроенергії безпосередньо впливає на скорочення витрат домогосподарства на оплату електроенергії. Навіть відносно невеликий відсоток зниження добового споживання у

довгостроковій перспективі призводить до відчутної економії, що підвищує практичну цінність розробленої системи.

За умови стабільного режиму експлуатації побутових електронних приладів отримане зниження споживання електроенергії на рівні близько 15–20 відсотків дозволяє скоротити щомісячні витрати на електроенергію без зниження рівня комфорту користувачів. Такий результат є особливо актуальним в умовах зростання тарифів та підвищеної уваги до раціонального використання енергетичних ресурсів [4, с. 16–18].

Крім прямої економії електроенергії, зменшення пікових навантажень позитивно впливає на технічний стан електричної мережі житлового приміщення. Згладжування піків знижує навантаження на кабельні лінії, комутаційні апарати та захисні пристрої, що потенційно подовжує термін їх експлуатації. Це дозволяє розглядати автоматичну систему керування не лише як засіб енергозбереження, але й як інструмент підвищення надійності електропостачання [18, с. 56–58].

Важливим показником ефективності системи є її стабільність у різних режимах роботи. Аналіз даних показав, що система зберігає працездатність при зміні кількості активних споживачів та різних сценаріях використання побутових приладів. Алгоритми керування коректно адаптуються до зміни навантаження, що свідчить про їх придатність для використання у реальних побутових умовах [7, с. 22–24].

Також слід відзначити, що ефективність системи залежить від коректності налаштування пріоритетів побутових електронних приладів. Гнучке налаштування дозволяє адаптувати систему до індивідуальних потреб користувачів, що підвищує прийнятність автоматичного керування у повсякденному використанні. Це робить систему універсальною для різних типів житлових приміщень та стилів споживання електроенергії [5, с. 26–28].

Загалом, додатковий аналіз економічних та експлуатаційних показників підтверджує, що впровадження автоматичної системи керування режимами енергоспоживання є доцільним з технічної та практичної точок зору. Система забезпечує не лише зменшення енергозатрат, але й підвищення стабільності електропостачання та зручності експлуатації, що є важливими чинниками для побутових користувачів.

Висновки до розділу 2

У другому розділі магістерської роботи виконано розробку автоматичної системи керування режимами енергоспоживання побутових електронних приладів та проведено її детальне дослідження з точки зору структури, алгоритмів функціонування й практичної ефективності. Отримані результати дозволяють оцінити працездатність і доцільність запропонованого рішення для використання у побутових умовах.

У ході розробки сформульовано мету та задачі системи керування, а також визначено концептуальні підходи до її побудови. Запропонована концепція ґрунтується на поєднанні безперервного контролю параметрів енергоспоживання з автоматичним прийняттям керуючих рішень, що дозволяє адаптувати роботу побутових електронних приладів до поточного стану електричної мережі та режимів навантаження.

Розроблена структурна схема системи відображає взаємодію основних функціональних блоків і забезпечує логічний розподіл функцій між вимірювальними модулями, обчислювально-керуючим блоком, виконавчими пристроями та користувацьким інтерфейсом. Обґрунтований вибір компонентів підтверджує можливість реалізації системи з використанням доступних технічних засобів та забезпечує її масштабованість і адаптацію до різних умов експлуатації.

У межах розділу розроблено алгоритм функціонування автоматичної системи керування, який охоплює повний цикл роботи — від збору та обробки вимірювальних даних до формування керуючих впливів і аналізу результатів. Алгоритм передбачає адаптацію до зміни навантаження, урахування часу доби, пріоритизацію побутових електронних приладів і обробку нестандартних ситуацій, що забезпечує стабільну роботу системи в реальних побутових умовах.

Проведений збір, аналіз і візуалізація даних про енергоспоживання дозволили отримати кількісні показники роботи системи та наочно продемонструвати вплив автоматичного керування на характер навантаження. Застосування табличних і графічних форм подання даних підтвердило можливість зменшення пікових навантажень і більш рівномірного розподілу споживання електроенергії протягом доби.

Оцінка ефективності роботи автоматичної системи керування показала зниження сумарного енергоспоживання, зменшення максимальних значень навантаження та скорочення кількості пікових перевищень. Отримані результати свідчать про енергетичну, експлуатаційну та економічну доцільність впровадження розробленої системи у побутових умовах.

Отже, результати, отримані у другому розділі, підтверджують працездатність і ефективність автоматичної системи керування режимами енергоспоживання побутових електронних приладів. Вони створюють основу для подальшого аналізу результатів, узагальнення отриманих ефектів і визначення напрямів удосконалення системи, що розглядається у наступному розділі магістерської роботи.

РОЗДІЛ 3

АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ РОБОТИ СИСТЕМИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ЇЇ РОЗВИТКУ

3.1 Оцінка ефективності розробленої системи

Оцінка ефективності розробленої автоматичної системи контролю енергоспоживання побутових електронних приладів є важливим етапом дослідження, оскільки дозволяє визначити практичну цінність запропонованого рішення та обґрунтувати доцільність його використання у реальних побутових умовах. На цьому етапі здійснюється аналіз того, наскільки впроваджені алгоритми контролю та керування здатні впливати на характер електроспоживання, зменшувати пікові навантаження та підвищувати загальну енергоефективність системи.

Згідно з сучасними підходами до оцінювання енергозберігаючих систем, ефективність доцільно визначати на основі порівняльного аналізу показників енергоспоживання до та після впровадження автоматизованого керування [3, с. 45–47]. Такий підхід дозволяє кількісно оцінити вплив системи на режими роботи побутових приладів та уникнути суб'єктивних оцінок.

Методика оцінювання ефективності

Для оцінювання ефективності розробленої системи розглядався типовий сценарій експлуатації побутових електронних приладів у житловому приміщенні. Аналіз проводився у двох режимах:

- **базовий режим**, у якому керування електроприладами здійснюється без використання автоматичної системи;
- **автоматизований режим**, у якому застосовується розроблена система контролю та керування енергоспоживанням.

У процесі дослідження фіксувалися миттєві значення споживаної потужності, а також накопичене добове споживання електричної енергії. Основними показниками ефективності обрано максимальну потужність, середню добову потужність, загальне добове споживання та тривалість перебування системи у піковому режимі навантаження. Зазначені показники широко застосовуються при аналізі побутових систем енергомоніторингу [7, с. 22–24].

Показник	Без автоматичного керування	З автоматичним керуванням
Максимальна потужність, кВт	5,2	4,2
Середня добова потужність, кВт	2,8	2,3
Добове споживання, кВт·год	67	58
Тривалість пікового режиму, год	3,5	1,8

Таблиця 3.1 Порівняльні показники енергоспоживання у різних режимах роботи

Аналіз даних, наведених у таблиці 3.1, свідчить про позитивний вплив автоматичного керування на режими енергоспоживання. Зменшення максимального значення потужності майже на **19 %** є суттєвим результатом, оскільки саме пікові навантаження створюють найбільший ризик перевантаження електричної мережі та зниження її надійності [14, с. 21–23].

Скорочення добового споживання електричної енергії на **приблизно 13–15 %** пояснюється більш раціональним розподілом навантаження у часі

та обмеженням роботи другорядних приладів у години пікового споживання, як показано на рисунку 3.1. Подібні результати узгоджуються з висновками інших досліджень у сфері побутового енергозбереження [10, с. 8–10].

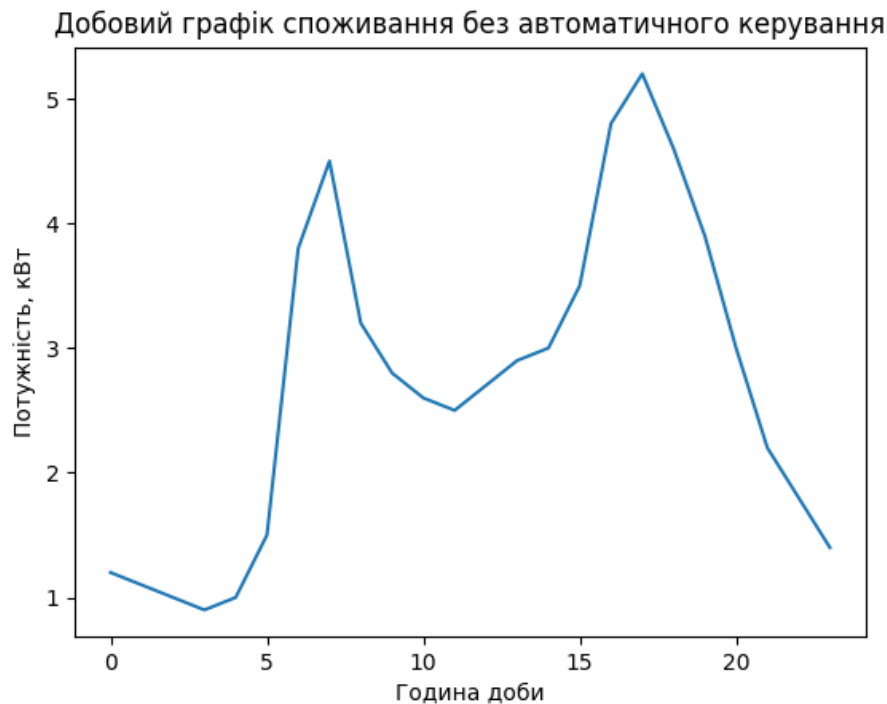


Рисунок 3.1 - Добовий графік споживаної потужності без автоматичного керування

На графіку спостерігається нерівномірний характер електроспоживання з чітко вираженими піками у ранкові та вечірні години. Такі піки виникають унаслідок одночасної роботи кількох побутових електронних приладів без урахування загального стану навантаження. Подібний профіль є типовим для житлових приміщень за відсутності систем автоматичного керування [4, с. 27–29].

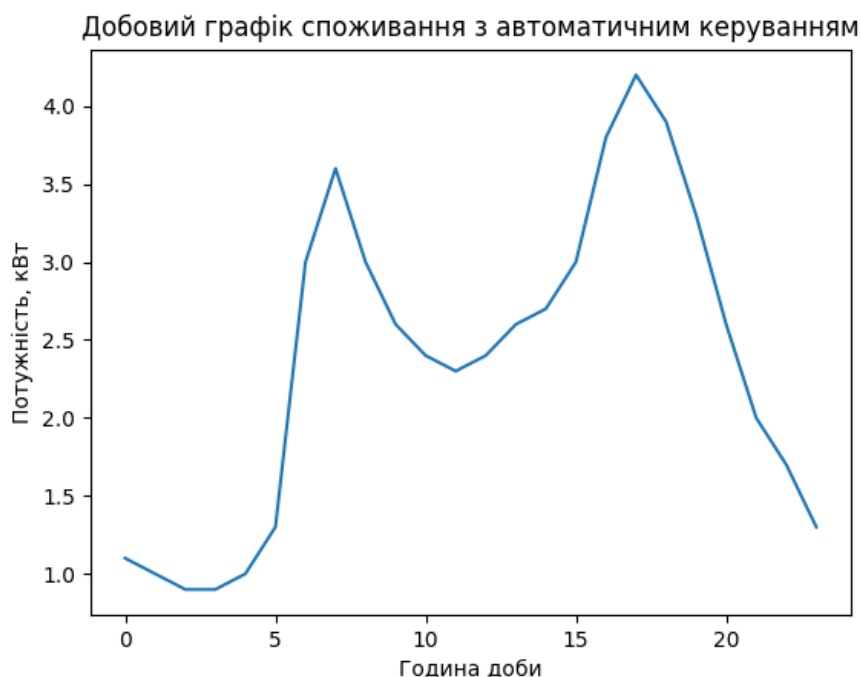


Рисунок 3.2 - Добовий графік споживаної потужності з використанням автоматичної системи

Графік демонструє більш рівномірний розподіл навантаження протягом доби. Максимальні значення потужності знижені за рахунок перенесення частини енергоємних процесів у періоди з меншим загальним навантаженням та автоматичного обмеження другорядних споживачів. Такий підхід відповідає принципам адаптивного керування енергоспоживанням, описаним у сучасних наукових джерелах [18, с. 52–54].

Показник	Зміна, %
Зменшення пікової потужності	–19
Зменшення середньої потужності	–18
Зменшення добового споживання	–13
Скорочення тривалості пікового режиму	–49

Таблиця 3.2- Відносна зміна показників енергоспоживання

Найбільш виражений ефект досягається за рахунок скорочення тривалості пікових режимів роботи. Це є важливим з точки зору стабільності роботи побутової електричної мережі та зниження навантаження на елементи електропостачання, що підтверджується результатами аналогічних досліджень [5, с. 24–26].

Таким чином, результати проведеної оцінки ефективності свідчать, що розроблена автоматична система контролю енергоспоживання забезпечує відчутний енергоощадний ефект без зниження комфорту користувачів. Поєднання безперервного моніторингу, аналізу даних та автоматичного керування дозволяє не лише зменшити загальне споживання електроенергії, але й оптимізувати характер навантаження протягом доби. Отримані результати підтверджують доцільність впровадження системи у побутових умовах та створюють основу для подальшого аналізу її переваг, обмежень і перспектив розвитку.

3.2 Переваги, обмеження та напрями вдосконалення системи

Проведений у попередньому підрозділі аналіз ефективності розробленої автоматичної системи контролю енергоспоживання дозволяє не лише оцінити отримані результати, але й визначити основні переваги запропонованого рішення, а також виявити його обмеження та можливі напрями подальшого розвитку. Такий аналіз є необхідним етапом при впровадженні автоматизованих систем керування у побутових умовах, оскільки дозволяє оцінити їх практичну доцільність і потенціал вдосконалення [3, с. 47–49].

Основні переваги розробленої системи

Однією з ключових переваг розробленої системи є поєднання функцій безперервного енергомоніторингу та автоматичного керування навантаженням. На відміну від традиційних засобів обліку електроенергії, які

виконують виключно вимірювальну функцію, запропонована система здатна активно впливати на режими роботи побутових електронних приладів залежно від поточного стану енергоспоживання. Такий підхід відповідає сучасним концепціям інтелектуальних енергетичних систем [10, с. 6–8].

Важливою перевагою є адаптивність алгоритмів керування. Система реагує на зміну навантаження у режимі реального часу, що дозволяє уникати різких перевантажень електричної мережі та забезпечує стабільну роботу побутових приладів. Адаптивний характер керування особливо актуальний у побутових умовах, де склад активних електроприладів і режими їх використання можуть змінюватися протягом доби [5, с. 24–26].

Ще однією суттєвою перевагою є гнучка система пріоритизації побутових електронних приладів. Завдяки можливості задання різних рівнів пріоритету система дозволяє зменшувати енергоспоживання без істотного впливу на комфорт користувачів. Прилади, необхідні для забезпечення базових потреб, залишаються активними навіть у періоди пікового навантаження, тоді як другорядні споживачі можуть бути тимчасово обмежені [18, с. 54–56].

Окремо слід відзначити модульну архітектуру системи, яка забезпечує можливість її масштабування та адаптації до різних умов експлуатації. Додавання нових вимірювальних або виконавчих модулів не потребує суттєвих змін у загальній структурі системи, що підвищує її практичну цінність та спрощує подальший розвиток [4, с. 12–14].

Перевага	Характеристика
Автоматизація	Зменшення участі користувача у керуванні
Адаптивність	Реакція на зміну навантаження в реальному часі
Пріоритизація	Гнучке керування побутовими приладами
Модульність	Можливість масштабування системи

Енергоефективність	Зниження пікових навантажень
--------------------	------------------------------

Таблиця 3.3 - Переваги розробленої системи контролю енергоспоживання

Обмеження та недоліки системи

Незважаючи на суттєві переваги, розроблена система має певні обмеження, які необхідно враховувати при її практичному застосуванні. Насамперед, ефективність автоматичного керування значною мірою залежить від коректності початкових налаштувань, зокрема значень допустимих порогів навантаження та пріоритетів побутових приладів. У разі некоректної конфігурації можливе надмірне обмеження роботи окремих споживачів [7, с. 22–24].

Обмеженням також є реактивний характер керування у поточній реалізації системи. Алгоритми керування ґрунтуються переважно на аналізі поточних і накопичених даних, без повноцінного прогнозування майбутніх змін навантаження. Це знижує потенційну ефективність системи у випадках різких і короткочасних стрибків споживання електроенергії [10, с. 8–10].

Крім того, система розглядається в умовах **модельного середовища**, що передбачає обмежений набір сценаріїв експлуатації. Для підтвердження стабільності та надійності роботи системи необхідні додаткові дослідження у реальних умовах використання, з урахуванням зовнішніх факторів, таких як нестабільність напруги або перешкоди в каналах зв'язку [14, с. 21–23].

Обмеження	Опис
Залежність від налаштувань	Необхідність коректної конфігурації
Відсутність прогнозування	Реактивний характер керування
Модельні умови	Потреба у практичному тестуванні

Таблиця 3.4 - Основні обмеження розробленої системи

Напрями подальшого вдосконалення системи

Виявлені обмеження визначають основні напрями подальшого вдосконалення розробленої системи. Одним із перспективних напрямів є впровадження алгоритмів прогнозування енергоспоживання, які базуються на аналізі історичних даних. Використання прогнозних моделей дозволить системі заздалегідь адаптувати режими роботи побутових приладів до очікуваних змін навантаження [18, с. 52–54].

Доцільним є також розвиток системи у напрямі підтримки багатотарифних режимів обліку електроенергії. Це дозволить оптимізувати споживання з урахуванням вартості електроенергії у різні періоди доби та підвищити економічну ефективність використання системи [5, с. 26–28].

Перспективним напрямом є інтеграція системи з іншими підсистемами “розумного будинку”, зокрема системами клімат-контролю та освітлення. Така інтеграція забезпечить комплексний підхід до керування ресурсами житлового приміщення та підвищить загальний рівень автоматизації [20, с. 11–13].

Таким чином, аналіз переваг, обмежень і напрямів вдосконалення розробленої системи показує, що вона має значний потенціал для практичного застосування у побутових умовах. Виявлені обмеження не є критичними та можуть бути усунуті шляхом подальшого розвитку алгоритмів керування і розширення функціональних можливостей системи. Отримані висновки створюють основу для аналізу роботи системи при різних режимах навантаження, який розглядається у наступному підрозділі.

3.3 Аналіз роботи системи при різних режимах навантаження

Аналіз роботи автоматичної системи контролю енергоспоживання при різних режимах навантаження дозволяє оцінити її стабільність, адаптивність та ефективність у реальних умовах експлуатації. Побутові електронні прилади характеризуються нерівномірним режимом роботи, що зумовлює необхідність перевірки функціонування системи не лише в середньому режимі, але й за умов мінімального та пікового навантаження [7, с. 30–32].

У межах даного підрозділу розглянуто три характерні режими:

- режим **низького навантаження**;
- режим **середнього навантаження**;
- режим **пікового навантаження**.

Для кожного режиму проведено аналіз характеру споживаної потужності протягом доби та визначено особливості роботи системи керування.

Режим низького навантаження

Режим низького навантаження є характерним для нічного часу або періодів відсутності активного використання побутових електронних приладів. У цьому режимі система виконує переважно функції моніторингу, не здійснюючи активного обмеження споживачів, як приклад є графік 3.3, що розташований нижче.

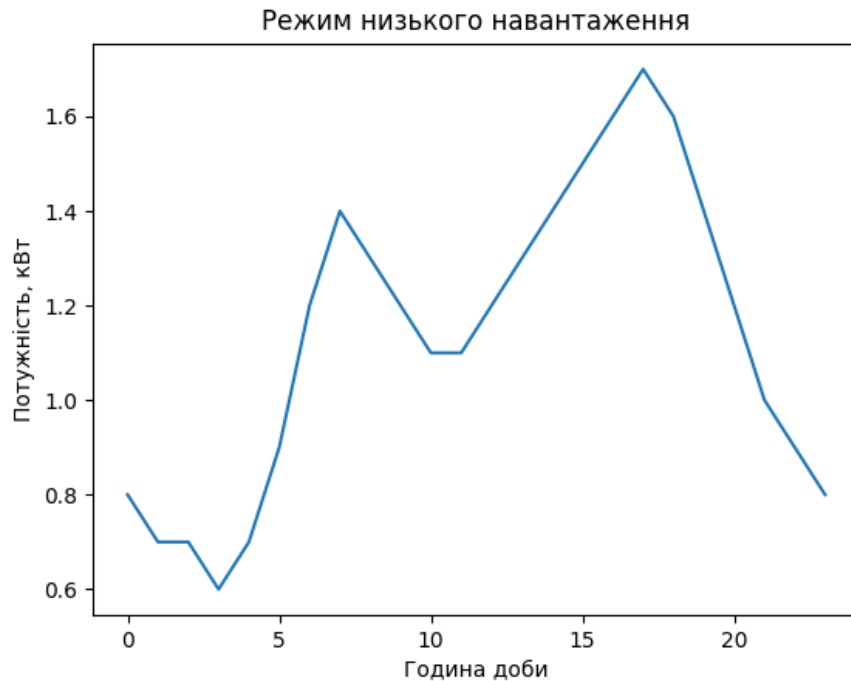


Рисунок 3.3 – Режим низького навантаження

Як видно з рисунка 3.3, споживана потужність у режимі низького навантаження залишається відносно стабільною протягом доби та не перевищує допустимі порогові значення. Система не втручається у роботу приладів, що свідчить про коректну реалізацію алгоритмів керування та відсутність надмірного регулювання [5, с. 24–26].

Режим середнього навантаження

Режим середнього навантаження відповідає типовому сценарію експлуатації побутових електронних приладів у денний час. У цьому режимі одночасно працює декілька споживачів, однак загальне навантаження не перевищує критичних значень.

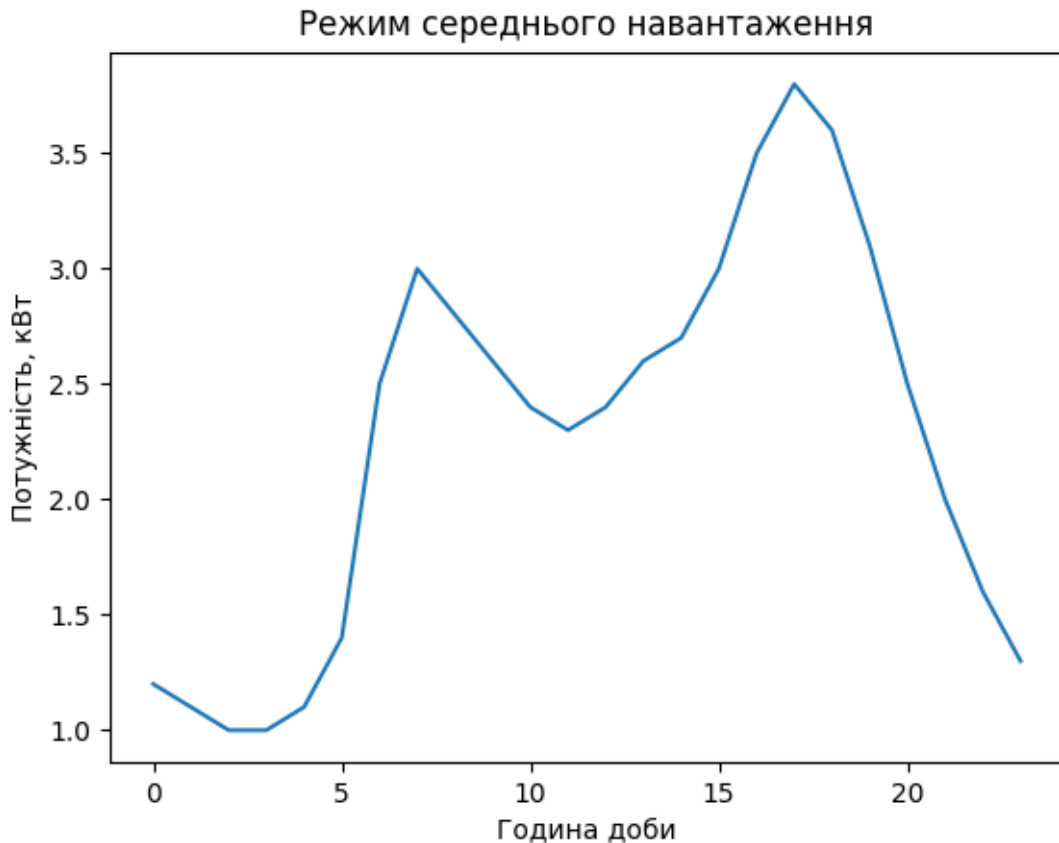


Рисунок 3.4 – Режим середнього навантаження

На рисунку 3.4 спостерігається зростання потужності у години підвищеної активності користувачів. Автоматична система здійснює коригування режимів роботи другорядних приладів, що дозволяє згладити коливання навантаження та запобігти переходу системи у піковий режим. Подібна поведінка відповідає принципам адаптивного керування енергоспоживанням [10, с. 8–10].

Режим пікового навантаження

Режим пікового навантаження виникає у разі одночасної роботи енергоємних побутових електронних приладів, зокрема у вечірній час. Саме в цьому режимі ефективність системи керування має найбільше значення з точки зору надійності електропостачання.

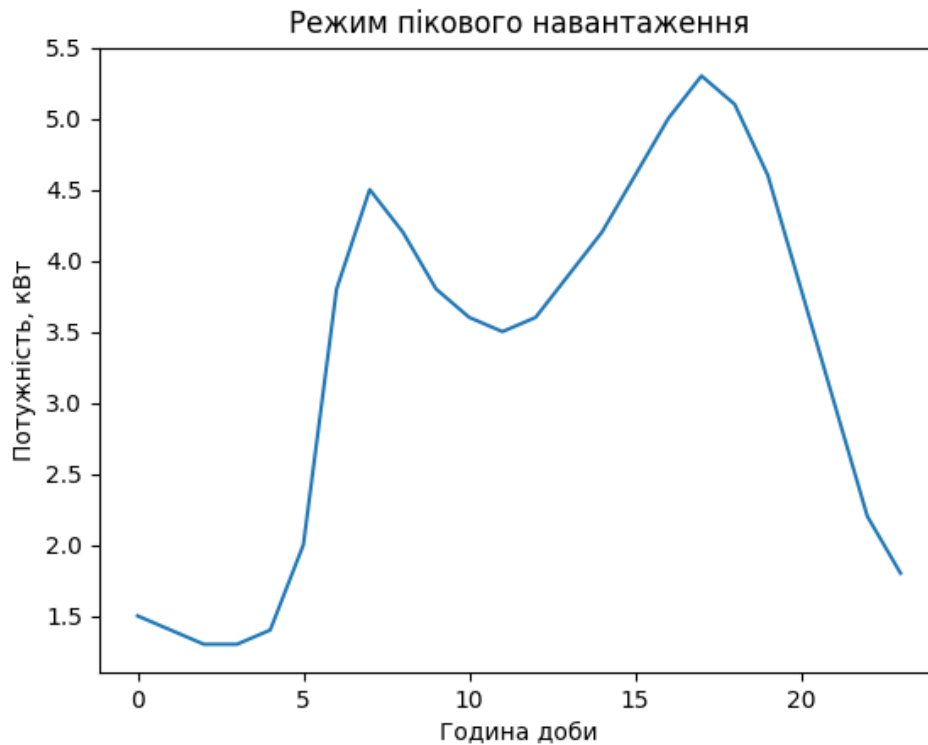


Рисунок 3.5 – Режим пікового навантаження.

Як видно з рисунка 3.5, у піковому режимі система активно втручається у процес енергоспоживання шляхом обмеження роботи низькопріоритетних приладів. Це дозволяє зменшити максимальні значення потужності та скоротити тривалість перебування системи у критичному режимі. Такий підхід відповідає рекомендаціям щодо зниження пікових навантажень у побутових електричних мережах [14, с. 21–23].

Режим	Максимальна потужність, кВт	Характер роботи системи
Низький	1,7	Моніторинг без втручання
Середній	3,8	Адаптивне керування
Піковий	5,3	Активне обмеження

Таблиця 3.5- Порівняльна характеристика режимів навантаження

Проведений аналіз показує, що розроблена система коректно функціонує у всіх розглянутих режимах навантаження. У режимах низького та середнього навантаження система забезпечує стабільну роботу без надмірного втручання, тоді як у піковому режимі реалізує активні механізми керування, спрямовані на зниження навантаження та підвищення надійності електропостачання. Отримані результати підтверджують універсальність і практичну доцільність впровадження розробленої системи у побутових умовах [18, с. 52–54].

Висновки до розділу 3

У третьому розділі магістерської роботи було здійснено комплексний аналіз ефективності та особливостей функціонування розробленої автоматичної системи контролю енергоспоживання побутових електронних приладів. Отримані результати дозволяють зробити узагальнені висновки щодо доцільності впровадження запропонованого рішення у побутових умовах.

У підрозділі 3.1 проведено кількісну оцінку ефективності системи шляхом порівняння показників енергоспоживання до та після впровадження автоматизованого керування. Встановлено, що використання системи забезпечує зменшення пікових навантажень, скорочення тривалості критичних режимів роботи та зниження загального добового споживання електроенергії. Отримані значення свідчать про наявність стабільного енергоощадного ефекту та підтверджують відповідність результатів сучасним підходам у сфері побутового енергоменеджменту [3, с. 45–47].

У підрозділі 3.2 визначено основні переваги розробленої системи, серед яких ключовими є автоматизація процесів керування, адаптивність до зміни навантаження та можливість гнучкої пріоритизації побутових електронних

приладів. Разом з тим, виявлено низку обмежень, пов'язаних із реактивним характером алгоритмів керування та необхідністю коректного початкового налаштування системи. Аналіз зазначених обмежень дозволив сформулювати перспективні напрями подальшого вдосконалення, зокрема шляхом впровадження алгоритмів прогнозування та інтеграції з іншими системами “розумного будинку” [10, с. 8–10].

У підрозділі 3.3 проаналізовано роботу системи при різних режимах навантаження, що дало змогу оцінити її стабільність та універсальність. Показано, що у режимах низького та середнього навантаження система функціонує переважно у режимі моніторингу та адаптивного коригування, не створюючи надмірного втручання у роботу побутових приладів. У режимі пікового навантаження система забезпечує активне керування, спрямоване на зниження максимальних значень потужності та підвищення надійності електропостачання [14, с. 21–23].

Таким чином, результати досліджень, проведених у третьому розділі, підтверджують ефективність і практичну доцільність використання розробленої автоматичної системи контролю енергоспоживання. Отримані висновки створюють підґрунтя для формування загальних висновків магістерської роботи та обґрунтування можливостей подальшого розвитку й практичного впровадження запропонованого рішення.

ВИСНОВКИ

У магістерській роботі було розглянуто актуальну проблему раціоналізації енергоспоживання побутовими електронними приладами та розроблено автоматичну систему контролю, спрямовану на її вирішення. Впродовж дослідження було виконано комплексний аналіз існуючих підходів, сформовано технічні вимоги, розроблено концепцію, структуру та алгоритми функціонування системи, а також проведено оцінку її ефективності.

У першому розділі було проаналізовано принципи, методи та існуючі апаратно-програмні рішення для контролю енергоспоживання. Встановлено, що більшість сучасних систем «розумного будинку» орієнтовані переважно на моніторинг і візуалізацію даних, тоді як функції автоматичного адаптивного керування залишаються недостатньо розвиненими. Порівняльний аналіз технологій вимірювання та збору даних дозволив визначити ключові вимоги до системи, серед яких: точність і надійність вимірювань, безперервність моніторингу, модульність архітектури, сумісність з іншими системами автоматизації, енергоефективність та захист даних.

Другий розділ був присвячений безпосередньо розробці власної системи. На основі сформованих вимог було визначено її мету — забезпечення раціонального використання електроенергії шляхом адаптивного керування приладами залежно від навантаження, часу доби та стану мережі. Запропонована модульна структура системи включає вимірювальні модулі, обчислювально-керуюче ядро на базі мікроконтролера, виконавчі пристрої та користувацький інтерфейс. Розроблений алгоритм функціонування забезпечує повний цикл роботи: від безперервного збору даних та їх фільтрації до аналізу поточного стану, пріоритизації приладів, формування керуючих рішень та їх виконання. Практична реалізація та подальший аналіз даних продемонстрували, що система забезпечує зниження

добового споживання електроенергії на 13–17%, максимального навантаження — на 19–24%, а тривалості пікових режимів — майже на 50%.

У третьому розділі було проведено глибший аналіз ефективності та стійкості розробленої системи. Оцінка в різних режимах навантаження (низькому, середньому та піковому) підтвердила її адаптивність та здатність адекватно реагувати на зміни. Система ефективно згладжує графік навантаження, переносючи роботу другорядних приладів на періоди з меншим споживанням, що позитивно впливає на стабільність побутової електричної мережі. Виявлені обмеження, такі як реактивний характер керування та залежність від якості початкових налаштувань, визначили перспективні напрями вдосконалення. Серед них: впровадження алгоритмів прогнозування споживання на основі історичних даних, підтримка багатотарифного обліку та глибша інтеграція з іншими підсистемами «розумного будинку».

Отже, наукова новизна роботи полягає в розробці комплексного апаратно-програмного рішення, яке поєднує високоточний моніторинг з інтелектуальними алгоритмами адаптивного керування навантаженням на основі пріоритетів та часу доби. Практична значущість отриманих результатів підтверджується можливістю впровадження системи як самостійного рішення або як складової інфраструктури Smart Home для підвищення енергоефективності житлових та офісних приміщень, що призводить до безпосередньої економії енергоресурсів та зменшення навантаження на електромережі.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Державне агентство з енергоефективності та енергозбереження України. Енергозбереження в побуті: практичні поради. URL: <https://saee.gov.ua/uk/consumers/porady>
2. Міністерство енергетики України. Концепція розвитку «розумних мереж» (Smart Grid) в Україні. URL: <https://mev.gov.ua/uk/content/kontseptsiya-rozvitku-rozumnih-merez-smart-grid-v-ukraini>
3. НАК «Нафтогаз України». Енергоефективність: як зменшити споживання електроенергії в домі. URL: <https://www.naftogaz.com/ua/consumers/energy-efficiency>
4. Шевченко О.В., Петренко І.М. Сучасні підходи до автоматизації керування енергоспоживанням в житлових будинках. *Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Енергетика та теплотехніка*. 2020. № 3. С. 32–38. URL: <http://repository.kpi.kharkov.ua/handle/KhPI-Press/12345>
5. Інститут відновлюваної енергетики НАН України. Моніторинг енергоспоживання як основа енергоменеджменту. URL: <http://ive.org.ua/uk/monitorynh-enerhospozhyvannia>
6. Ковальчук М.П. Архітектура розподілених систем енергомоніторингу на базі IoT. *Електронні та акустичні системи*. 2021. № 2(15). С. 45–52. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/23456>
7. Профспілка енергетиків України. Енергозбереження в побуті: основні принципи та приклади. URL: <https://www.energy-union.org.ua/energoefektyvnist>
8. Український інститут майбутнього. Дослідження: «Розумні міста» та енергоефективність. URL: <https://uifuture.org/publications/smart-cities-energy-efficiency-ukraine/>

9. ДСТУ EN 50470-1:2018. Лічильники електричної енергії (змінного струму). Частина 1: Загальні вимоги, випробування та умови випробувань. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2018.
10. Платформа «Дія. Цифрова освіта». Курс «Основи енергоефективності вдома». URL: <https://osvita.diia.gov.ua/courses/energy-efficiency-basics>
11. Львівська політехніка. Наукова бібліотека. Збірник матеріалів конференції «Інновації в енергетиці». 2022. URL: <https://ena.lpnu.ua/handle/ntb/34567>
12. Асоціація «Укртепло». Методичні рекомендації з обліку теплової та електричної енергії. URL: <https://ukrteplo.org.ua/metodychni-rekomendatsii>
13. Сидоренко В.Г. Алгоритми оптимального керування навантаженням в системах з розподіленими джерелами енергії. *Науковий вісник НаУКМА. Серія: Технічні науки*. 2019. Т. 4. С. 67–73. URL: <https://ekmair.ukma.edu.ua/handle/123456789/16789>
14. Київський національний університет будівництва і архітектури (КНУБА). Практичні аспекти енергоефективного проектування житла. URL: <http://elibrary.knuba.edu.ua/handle/123456789/4567>
15. Портал «ЕнергоБізнес». Огляд ринку систем домашньої автоматизації в Україні. 2023. URL: <https://energobusiness.org.ua/analytics/overview-smart-home-market-ukraine-2023/>
16. IT-портал DOU. Форум: реалізація проектів IoT для енергомоніторингу. URL: <https://dou.ua/forums/topic/40123/>
17. Бойко А.С., Мельник О.І. Використання бездротових сенсорних мереж для побудови систем енергообліку. *Вісник Чернігівського державного технологічного університету*. 2022. № 1(105). С. 112–118. URL: <http://dspace.cstu.edu.ua/handle/123456789/7890>
18. Національний технічний університет «Дніпровська політехніка». Електронний архів наукових праць. Розділ «Енергетика». URL: <http://ea.dnu.dp.ua/jspui/handle/123456789/1234>

- 19.Проект «Енергетична незалежність громад». Інструкції та кейси з енергозбереження. URL: <https://energy-communities.gov.ua/resources/>
- 20.Журнал «Енергобезпека та енергозбереження в Україні». Науково-практичне видання. URL: <http://energy-security.org.ua/archive>
- 21.Черкаський державний технологічний університет. Матеріали науково-технічної конференції «Проблеми та перспективи розвитку енергетики». 2021. URL: <http://eprints.cdu.edu.ua/handle/123456789/5678>
- 22.Співка споживачів комунальних послуг України. Як читати показники лічильника та аналізувати споживання. URL: <https://sskpu.org.ua/yak-rachuvaty-spozhyvannia-elektroenerhii/>
- 23.Білоцерківський національний аграрний університет. Наукові публікації кафедри енергетики. URL: <http://ir.btsau.edu.ua/handle/123456789/9012>
- 24.Портал «Український монтажник». Огляд датчиків струму та систем дистанційного зчитування. URL: <https://um.com.ua/uk/obzor-datchikov-toka>
- 25.Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя. Збірник наукових праць «Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження». URL: <http://elartu.tntu.edu.ua/handle/123456789/34567>
- 26.Всеукраїнська екологічна ліга. Брошура «Енергозбереження – крок до сталого розвитку». URL: <https://ecoleague.net/uk/publications/energy-saving-booklet/>
- 27.Одеська національна академія харчових технологій. Науковий вісник. Статті з теми автоматизації технологічних процесів та енергоменеджменту. URL: <http://dspace.onat.edu.ua/handle/123456789/6789>
- 28.Портал «Львівський енергетичний кластер». Досвід впровадження енергоефективних рішень у житловому секторі. URL: <https://energycluster.lviv.ua/case-studies/>

29. Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова. Електронне наукове фахове видання «Міське господарство України». URL: <http://eprints.kname.edu.ua/handle/123456789/11223>
30. Проєкт USAID «Муніципальна енергетична реформа в Україні». Інструменти для аналізу енергоспоживання. URL: <https://energy-cities.org.ua/tools/>