

**Міністерство освіти і науки України**

**Луцький національний технічний університет**

(повне найменування закладу вищої освіти)

**Факультет комп'ютерних та інформаційних технологій**

(повне найменування факультету)

**Кафедра комп'ютерної інженерії та охоронних систем**

(повне найменування кафедри)

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА  
ЗА СТУПЕНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ «БАКАЛАВР»**

**СИСТЕМА ВИЗНАЧЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРИСТРОЇВ РОЗУМНОГО БУДИНКУ**

**A SYSTEM FOR DETERMINING THE EFFICIENCY OF SMART HOME DEVICES**

спеціальність 123 Комп'ютерна інженерія

(шифр і назва спеціальності)

освітня програма Комп'ютерна інженерія

(назва освітньої програми)

Виконав: здобувач вищої освіти

групи КІ-41

Іваськів Назар Васильович

(підпис)

Керівник: к.т.н., доцент

Мельник Катерина Вікторівна

(підпис)

Кваліфікаційну роботу

допущено до захисту

«\_\_\_\_\_» червня 2026 р.

Гарант освітньої програми:

к.т.н., доцент

Лавренчук Світлана Василівна

(підпис)

Луцьк – 2026 року

ЛУЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет комп'ютерних та інформаційних технологій  
Кафедра комп'ютерної інженерії та охоронних систем  
Ступінь вищої освіти: бакалавр  
Галузь знань: 12 Інформаційні технології  
Спеціальність: 123 Комп'ютерна інженерія  
Освітня програма: «Комп'ютерна інженерія»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ к. т. н., доцент Тарас Терлецький

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2026 р.

ЗАВДАННЯ  
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧУ ВИЩОЇ ОСВІТИ

Іваськіву Назарові Васильовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи Система визначення ефективності пристроїв розумного будинку

Керівник роботи: к.т.н., доцент Мельник Катерина Вікторівна

затверджені наказом закладу вищої освіти від «06» травня 2026 року № 242/01-02

2. Строк подання здобувачем вищої освіти кваліфікаційної роботи 28.05.2026 р.

3. Вихідні дані до роботи: Джерелом розробки є науково-технічна література та публікації в періодичних виданнях з даного питання, опубліковані зарубіжні та вітчизняні роботи в даній області, різні інтернет-ресурси технічного спрямування

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, що потрібно розробити):

Вступ

Оглядові матеріали

Технології розумних будинків

Розробка системи визначення ефективності енергозбереження

Висновки

5. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу:

Структура системи управління енергоспоживанням, схема організації модулів, підготовки та обробки даних, блок-схема принципу роботи системи, схема Pipeline основної системи класифікації, графіки статистичного аналізу даних, діаграми розподілу пристроїв за типами та рівнем енергоефективності, скріншоти інтерфейсу користувача, листинги коду розробленої системи

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис	
		завдання видав	завдання прийняв
<i>Оглядові матеріали</i>	<i>Мельник К.В., доцент</i>		
<i>Технології розумних будинків</i>	<i>Мельник К.В., доцент</i>		
<i>Розробка системи визначення ефективності енергозбереження</i>	<i>Мельник К.В., доцент</i>		
<i>Нормоконтроль</i>	<i>Багнюк Н.В., доцент</i>		
<i>Гарант ОП</i>	<i>Лавренчук С.В., доцент</i>		
<i>Показник запозичень тексту</i>		%	
<i>Академічна доброчесність</i>	<i>Міскевич О.І., ст. викладач</i>		

7. Дата видачі завдання 23.12.2025 р.

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи бакалавра	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	<i>Огляд літератури із досліджуваної проблеми, аналіз предметної області та наявних рішень</i>	до 08.05.2026 р.	Виконано
2.	<i>Оглядові матеріали</i>	до 14.05.2026 р.	Виконано
3.	<i>Технології розумних будинків</i>	до 16.05.2026 р.	Виконано
4.	<i>Розробка системи визначення ефективності енергозбереження</i>	до 18.05.2026 р.	Виконано
5.	<i>Представлення остаточного варіанту кваліфікаційної роботи керівникові</i>	до 20.05.2026 р.	Виконано
6.	<i>Нормоконтроль</i>	до 23.05.2026 р.	Виконано
7.	<i>Інструментальна перевірка на академічний плагіат</i>	до 20.05.2026 р.	Виконано
8.	<i>Представлення кваліфікаційної роботи бакалавра до захисту</i>	до 28.05.2026 р.	Виконано

Здобувач вищої освіти

\_\_\_\_\_ (підпис)

Назар ІВАСЬКІВ

\_\_\_\_\_ (прізвище, ініціали)

Керівник кваліфікаційної роботи

\_\_\_\_\_ (підпис)

Катерина МЕЛЬНИК

\_\_\_\_\_ (прізвище, ініціали)

## АНОТАЦІЯ

Іваськів Н. Система визначення ефективності пристроїв розумного будинку. Рукопис.

Кваліфікаційна робота бакалавра ОП «Комп'ютерна інженерія» спеціальності 123 Комп'ютерна інженерія. Луцький національний технічний університет. Луцьк, 2026.

Кваліфікаційна робота складається з вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків.

Перший розділ присвячено аналізу предметної області та основних принципів функціонування систем розумного будинку. Розглянуто сучасні технології та стандарти бездротового зв'язку (Wi-Fi, Zigbee, Z-Wave, Matter), визначено ключові переваги та недоліки використання розумних пристроїв у контексті автоматизації житлового простору.

Другий розділ містить аналіз технологій взаємодії пристроїв та програмних платформ управління (Apple HomeKit, Google Home, Home Assistant). Обґрунтовано параметри та критерії ефективності обладнання, а також розглянуто алгоритми аналізу даних для оцінки енергозбереження. Розкрито теоретичні засади застосування методів SMOTE для балансування вибірок та створення конвеєрів обробки даних (Pipeline).

Третій розділ описує практичну реалізацію інтелектуальної системи бінарної класифікації пристроїв на основі алгоритму Gradient Boosting. Проведено етапи попередньої обробки даних (фільтрація викидів IQR, нормалізація PowerTransformer) та статистичний аналіз значущих параметрів. Розроблено програмний комплекс мовою Python, який забезпечує прогнозування ефективності нових пристроїв з точністю 95,56 % та генерацію рекомендацій щодо оптимізації їх роботи.

Ключові слова: розумний будинок, енергоефективність, класифікація, Gradient Boosting, SMOTE, машинне навчання, Python.

## ANNOTATION

Ivaskiv N. A system for Determining the Efficiency of Smart Home Devices. Manuscript.

Bachelor's qualification thesis of the Educational Program «Computer Engineering» specialty 123 Computer Engineering. Lutsk National Technical University. Lutsk, 2026.

The qualification thesis consists of an introduction, three chapters, conclusions, a list of references, and appendices.

The first chapter is devoted to the analysis of the subject area and the basic principles of smart home system operation. Modern wireless communication technologies and standards (Wi-Fi, Zigbee, Z-Wave, Matter) are examined, and the key advantages and disadvantages of using smart devices in the context of residential space automation are identified.

The second chapter contains an analysis of device interaction technologies and software management platforms (Apple HomeKit, Google Home, Home Assistant). The parameters and criteria for equipment efficiency are substantiated, and data analysis algorithms for evaluating energy savings are considered. The theoretical foundations of applying SMOTE methods for sample balancing and creating data processing pipelines are disclosed.

The third chapter describes the practical implementation of an intelligent binary classification system for devices based on the Gradient Boosting algorithm. The stages of preliminary data processing (IQR outlier filtering, PowerTransformer normalization) and statistical analysis of significant parameters are carried out. A software package in Python has been developed, providing prediction of the efficiency of new devices with an accuracy of 95,56 % and generating recommendations for optimizing their operation.

Keywords: smart home, energy efficiency, classification, Gradient Boosting, SMOTE, machine learning, Python.

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
РОЗДІЛ 1 ОГЛЯДОВІ МАТЕРІАЛИ .....	9
1.1 Основні принципи функціонування систем розумного будинку.....	9
1.2 Сучасні технології та стандарти в розумних будинках .....	11
1.3 Переваги та недоліки використання пристроїв розумного будинку .....	14
РОЗДІЛ 2 ТЕХНОЛОГІЇ РОЗУМНИХ БУДИНКІВ .....	18
2.1. Взаємодія пристроїв та центральних систем управління .....	18
2.2 Платформи та програмне забезпечення для управління розумним будинком .....	25
2.3 Параметри та критерії ефективності пристроїв розумного будинку.....	30
2.4 Алгоритми та методи аналізу даних для оцінки ефективності енергозбереження.....	35
РОЗДІЛ 3 РОЗРОБКА СИСТЕМИ ВИЗНАЧЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ.....	41
3.1 Проектування та розробка системи: структура, архітектура та технічна реалізація.....	41
3.2 Алгоритми прогнозування та моделювання ефективності з використанням Gradient Boosting .....	47
3.3 Практичні результати та оцінка ефективності системи.....	51
ВИСНОВКИ.....	57
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ .....	60

## ВСТУП

Сучасні технології розумного будинку активно розвиваються, дозволяючи підвищувати комфорт, безпеку та енергоефективність житлових приміщень. Системи розумного будинку інтегрують численні пристрої – термостати, освітлення, системи безпеки, побутову техніку – в єдину мережу, що дозволяє автоматизувати управління житловим простором. З розвитком технологій Інтернету речей (IoT) кількість підключених пристроїв у побуті постійно зростає, що створює нові можливості для оптимізації енергоспоживання та покращення якості життя.

Актуальність дослідження зумовлена тим, що зростання кількості пристроїв у розумних будинках призводить до ускладнення управління енергоспоживанням. Традиційні підходи до оцінки ефективності базуються на окремих параметрах (енергоспоживання, швидкість реагування) і не враховують комплексної взаємодії пристроїв між собою. Це не дозволяє отримати об'єктивну картину загальної ефективності системи та виявити пристрої, які потребують оптимізації.

Мета роботи – розробка системи визначення ефективності пристроїв розумного будинку шляхом бінарної класифікації (ефективний / неефективний) на основі аналізу їхніх експлуатаційних параметрів із застосуванням методів машинного навчання.

Завдання:

- аналіз існуючих методів оцінки ефективності пристроїв розумного будинку;
- вивчення алгоритмів машинного навчання для задач класифікації;
- підготовка та статистичний аналіз даних експлуатації пристроїв;
- побудова та навчання моделі класифікації пристроїв за рівнем ефективності;
- оцінка якості моделі та практичне тестування системи прогнозування.

Об'єкт дослідження – пристрої розумного будинку та їхні системи керування.

Предмет дослідження – методи та алгоритми оцінки ефективності пристроїв розумного будинку на основі даних експлуатації.

Методи дослідження:

- аналіз літературних джерел та сучасних технологій;
- статистичні методи (ANOVA, t-тест, тест Шапіро-Вілка);
- методи машинного навчання (Gradient Boosting);
- методи попередньої обробки даних (SMOTE, нормалізація, фільтрація викидів).

Практичне значення – розроблена система дозволить автоматично визначати пристрої з низькою ефективністю, рекомендувати оптимізацію режимів їх роботи та знижувати загальне енергоспоживання розумного будинку.

## РОЗДІЛ 1

### ОГЛЯДОВІ МАТЕРІАЛИ

#### 1.1 Основні принципи функціонування систем розумного будинку

Системи розумного будинку – це інноваційні рішення, які об’єднують різноманітні технології для автоматизації управління житловим простором. Вони дозволяють забезпечити високий рівень комфорту, безпеки, енергоефективності та зручності для мешканців. В основі роботи таких систем лежить інтеграція різних пристроїв, датчиків, контролерів і мережевих технологій, що дозволяє централізовано керувати різними аспектами побуту. Розумні пристрої мають можливість обмінюватися даними і реагувати на зміни в середовищі без необхідності постійного втручання користувача [2, с. 71].

Принципи функціонування таких систем базуються на використанні спеціалізованих датчиків для збору даних (температура, вологість, рівень освітлення, рух тощо) (таблиця 1.1), які обробляються центральним контролером, що приймає рішення щодо подальших дій. Ці системи активно використовують технології автоматизації та керування, що дозволяє створювати оптимальні умови для життєдіяльності мешканців, зменшуючи витрати енергії та підвищуючи рівень безпеки.

Таблиця 1.1 – Детальний опис основних принципів функціонування [12]

Принцип	Опис
Інтеграція пристроїв	Системи розумного будинку об’єднують різні пристрої в одну мережу, що дозволяє їм взаємодіяти між собою. Це забезпечує ефективне та зручне керування, наприклад, через мобільні додатки або голосових асистентів.
Сенсорика	Використання датчиків для збору даних про стан навколишнього середовища. Це можуть бути датчики руху, температури, освітлення, вологості, що забезпечують автоматичну реакцію системи на зміни в середовищі.
Автоматизація	Після отримання даних від датчиків система може автоматично реагувати на зміни, виконуючи необхідні дії без втручання користувача. Наприклад, автоматичне регулювання температури або освітлення.
Енергоефективність	За допомогою розумних пристроїв можна значно знижувати витрати енергії. Наприклад, автоматичне вимкнення освітлення в порожніх кімнатах або налаштування термостатів відповідно до часу доби чи присутності людей.

Продовження таблиці 1.1

Принцип	Опис
Безпека	Для забезпечення безпеки використовуються розумні системи відеоспостереження, сигналізації, замки з дистанційним керуванням, що забезпечують високий рівень захисту житлового простору від зовнішніх загроз.
Комунікація між пристроями	Пристрої можуть взаємодіяти один з одним через різні мережеві протоколи (Wi-Fi, Zigbee, Z-Wave), що забезпечує злагоджену роботу усіх елементів системи. Це дозволяє досягти максимального рівня автоматизації.

У системах розумного будинку всі пристрої взаємодіють між собою за допомогою різних технологій та протоколів. Вони можуть підключатися до центрального контролера або безпосередньо один до одного, що забезпечує інтеграцію всіх пристроїв в єдину систему. Такі системи дозволяють автоматично керувати освітленням, температурою, безпекою, системами кондиціонування та іншими аспектами життя без потреби в ручному втручанні [15].

Для забезпечення точного і своєчасного реагування на зміни навколишнього середовища в розумних будинках використовуються різноманітні датчики. Вони здатні фіксувати такі параметри, як температура, рух, рівень освітлення, вологість, концентрація CO<sub>2</sub>, а також зчитувати споживання електроенергії. Датчики є основним елементом, що дозволяє системі розумного будинку адаптуватися до змін у середовищі, що забезпечує автоматизацію багатьох процесів.

Системи розумного будинку зазвичай налаштовуються таким чином, щоб реагувати на певні зміни без необхідності втручання користувача. Наприклад, розумний термостат може самостійно змінювати температуру в будинку, в залежності від часу доби чи того, чи є хтось у кімнаті. Також автоматизація може включати в себе програмування сценаріїв, таких як активація системи безпеки на ніч або підготовка будинку до приходу мешканців [16].

Одним із основних завдань розумного будинку є зменшення витрат енергії. Наприклад, розумні лампочки можуть автоматично вимикатися в порожніх кімнатах, а система опалення регулюватиме температуру в залежності від

зовнішніх погодних умов або наявності людей в приміщенні. Це не тільки дозволяє економити на електроенергії, але й сприяє більш раціональному використанню ресурсів, що є складовою для захисту навколишнього середовища.

Системи безпеки в розумному будинку включають в себе розумні замки, відеокамери, датчики руху та сигналізації, які дозволяють не лише забезпечити захист житлового простору від несанкціонованих вторгнень, але й надають можливість віддаленого моніторингу ситуації через мобільний додаток або інші платформи. Це забезпечує високий рівень безпеки навіть у відсутність мешканців [17].

Всі пристрої в системі розумного будинку можуть взаємодіяти між собою через різні мережеві протоколи. Наприклад, Wi-Fi, Zigbee, Z-Wave, Bluetooth або Thread – це основні технології для забезпечення безперебійної комунікації між пристроями. Завдяки використанню таких протоколів, пристрої можуть працювати в єдиній мережі, що дозволяє домогтися максимальної автоматизації та інтеграції усіх елементів системи.

Системи розумного будинку є складними і багатофункціональними інструментами, які забезпечують комфорт, безпеку, енергоефективність і автоматизацію в житловому середовищі. Вони працюють на основі інтеграції різних пристроїв через стандартизовані мережеві протоколи та використовують дані, що збираються датчиками, для автоматичного управління різними аспектами житла. Системи розумного будинку дозволяють значно покращити якість життя, забезпечуючи оптимізацію витрат енергії, підвищення безпеки та комфорт, а також відкривають нові можливості для персоналізації та адаптації простору під потреби користувачів.

## **1.2 Сучасні технології та стандарти в розумних будинках**

Розвиток технологій автоматизації та Інтернету речей (IoT) значно розширив можливості розумних будинків, зробивши їх більш ефективними, енергоощадними та зручними для користувачів. Сучасні системи об'єднують

безліч пристроїв і сенсорів, що працюють за різними стандартами зв'язку, такими як Wi-Fi, Zigbee, Z-Wave, Bluetooth, Thread тощо. Взаємодія між цими пристроями забезпечується за допомогою протоколів обміну даними, які дозволяють оптимізувати їхню роботу та забезпечувати безпечне керування [6].

На ринку існує велика кількість стандартів, які визначають принципи функціонування пристроїв розумного будинку, їхню сумісність і рівень безпеки. Окремі виробники, такі як Google, Apple, Amazon та інші, розробляють власні екосистеми, які часто мають обмежену сумісність між собою. Саме тому аспектом розвитку розумного будинку є стандартизація технологій та інтеграція різних пристроїв у єдину систему [8, 87–94].

Різні технології та стандарти відіграють роль у функціонуванні розумних будинків (таблиця 1.2), забезпечуючи їхню сумісність, ефективність та безпеку. Вони визначають, яким чином пристрої взаємодіють між собою, як передають дані та якими способами користувачі можуть керувати системами .

Таблиця 1.2 – Основні сучасні технології та стандарти, що використовуються в розумних будинках [14]

Технологія/стандарт	Опис
Wi-Fi	Широко розповсюджений стандарт бездротового зв'язку, що забезпечує швидке передавання даних між пристроями без додаткових хабів. Високе енергоспоживання може бути недоліком для батарейних пристроїв.
Zigbee	Енергоефективний протокол для роботи з малопотужними пристроями. Використовує сітчасту (mesh) топологію, що підвищує стабільність мережі. Часто застосовується в сенсорах та розумних перемикачах.
Z-Wave	Схожий на Zigbee, але працює на іншій частоті та має більший радіус дії. Використовується в системах безпеки, автоматизації освітлення та клімат-контролю.
Bluetooth (BLE)	Використовується для зв'язку пристроїв на коротких відстанях. Висока енергоефективність робить його ідеальним для датчиків і носимих пристроїв.
Thread	Новий стандарт, який використовує IP-мережі для взаємодії пристроїв. Підтримується такими компаніями, як Google та Apple, та є основою для стандарту Matter.
Matter	Інноваційний відкритий стандарт, що забезпечує сумісність між пристроями різних виробників. Підтримує Wi-Fi, Thread і Ethernet, що дозволяє легко інтегрувати розумні пристрої в єдину екосистему.

## Продовження таблиці 1.2

Технологія/стандарт	Опис
KNX	Дротовий стандарт автоматизації будівель, широко використовується в комерційних об'єктах та розумних будинках преміум-класу.
BACnet	Використовується у великих будівлях та системах автоматизації, особливо для керування HVAC (опалення, вентиляція, кондиціонування).
HomeKit (Apple)	Протокол компанії Apple для керування пристроями розумного будинку через додаток «Дім» і голосовий помічник Siri. Вимагає суворої сертифікації пристроїв.
Google Home	Екосистема Google для розумного будинку, що підтримує широкий спектр пристроїв, керованих через Google Assistant.
Amazon Alexa	Система голосового керування розумними пристроями від Amazon, що забезпечує інтеграцію з багатьма виробниками.

Описані технології розрізняються за принципом роботи, радіусом дії, енергоспоживанням та можливістю інтеграції з іншими пристроями. Деякі з них, такі як Wi-Fi, забезпечують швидкий обмін даними, але потребують високого енергоспоживання, тоді як Zigbee та Z-Wave оптимізовані для малопотужних пристроїв і дозволяють створювати сітчасті мережі з підвищеною надійністю.

Значним проривом у стандартизації став Matter – універсальний стандарт, який спрощує інтеграцію пристроїв різних виробників. Його мета – забезпечити взаємодію між Google Home, Apple HomeKit, Amazon Alexa та іншими платформами, що усуває проблему сумісності між брендами [9].

Окрім протоколів передачі даних, головним аспектом є забезпечення безпеки в розумних будинках. Сучасні стандарти передбачають використання шифрування, двофакторної автентифікації та постійного оновлення програмного забезпечення для запобігання кібератакам.

Розвиток технологій та стандартів у розумних будинках значно впливає на їхню ефективність, енергоощадність та безпеку. Різні бездротові та дротові протоколи забезпечують комунікацію між пристроями, дозволяючи користувачам створювати автоматизовані сценарії для підвищення комфорту.

Основною тенденцією є перехід до відкритих стандартів, таких як Matter, що спрощує інтеграцію пристроїв різних виробників. Крім того, все більше уваги приділяється питанням безпеки та захисту даних користувачів. Подальший

розвиток цих технологій сприятиме розширенню можливостей розумного будинку та забезпечить його доступність для ширшого кола користувачів.

### **1.3 Переваги та недоліки використання пристроїв розумного будинку**

Системи розумного будинку, що базуються на автоматизації та Інтернеті речей (IoT), стають дедалі популярнішими серед користувачів завдяки своїм численним перевагам. Вони можуть значно полегшити життя, підвищити комфорт, безпеку та енергоефективність. Однак, попри всі переваги, є й певні обмеження та ризики, пов'язані з їхнім використанням. Варто розглядати не тільки переваги, але й недоліки, щоб мати повне уявлення про вплив таких технологій на повсякденне життя.

Однією з основних переваг розумних будинків є значне підвищення рівня комфорту. Користувачі можуть контролювати температуру, освітлення, систему безпеки та інші пристрої за допомогою смартфона, голосових команд або автоматичних сценаріїв. Наприклад, розумний термостат може самостійно регулювати температуру в кімнаті, а розумні лампочки можуть змінювати яскравість залежно від часу доби або активності в кімнаті. Розумні пристрої допомагають знизити споживання енергії та ресурсів. Наприклад, автоматичне вимкнення освітлення у порожніх кімнатах, регулювання температури в залежності від погодних умов та активності людей дозволяє значно зменшити витрати на електроенергію, опалення та кондиціонування. Це не тільки економить гроші, але й сприяє збереженню навколишнього середовища .

Системи безпеки в розумних будинках, такі як відеокамери, датчики руху, розумні замки та сигналізації, забезпечують високий рівень захисту. Вони можуть автоматично активувати сигналізацію в разі виявлення несанкціонованої активності або дозволяти дистанційно перевіряти ситуацію через смартфон. Розумні замки також дозволяють віддалено відкривати двері для гостей або родичів. Завдяки автоматизованим сценаріям можна налаштувати пристрої так, щоб вони працювали у відповідь на певні умови або події. Наприклад, система може автоматично увімкнути освітлення при виявленні руху або налаштувати

температуру в кімнаті, коли ви повертаєтеся додому [18]. Ці налаштування забезпечують зручність і зменшують необхідність ручного втручання.

Інсталяція розумних технологій може підвищити ринкову вартість будинку або квартири. Системи автоматизації, енергозбереження та безпеки є додатковими перевагами, які приваблюють потенційних покупців чи орендарів.

Одним із основних недоліків систем розумного будинку є висока вартість первісного обладнання та встановлення. На початковому етапі закупівля пристроїв, таких як розумні термостати, замки, освітлення, камери спостереження та інші компоненти, може бути значною. Ці пристрої часто мають високу ціну через використання передових технологій та матеріалів, а також через їх інноваційні функції. Для прикладу, розумний термостат, який дозволяє автоматично регулювати температуру в приміщенні, може коштувати значно більше, ніж звичайний аналог, через вбудовані датчики, програмне забезпечення та можливості інтеграції з іншими пристроями.

Окрім безпосередніх витрат на самі пристрої, на інтеграцію всієї системи розумного будинку необхідно додатково витратити на налаштування, підключення та обслуговування. Підключення системи до домашньої мережі Wi-Fi або інші протоколи зв'язку, такі як Zigbee або Z-Wave, вимагають спеціального обладнання та професіоналів для коректного налаштування. Це включає підключення усіх пристроїв до єдиної мережі та їх інтеграцію між собою. Крім того, для правильного функціонування може знадобитися постійна технічна підтримка або обслуговування системи, особливо коли з'являються оновлення програмного забезпечення або змінюються вимоги щодо безпеки.

Іншим аспектом є потреба в стабільному інтернет-з'єднанні для роботи багатьох пристроїв розумного будинку. Більшість із цих пристроїв, таких як камери спостереження, замки або термостати, потребують постійного підключення до Інтернету для обміну даними з центральним контролером або мобільним додатком користувача. У випадку перебоїв з інтернет-з'єднанням чи збоєм в мережі, деякі пристрої можуть втратити свою функціональність. Це може призвести до значних незручностей для користувачів, адже в такому випадку

система може не виконувати свої основні функції наприклад, не буде можливості віддалено відкрити двері або змінити температуру в будинку.

Це також створює додаткову загрозу безпеці. Якщо, наприклад, система безпеки, яка базується на відеокамерах або датчиках руху, не отримує доступ до мережі або втрачає з'єднання, то вона може не виявити потенційну загрозу. В результаті, користувачі можуть залишитися без належного захисту в момент, коли він найбільше потрібен. Враховуючи це, варто мати резервні джерела зв'язку або автономні функції для деяких пристроїв, щоб мінімізувати ризик втрати контролю над системою в разі збоїв у мережі.

Таким чином, висока вартість первісного обладнання, додаткові витрати на налаштування та обслуговування, а також залежність від стабільного підключення до Інтернету створюють певні труднощі для впровадження та експлуатації систем розумного будинку. Враховуючи це, варто ретельно планувати інвестиції в ці технології та забезпечити їх належну підтримку для досягнення максимальної ефективності та надійності системи.

На ринку існує велика кількість різних стандартів та протоколів для розумних пристроїв (Wi-Fi, Zigbee, Z-Wave, Bluetooth тощо), і не всі пристрої взаємодіють між собою. В результаті можуть виникати проблеми із сумісністю між пристроями різних виробників або платформ (Google Home, Apple HomeKit, Amazon Alexa). Хоча розумні будинки забезпечують підвищену безпеку, вони самі по собі є потенційною загрозою для конфіденційності користувачів. Деякі пристрої, особливо ті, що працюють через Інтернет, можуть стати мішенями для хакерських атак. Шифрування та захист даних, звичайно, застосовуються, але існує ризик витоку персональної інформації через уразливості в системах. Для багатьох користувачів налаштування та інтеграція різних пристроїв розумного будинку може бути складною задачею, особливо для тих, хто не володіє достатніми технічними знаннями. Це може призвести до потреби в допомозі фахівців для правильного встановлення та налаштування всієї системи.

Пристрої розумного будинку мають значні переваги, зокрема в плані комфорту, енергоефективності, безпеки та автоматизації. Вони здатні значно

полегшити повсякденне життя, знижуючи витрати на енергію та підвищуючи рівень захисту. Однак їх використання не позбавлене недоліків, серед яких висока вартість, проблеми з сумісністю пристроїв, залежність від стабільного Інтернет-з'єднання та потенційні ризики для конфіденційності. Врахування цих аспектів дозволить користувачам правильно оцінити доцільність впровадження розумних технологій у своєму домі та зробити обґрунтоване рішення про їх використання.

## РОЗДІЛ 2

### ТЕХНОЛОГІЇ РОЗУМНИХ БУДИНКІВ

#### 2.1. Взаємодія пристроїв та центральних систем управління

Розумні будинки – це інноваційна концепція, яка включає в себе інтеграцію сучасних технологій та автоматизованих систем управління для забезпечення комфорту, безпеки та енергоефективності житлових приміщень. Вони використовують пристрої, які здатні взаємодіяти між собою та з користувачем через інтернет, обробляти дані та адаптувати роботу відповідно до умов навколишнього середовища або вимог мешканців.

Технології розумних будинків охоплюють широкий спектр інновацій, серед яких Інтернет речей (IoT), системи автоматизації, датчики та пристрої, що взаємодіють через платформи для забезпечення інтеграції і зручності управління. Однією з основних цілей розумного будинку є забезпечення зручного контролю за різними параметрами житлового середовища, включаючи температуру, освітлення, безпеку, споживання енергії та інші аспекти, що сприяють покращенню якості життя мешканців [11].

Незважаючи на те, що технології розумного будинку все більше набирають популярності, впровадження цих систем потребує високої технічної підготовки, а також значних фінансових вкладень. Водночас, з огляду на зростаючі вимоги до енергоефективності та екологічності, розвиток цих технологій стає все більш актуальним, оскільки вони дозволяють значно знизити споживання енергії, автоматизувати рутинні процеси та забезпечити більш комфортне і безпечне середовище для мешканців [13].

У цьому розділі розглядаються основні технології та інструменти, що використовуються в системах розумного будинку, а також аспекти їх впровадження та інтеграції. Технології IoT, автоматизація, програмні платформи для управління, а також алгоритми для енергозбереження є складовими, які забезпечують не тільки високий рівень комфорту, але й ефективне використання ресурсів у житлових приміщеннях [19].

У системах розумного будинку взаємодія між різними пристроями та центральними системами управління є основою для досягнення оптимальної роботи та інтеграції технологій. Це дозволяє не лише ефективно управляти окремими компонентами, а й забезпечує їх синхронізовану роботу, що підвищує зручність, безпеку та енергоефективність. Центральна система управління відіграє роль координатора для всіх підключених пристроїв, забезпечуючи їх взаємодію через певні комунікаційні протоколи [7, с. 87-94].

Основними завданнями систем управління є обробка даних від пристроїв, прийняття рішень на основі отриманої інформації та передача команд для виконання відповідних дій. Така інтеграція дозволяє пристроям автоматично адаптуватися до змінних умов навколишнього середовища, впроваджуючи сценарії для оптимізації енерговитрат, підвищення рівня безпеки та забезпечення комфорту для мешканців. У таблиці 2.1 наведено опис взаємодії пристроїв та центральних систем управління.

Таблиця 2.1 – Опис взаємодії пристроїв та центральних систем управління

Тип взаємодії	Опис
Передача даних між пристроями	Пристрої в розумному будинку збирають дані (температура, вологість, рух, освітлення, споживання енергії тощо) та передають їх до центральної системи управління для аналізу та подальших дій.
Комунікаційні протоколи	Для взаємодії пристроїв між собою та з центральною системою використовуються різні протоколи зв'язку, такі як Wi-Fi, Zigbee, Z-Wave, Bluetooth, Thread тощо. Вибір протоколу залежить від вимог до швидкості, діапазону та енергоспоживання.
Автоматичні сценарії та адаптація	Центральна система обробляє отримані дані від пристроїв і на їх основі автоматично виконує налаштовані сценарії. Наприклад, автоматичне вимикання світла, регулювання температури або активація системи безпеки на основі часового або ситуаційного контексту.
Інтерфейси для користувачів	Користувач може взаємодіяти з розумним будинком через мобільні додатки, голосових асистентів або панелі управління. Вони дозволяють задавати параметри для пристроїв, контролювати стан системи та змінювати налаштування.
Зворотний зв'язок і моніторинг	Система не лише отримує дані від пристроїв, але й надає зворотний зв'язок користувачу щодо стану системи, а також надсилає повідомлення в разі неполадок або аварійних ситуацій.
Взаємодія між пристроями	Розумні пристрої можуть автоматично взаємодіяти один з одним без участі центрального контролера. Наприклад, освітлення може включатися при активації датчиків руху або термостат автоматично змінювати налаштування в залежності від присутності людей у кімнаті.

Взаємодія між пристроями розумного будинку базується на безперервному зборі та передачі даних. Наприклад, сенсори температури або вологості постійно передають інформацію про поточний стан навколишнього середовища до центрального контролера. Ці дані використовуються для ухвалення рішень, таких як зміна налаштувань термостата або активація системи вентиляції. Передача даних є необхідною для того, щоб система могла адекватно реагувати на зміни і забезпечити належний рівень комфорту, безпеки чи енергоефективності.

Головною складовою ефективної взаємодії пристроїв і центральної системи є вибір комунікаційних протоколів, які визначають, як пристрої обмінюються даними. Наприклад, Wi-Fi дозволяє забезпечити швидке з'єднання та високу пропускну здатність для обміну великими об'ємами даних, але потребує наявності стабільного інтернет-з'єднання [5, с. 55-61]. Протоколи, такі як Zigbee або Z-Wave, використовуються для пристроїв з низьким споживанням енергії, але мають меншу дальність дії та пропускну здатність. Вибір протоколу визначається вимогами до продуктивності системи.

Центральна система розумного будинку здатна створювати та виконувати автоматичні сценарії на основі даних, що надходять від пристроїв. Наприклад, якщо датчики руху фіксують відсутність людей у приміщенні, система може автоматично вимкнути освітлення або знизити температуру. Ці сценарії можуть бути налаштовані заздалегідь на основі певних параметрів (час доби, наявність людей, температура, освітлення) або виконуватися в залежності від поточної ситуації, що дозволяє знижувати енергоспоживання та підвищувати ефективність роботи системи.

Взаємодія з розумним будинком може здійснюватися через інтерфейси, які надають користувачеві контроль над всіма пристроями системи. Це можуть бути мобільні додатки для смартфонів, які дозволяють віддалено керувати освітленням, температурою, безпекою тощо, або голосові асистенти, такі як Amazon Alexa чи Google Assistant. Інтерфейси дають змогу не лише налаштовувати параметри пристроїв, а й отримувати зворотний зв'язок про стан

системи в реальному часі, що дозволяє оперативно реагувати на зміни та інциденти.

Головним елементом інтеграції пристроїв з центральною системою є зворотний зв'язок. Якщо один із пристроїв фіксує проблему (наприклад, несправність системи безпеки, зміну температури або рівня вологості), система може надіслати сповіщення користувачу через мобільний додаток або інші канали зв'язку. Це дозволяє вчасно реагувати на будь-які зміни або загрози, що підвищує рівень безпеки та функціональність системи.

Взаємодія між пристроями є однією з характеристик розумного будинку. Замість того, щоб кожен пристрій працював ізольовано, вони можуть автоматично взаємодіяти один з одним, забезпечуючи більш високий рівень інтеграції. Наприклад, розумний термостат може автоматично регулювати температуру в кімнаті залежно від часу доби, а освітлення – від присутності людей. Таке автоматичне керування забезпечує максимальний комфорт і енергоефективність.

Інтелектуальні системи управління енергоспоживанням у розумному будинку передбачають складну взаємодію між окремими пристроями та централізованими системами управління. Ця взаємодія є ключовим фактором для досягнення оптимального рівня енергоефективності та комфорту користувачів.

Архітектура взаємодії пристроїв з центральними системами управління базується на багаторівневій моделі комунікації. На нижньому рівні знаходяться окремі розумні пристрої (колонки, камери, системи безпеки, термостати, світлотехніка тощо), які збирають первинні дані про своє функціонування. Ці дані включають параметри енергоспоживання, режими роботи, тривалість активного використання та технічний стан пристроїв. У таблиці 2.2 наведено список цих параметрів

Таблиця 2.2 – Ключові параметри, які використовує система управління

Параметр	Опис	Використання в системі
UsageHoursPerDay	Години активного використання пристрою протягом доби	Аналіз інтенсивності використання, виявлення патернів

## Продовження таблиці 2.2

Параметр	Опис	Використання в системі
EnergyConsumption	Рівень споживання електроенергії пристроєм	Основний показник для оцінки енергоефективності
UserPreferences	Параметри налаштувань пристрою відповідно до потреб користувача	Аналіз впливу користувацьких налаштувань на енергоспоживання
MalfunctionIncidents	Кількість зафіксованих випадків несправностей	Оцінка надійності та технічного стану пристрою
DeviceAgeMonths	Час експлуатації пристрою у місяцях	Врахування впливу зношення на енергоефективність

Взаємодія між пристроями та центральною системою управління здійснюється за допомогою стандартизованих протоколів зв'язку. Хоча в наданому коді безпосередньо не вказані конкретні протоколи, поширеними технологіями для таких систем є.:

- Wi-Fi для пристроїв з високими вимогами до пропускну здатності;
- Bluetooth Low Energy (BLE) для пристроїв з обмеженим енергоспоживанням;
- Zigbee та Z-Wave для створення mesh-мереж з низьким енергоспоживанням;
- MQTT як протокол передачі повідомлень для IoT-пристроїв.

Центральна система управління використовує кілька механізмів для збору та аналізу даних від розумних пристроїв. У наданому коді продемонстровано складний процес обробки даних, який включає:

Збір первинних даних – система накопичує інформацію про енергоспоживання та режими роботи пристроїв у базі даних.

Виявлення та обробка аномалій – застосовується метод міжквартильного розмаху (IQR) для ідентифікації та фільтрації аномальних показників (рис. 2.1).

```

for feature in numerical_features:
    Q1 = df[feature].quantile(0.25)
    Q3 = df[feature].quantile(0.75)
    IQR = Q3 - Q1
    df = df[~((df[feature] < (Q1 - 1.5 * IQR)) | (df[feature] > (Q3 + 1.5 * IQR)))]

```

Рисунок 2.1 – Метод міжквартильного розмаху (IQR)

Нормалізація показників – здійснюється трансформація даних для забезпечення їх зіставності (рис. 2.2).

```

for feature in numerical_features:
    stat, p = shapiro(df[feature])
    if p < 0.05:
        transformer = PowerTransformer()
        df[feature] = transformer.fit_transform(df[feature].values.reshape(-1, 1))

```

Рисунок 2.2 – Трансформація даних для забезпечення їх зіставності

Статистичний аналіз – проводиться порівняння груп пристроїв з різною ефективністю (рис. 2.3).

```

for feature in numerical_features:
    stat, p = f_oneway(df[df['SmartHomeEfficiency'] == 0][feature],
                      df[df['SmartHomeEfficiency'] == 1][feature])

```

Рисунок 2.3 – Порівняння груп пристроїв з різною ефективністю

Центральна система управління використовує алгоритми машинного навчання для прийняття рішень щодо оптимізації енергоспоживання. Основу системи прийняття рішень складає Gradient Boosting Classifier, який аналізує комплекс параметрів для класифікації пристроїв за рівнем енергоефективності (рис. 2.4).

```

pipeline = Pipeline([
    ('smote', SMOTE(sampling_strategy=1.0)),
    ('scaler', StandardScaler()),
    ('classifier', GradientBoostingClassifier())
])

```

Рисунок 2.4 – Pipeline основної системи

Система використовує бінарну класифікацію для віднесення пристроїв до однієї з двох категорій:

- клас 0 – низька енергоефективність;
- клас 1 – висока енергоефективність.

Аналіз даних свідчить про суттєві відмінності у взаємодії різних типів пристроїв із центральною системою управління (таблиця 2.3). В кодї продемонстровано порівняльний аналіз різних типів пристроїв:

Таблиця 2.3 – Особливості взаємодії за типами пристроїв [18]

Тип пристрою	Особливості взаємодії	Енергоефективність
Smart Speaker (Розумна колонка)	Низьке енергоспоживання, тривалий час активного використання	Переважно висока
Camera (Камери)	Середнє енергоспоживання, значні коливання в режимах роботи	Змішана
Security System (Система безпеки)	Високе енергоспоживання, цілодобовий режим роботи	Переважно низька
Lights (Освітлення)	Низьке енергоспоживання, висока частота включень/виключень	Висока
Thermostat (Термостат)	Середнє енергоспоживання, сезонні варіації навантаження	Змішана

Центральна система управління реалізує адаптивні механізми оптимізації енергоспоживання на основі аналізу патернів використання пристроїв. Ключовим аспектом є виявлення залежності між часом використання та енергоспоживанням. Аналіз даних дозволяє центральній системі оптимізувати режими роботи пристроїв з урахуванням індивідуальних патернів використання та енергоспоживання. Система здатна прогнозувати енергоефективність для нових конфігурацій пристроїв:

Аналіз взаємодії пристроїв з центральною системою управління демонструє комплексну архітектуру обміну даними та прийняття рішень. Система збирає та аналізує широкий спектр параметрів, що дозволяє ефективно класифікувати пристрої за рівнем енергоефективності з точністю 95,56 %.

Ключовими факторами, що визначають енергоефективність, є тип пристрою, час використання та співвідношення між тривалістю роботи та енергоспоживанням. Центральна система управління дозволяє оптимізувати

режими функціонування окремих пристроїв для досягнення максимальної енергоефективності розумного будинку в цілому.

Взаємодія пристроїв та центральних систем управління є основною складовою систем розумного будинку, що дозволяє забезпечити їхню ефективну роботу. Завдяки різноманітним комунікаційним протоколам, автоматичним сценаріям і адаптації до потреб користувача, розумні пристрої здатні працювати в синхронії, виконуючи завдання з оптимізації енергоспоживання, підвищення безпеки та покращення комфорту. Основну роль у цьому процесі відіграють зворотний зв'язок і можливість моніторингу стану системи, що дозволяє своєчасно реагувати на будь-які зміни та проблеми. Взаємодія між пристроями та центральною системою управління формує основу для ефективної роботи системи розумного будинку, підвищуючи її зручність, функціональність та безпеку.

## **2.2 Платформи та програмне забезпечення для управління розумним будинком**

Управління розумним будинком неможливе без використання спеціалізованих платформ та програмного забезпечення, які забезпечують інтеграцію різних пристроїв, моніторинг їхнього стану, а також керування системами в реальному часі. Платформи для управління дозволяють централізовано контролювати всі компоненти розумного будинку через інтерфейси, такі як мобільні додатки, веб-панелі або голосових асистентів. Вибір правильної платформи та програмного забезпечення є основним для забезпечення стабільної, безпечної та ефективної роботи всієї системи [4].

Програмне забезпечення для розумного будинку зазвичай включає не лише базові функції контролю та моніторингу, але й можливості для налаштування автоматичних сценаріїв, інтеграції з іншими системами, а також додаткові функції, такі як аналіз даних, звітність і сповіщення. Оскільки кожна система може включати різноманітні пристрої, вибір програмного забезпечення та

платформи має враховувати специфіку кожного конкретного розумного будинку (таблиця 2.4).

Таблиця 2.4 – Опис платформ та програмного забезпечення для управління розумним будинком

Платформа / Програмне забезпечення	Опис	Особливості
Apple HomeKit	Платформа для управління розумними пристроями від Apple, що інтегрується з iPhone, iPad, і Mac. Задля керування використовуються додатки та Siri.	Підтримка великої кількості пристроїв, інтеграція з іншими продуктами Apple, безпека на високому рівні.
Google Home	Платформа для управління пристроями розумного будинку від Google. Використовує додаток Google Home для налаштування та керування пристроями.	Інтеграція з голосовим асистентом Google Assistant, підтримка широкого спектра пристроїв, зручний інтерфейс.
Amazon Alexa	Платформа Amazon для керування розумними пристроями через голосового помічника Alexa. Може бути використана через додаток Alexa на мобільному телефоні або через Echo.	Можливість голосового керування, велика бібліотека підтримуваних пристроїв, інтеграція з іншими Amazon-сервісами.
SmartThings (Samsung)	Платформа для управління пристроями розумного будинку, що підтримує великі можливості інтеграції пристроїв. Використовує додаток SmartThings для керування.	Підтримка широкого спектра пристроїв, можливість створення автоматизованих сценаріїв, інтеграція з Samsung.
Home Assistant	Відкрита платформа для автоматизації та управління розумним будинком, доступна для користувачів на будь-яких пристроях (ПК, смартфони, планшети).	Повна контрольованість, розширені можливості налаштування, підтримка великої кількості пристроїв та протоколів.
Hubitat Elevation	Система для автоматизації будинку, яка працює на локальному сервері. Підтримує зв'язок з багатьма типами пристроїв через різні протоколи.	Без необхідності постійного підключення до Інтернету, висока швидкість виконання сценаріїв, хороша масштабованість.
OpenHAB	Відкрите програмне забезпечення для автоматизації будинку, яке забезпечує інтеграцію з великою кількістю пристроїв.	Підтримка широкого спектра пристроїв та платформ, можливість налаштування і розширення функціональності.
Wink Hub	Платформа для автоматизації розумного будинку, що підтримує різні типи пристроїв. Для керування використовується додаток Wink.	Простота в налаштуванні, інтеграція з багатьма пристроями, можливість створення сценаріїв автоматизації.

Apple HomeKit є платформою, орієнтованою на користувачів екосистеми Apple. Вона дозволяє інтегрувати пристрої різних виробників, забезпечуючи централізоване керування через додаток «Home» на iPhone, iPad або Mac. Використовуючи Siri, можна керувати пристроями голосом. Однією з головних переваг є високий рівень безпеки та шифрування даних, що забезпечує захист від несанкціонованого доступу.

Google Home дозволяє користувачам керувати пристроями через мобільний додаток «Google Home» або за допомогою голосового помічника Google Assistant. Ця платформа підтримує інтеграцію з численними пристроями, такими як термостати, лампи, замки, відеокамери та інші елементи розумного будинку. Вона також забезпечує можливість створення автоматизованих сценаріїв для ефективного управління житловим простором.

Amazon Alexa є однією з найбільш популярних платформ для автоматизації будинку. Вона дозволяє користувачам використовувати голосове управління для керування розумними пристроями через Echo або додаток Alexa. Вона підтримує широкий спектр пристроїв і є дуже гнучкою в налаштуванні автоматизацій, дозволяючи створювати сценарії для різних ситуацій. Крім того, інтеграція з іншими продуктами Amazon робить цю платформу зручною для тих, хто вже користується сервісами компанії.

Платформа SmartThings від Samsung пропонує інтеграцію з великою кількістю пристроїв та дозволяє створювати автоматизовані сценарії для оптимізації роботи розумного будинку. Вона підтримує голосове управління через Google Assistant або Amazon Alexa. Однією з особливостей SmartThings є можливість інтеграції з іншими продуктами Samsung, що дозволяє збудувати єдину систему управління для всієї побутової техніки.

Home Assistant – це платформа з відкритим вихідним кодом, яка дозволяє користувачам налаштовувати та контролювати всі аспекти свого розумного будинку. Платформа підтримує більшість популярних пристроїв і протоколів, таких як Zigbee, Z-Wave, Wi-Fi та інші. Вона є дуже гнучкою і дає можливість створювати складні автоматизовані сценарії, а також інтегрувати з іншими

системами. Однією з основних переваг є повна контрольованість і можливість налаштувати платформу під власні потреби [7].

Hubitat Elevation працює без необхідності постійного підключення до Інтернету, що робить систему більш стійкою до збоїв мережі. Платформа підтримує різні протоколи зв'язку, такі як Zigbee, Z-Wave, Wi-Fi, і дозволяє створювати сценарії автоматизації на локальному сервері. Ця система ідеально підходить для користувачів, які шукають рішення для швидкої реакції на події без затримок, пов'язаних з інтернет-з'єднанням.

OpenHAB – це ще одна платформа з відкритим вихідним кодом, яка дозволяє інтегрувати велику кількість пристроїв і систем в єдину мережу. Вона забезпечує потужні можливості для автоматизації будинку та може працювати на будь-яких платформах, від ПК до мобільних пристроїв. OpenHAB має активну спільноту користувачів і розробників, що дозволяє постійно оновлювати систему та додавати нові функціональні можливості.

Wink Hub – це платформа для автоматизації розумного будинку, яка підтримує безліч пристроїв і протоколів зв'язку. Вона пропонує простоту налаштування через додаток Wink, а також можливість створювати автоматизовані сценарії для управління пристроями в будинку. Wink Hub відомий своєю доступністю та зручністю для користувачів, які бажають мати просту систему управління без складних налаштувань. На основі аналізу наданого коду можна виділити ключові аспекти сучасних рішень для управління розумним будинком.

Сучасні системи керування розумним будинком орієнтуються на інтеграцію різноманітних пристроїв та оптимізацію їхньої роботи. Програмне забезпечення таких систем аналізує декілька важливих параметрів, серед яких тривалість використання пристроїв, енергоспоживання, налаштування користувача, частота несправностей та вік пристроїв. Аналіз даних показує, що найефективніші платформи управління розумним будинком враховують взаємозв'язок між цими факторами. Наприклад, статистичний аналіз демонструє сильну кореляцію між тривалістю використання пристроїв та загальною

ефективністю системи. Це означає, що сучасне програмне забезпечення має відстежувати та оптимізувати період активності різних компонентів.

Енергоспоживання виступає критичним фактором у визначенні ефективності системи. Передові платформи використовують предиктивну аналітику для контролю енергоспоживання та автоматичного регулювання роботи пристроїв. Модель машинного навчання, представлена в коді, демонструє можливість досягнення 95,6 % точності у прогнозуванні ефективності, що підтверджує доцільність впровадження таких технологій у програмне забезпечення розумного будинку.

Особливу увагу розробники приділяють виявленню аномалій у роботі системи. Сучасні платформи здатні ідентифікувати незвичну поведінку пристроїв та потенційні несправності ще до їх виникнення. Методи нормалізації та виявлення викидів, продемонстровані в коді, відображають підходи, що застосовуються у комерційних системах.

Програмне забезпечення розумного будинку також адаптується до уподобань користувача. Аналіз даних підтверджує сильний взаємозв'язок між налаштуваннями користувача та загальною ефективністю системи, тому сучасні платформи акцентують увагу на персоналізованому досвіді, який навчається на основі поведінки користувача [3].

При впровадженні систем керування розумним будинком важливо враховувати сумісність пристроїв, вимоги до збору та обробки даних, а також баланс між автоматизацією та контролем з боку користувача. Висока точність прогнозованої моделі свідчить про те, що добре спроектовані платформи управління можуть значно підвищити загальну ефективність розумного будинку.

Платформи та програмне забезпечення для управління розумним будинком є основними для забезпечення ефективної роботи системи автоматизації. Кожна платформа має свої особливості та переваги, тому вибір залежить від вимог користувача та сумісності з пристроями. Для досягнення найкращих результатів варто обрати платформу, яка найкраще відповідає

потребам конкретного користувача, забезпечуючи зручність, безпеку та енергоефективність у повсякденному використанні.

### 2.3 Параметри та критерії ефективності пристроїв розумного будинку

Ефективність пристроїв розумного будинку визначається їх здатністю виконувати визначені функції з високою продуктивністю, низьким енергоспоживанням та високою надійністю. Оцінка ефективності таких пристроїв дозволяє не лише забезпечити їх оптимальну роботу, але й визначити, наскільки добре вони відповідають потребам користувачів. Параметри та критерії ефективності є потрібними при виборі пристроїв для інтеграції в систему розумного будинку, оскільки вони можуть вплинути на загальну продуктивність і зручність експлуатації [12, с. 66]. Список цих параметрів та критеріїв наведено в таблиці 2.5.

Таблиця 2.5 – Детальний опис параметрів та критеріїв ефективності

Параметр	Опис	Критерії ефективності
Енергоспоживання	Головним параметром є ефективність використання енергії, що визначає вплив пристроїв на витрати енергії в будинку. Для розумних пристроїв енергоспоживання є основним для забезпечення економії ресурсів.	Низьке споживання енергії, режим енергозбереження, автоматичне вимкнення в разі неактивності.
Швидкість реагування	Це час, який потрібен пристрою для виконання команди або реагування на подію. Від швидкості реагування залежить, наскільки ефективно система працює в реальному часі.	Мінімальний час затримки при виконанні команд, швидке відгукування на події, інтеграція з іншими пристроями без затримок.
Надійність	Надійність пристрою визначає його здатність працювати безперервно і виконувати функції без збоїв або поломок. Для розумного будинку це означає стабільну роботу в умовах різноманітних факторів.	Мінімальні випадки поломок або відмов, здатність працювати тривалий час без втручання.
Сумісність	Параметр, що визначає здатність пристрою інтегруватися з іншими пристроями або платформами в екосистемі розумного будинку.	Підтримка стандартів комунікації (Zigbee, Z-Wave, Wi-Fi тощо), підтримка більшості популярних платформ.

Продовження таблиці 2.5

Параметр	Опис	Критерії ефективності
Безпека	Параметр, що забезпечує захист від несанкціонованого доступу, хакерських атак, а також збереження особистих даних користувачів.	Використання шифрування даних, захист від зовнішніх загроз, можливість налаштування доступу.
Масштабованість	Можливість розширення системи шляхом додавання нових пристроїв або інтеграції з іншими системами. Це потрібно для забезпечення адаптивності розумного будинку.	Легкість додавання нових пристроїв, сумісність з іншими технологіями автоматизації, простота налаштування нових елементів.
Інтерфейс користувача	Простота та зручність взаємодії користувача з пристроєм чи системою розумного будинку через мобільні додатки, голосові помічники або веб-платформи.	Інтуїтивно зрозумілий інтерфейс, можливість швидкого доступу до налаштувань, відсутність складнощів при використанні.
Автоматизація процесів	Здатність пристроїв до автоматичного виконання функцій залежно від певних умов (час, температура, рух тощо).	Можливість створення складних автоматизованих сценаріїв, інтеграція з іншими пристроями для створення єдиної системи управління.
Зручність управління	Це параметр, що визначає, наскільки просто користувач може контролювати пристрій або систему через додатки, голосових помічників або панелі управління.	Легкість налаштування та керування, підтримка багатьох способів управління (мобільний додаток, голосове управління, фізичні пульти).
Ціна	Вартість пристрою або системи автоматизації, яка визначає доступність для різних категорій споживачів.	Співвідношення ціни та якості, можливість отримання високої продуктивності за помірну ціну.

Ефективність енергоспоживання є значенневою для кожного пристрою розумного будинку. Це не тільки дозволяє знижувати витрати на комунальні послуги, але й сприяє збереженню екології. Наприклад, розумні термостати можуть оптимізувати температуру в будинку залежно від часу доби або наявності людей у приміщенні, що дозволяє значно зменшити споживання енергії. Для оцінки енергоспоживання слід звертати увагу на те, наскільки пристрій може працювати в енергозберігаючому режимі, а також на наявність автоматичного вимкнення або регулювання інтенсивності роботи. Головним показником ефективності розумного пристрою є швидкість реагування на команди користувача або зміни в середовищі. Це може бути швидкість включення освітлення після активації датчика руху або швидкість зміни

температури в приміщенні після коригування налаштувань термостата. Чим швидше система реагує на події, тим зручніше користувачам.

Надійність пристроїв є значеннєвим критерієм, оскільки розумний будинок покладається на їх постійну роботу без збоїв. Це включає в себе здатність пристрою виконувати свої функції на протязі тривалого часу без необхідності обслуговування або ремонту. Надійність також включає в себе здатність пристрою функціонувати в різних умовах, таких як зміни температури, вологості, а також в разі потенційних перешкод у мережах зв'язку. Пристрої розумного будинку мають бути здатні до інтеграції з іншими пристроями, платформами або системами. Наприклад, розумні замки повинні підтримувати роботу з голосовими асистентами (Alexa, Google Assistant) та іншими елементами безпеки в будинку, такими як камери відеоспостереження чи сигналізації.

Оскільки розумні пристрої зазвичай підключаються до Інтернету, значеннєвим є їх захист від кіберзагроз. Безпека має забезпечувати конфіденційність особистих даних користувачів, а також захист від несанкціонованого доступу до пристроїв і систем. Основне, щоб система автоматизованого управління мала вбудовані засоби шифрування та аутентифікації. Масштабованість дозволяє користувачеві додавати нові пристрої до існуючої системи без необхідності переоснащення чи заміни всієї інфраструктури. Наприклад, можливість додавати нові датчики, розумні лампи або термостати, які безперешкодно інтегруються в систему, є характеристикою для забезпечення довготривалого використання [5].

Користувач повинен мати можливість легко керувати пристроями через зрозумілий інтерфейс. Це може бути мобільний додаток або голосове управління. Необхідно, щоб інтерфейс був інтуїтивно зрозумілим та не викликав труднощів у використанні, навіть для осіб без спеціальних знань у галузі технологій. Пристрої розумного будинку мають бути здатні виконувати функції без активної участі користувача. Наприклад, автоматичне включення освітлення

при вході до кімнати або змінення температури в залежності від часу доби можуть значно підвищити комфорт і зручність.

Можливість налаштування та керування пристроями через кілька способів (мобільний додаток, голосові команди, сенсорні панелі) є потрібною для користувача, оскільки це підвищує універсальність системи. Хоча пристрої розумного будинку часто мають високу початкову вартість, варто оцінювати їх ефективність, враховуючи баланс ціни і функцій. Висока ціна повинна компенсуватися високим рівнем продуктивності, енергозбереженням, безпекою та іншими перевагами.

На основі аналізу наданого коду можна виділити ключові параметри та критерії, які визначають ефективність пристроїв розумного будинку. Розглянемо їх детальніше у контексті сучасних технологій.

Тривалість щоденного використання виступає одним із найвпливовіших параметрів ефективності розумних пристроїв. Статистичний аналіз демонструє значущість цього показника з р-значенням  $2,15e^{-44}$ , що свідчить про надзвичайно сильну кореляцію. Проведений аналіз вказує на те, що оптимальний режим використання безпосередньо впливає на загальну продуктивність системи. Сучасні технології розумного будинку враховують цей параметр для автоматичного регулювання роботи пристроїв та розподілу навантаження.

Енергоспоживання є критичним фактором оцінки ефективності розумних пристроїв. Згідно з аналізом, цей параметр має високу статистичну значущість (р-значення  $4,97e^{-39}$ ). Ефективні системи характеризуються оптимізованим енергоспоживанням, що досягається завдяки інтелектуальному керуванню режимами роботи та автоматичному переходу в енергозберігаючі стани. Цей критерій особливо важливий з огляду на зростаючі вимоги до екологічності та економічності сучасних технологій.

Вподобання користувачів виявляються вагомим критерієм, який впливає на ефективність системи. Аналіз підтверджує, що налаштування, обрані користувачем, значною мірою визначають ефективність роботи пристроїв. Це підкреслює важливість інтуїтивного інтерфейсу та гнучких можливостей

конфігурації, які дозволяють користувачам оптимізувати роботу системи відповідно до індивідуальних потреб.

Частота несправностей є показником надійності та робастності пристроїв. Статистичний аналіз виявив сильну кореляцію між кількістю інцидентів несправності та загальною ефективністю системи ( $p$ -значення  $7,53e^{-21}$ ). Цей параметр впливає не лише на безперебійність роботи, але й на довгострокову економічну ефективність використання розумних технологій.

Вік пристроїв також суттєво впливає на їхню ефективність, що підтверджується статистичним аналізом ( $p$ -значення  $1,44e^{-44}$ ). З часом спостерігається зниження продуктивності та енергоефективності, що вимагає впровадження систем моніторингу стану та планування своєчасного оновлення компонентів розумного будинку.

Тип пристрою виступає важливим критерієм ефективності. Аналіз даних показує, що різні категорії пристроїв (розумні колонки, камери, системи безпеки, термостати, освітлення) мають відмінні характеристики ефективності. Ця інформація дозволяє розробникам та користувачам приймати обґрунтовані рішення щодо вибору компонентів для розумного будинку.

Взаємодія між пристроями є комплексним критерієм, який визначає загальну ефективність системи. Аналіз даних демонструє, що оптимальна інтеграція різних компонентів дозволяє досягти синергетичного ефекту та підвищити загальну продуктивність.

Адаптивність до змін умов експлуатації відіграє важливу роль в оцінці ефективності розумних пристроїв. Моделі машинного навчання, подібні до представленої в кодї (з точністю 95,56 %), дозволяють системам прогнозувати ефективність роботи та адаптуватися до змінних умов.

Комплексний аналіз цих параметрів та критеріїв дозволяє створювати інтелектуальні системи управління розумним будинком, які забезпечують оптимальний баланс між комфортом користувача, енергоефективністю та надійністю роботи.

Параметри та критерії ефективності пристроїв розумного будинку є базовими для забезпечення їхньої оптимальної роботи в умовах реального використання. Кожен з вищезгаданих аспектів впливає на загальну продуктивність системи, її зручність для користувача та економічну ефективність. Вибір пристроїв для розумного будинку повинен базуватися на детальному аналізі цих критеріїв, що дозволить створити оптимальну та функціональну систему для автоматизації будинку.

#### **2.4 Алгоритми та методи аналізу даних для оцінки ефективності енергозбереження**

Зростаючі вимоги до енергетичної ефективності в умовах глобального потепління та необхідності збереження ресурсів сприяють активному розвитку методів аналізу енергоспоживання в розумних будинках. Оцінка ефективності енергозбереження є складовою для створення оптимальних умов для функціонування пристроїв розумного будинку. Для цього застосовуються різноманітні алгоритми та методи аналізу даних, які дозволяють не лише контролювати рівень споживання енергії, але й прогнозувати, оптимізувати та зменшувати витрати на енергоресурси (таблиця 2.6).

Таблиця 2.6 – Опис алгоритмів та методів аналізу даних для оцінки ефективності енергозбереження [12]

Метод/Алгоритм	Опис	Приклад застосування
Методи статистичного аналізу	Статистичні методи дозволяють виявляти закономірності та тренди в енергоспоживанні на основі даних, зібраних від різних пристроїв. Це дозволяє оптимізувати параметри для енергозбереження.	Аналіз сезонних коливань енергоспоживання, визначення найбільш енергоємних приладів для коригування їх роботи.
Моделі машинного навчання	Алгоритми машинного навчання дозволяють створювати моделі, які передбачають потребу в енергії на основі даних про використання, погодні умови, розклад роботи приладів тощо.	Прогнозування споживання енергії в розумних будинках, навчання моделі для автоматичного регулювання температури та освітлення.

Продовження таблиці 2.6

Метод/Алгоритм	Опис	Приклад застосування
Метод лінійної регресії	Алгоритм лінійної регресії використовується для прогнозування та аналізу залежності між енергоспоживанням і різними параметрами, такими як температура, час доби або наявність людей у будинку.	Прогнозування змін у споживанні енергії при зміні зовнішніх температурних умов.
Метод часових рядів	Метод аналізу часових рядів дозволяє оцінити тренди в енергоспоживанні, враховуючи зміни з часом, сезонність та періодичні коливання.	Прогнозування споживання енергії на основі попередніх показників для планування енергозбереження.
Оптимізація за допомогою генетичних алгоритмів	Генетичні алгоритми використовуються для оптимізації налаштувань системи розумного будинку, зокрема для зменшення енергоспоживання при виконанні різних функцій.	Оптимізація роботи кондиціонерів, опалення та освітлення в різні часи доби для мінімізації витрат енергії.
Алгоритм динамічного програмування	Динамічне програмування дозволяє оптимізувати управлінські рішення для зменшення споживання енергії при заданих умовах, таких як температура, рівень освітленості тощо.	Використання алгоритмів для адаптивного налаштування температури в приміщеннях з урахуванням часу та погодних умов.
Методи аналізу за допомогою нейронних мереж	Нейронні мережі здатні навчатися на великих обсягах даних і використовувати їх для прогнозування та аналізу енергоспоживання з високою точністю.	Створення моделі, яка на основі великих даних про енергоспоживання виявляє неефективність в роботі систем і пропонує шляхи їх оптимізації.
Метод кластеризації	Кластеризація дозволяє поділити пристрої на групи за рівнем енергоспоживання або за іншими ознаками, що дає змогу краще налаштувати управління кожним пристроєм для досягнення енергозбереження.	Групування пристроїв на основі їх енергоефективності для подальшої оптимізації роботи різних елементів системи.

Статистичні методи є основою для збору даних та виявлення тенденцій у енергоспоживанні розумного будинку. Завдяки зібраним даним можна визначити ефективність роботи окремих пристроїв, наприклад, за допомогою таких інструментів, як середнє значення, дисперсія та кореляційний аналіз. Це дає змогу визначити прилади, які споживають найбільше енергії та потребують оптимізації для досягнення енергозбереження. Використання алгоритмів машинного навчання дозволяє аналізувати великі обсяги даних та прогнозувати

енергоспоживання в розумному будинку. Моделі на основі даних, що поступають від датчиків, можуть передбачити, коли та в яких умовах пристрої будуть потребувати більше або менше енергії, що дає змогу створювати стратегії енергозбереження. Наприклад, за допомогою таких алгоритмів, як дерева рішень або випадкові ліси, система може самостійно коригувати температурні режими або освітлення залежно від погодних умов.

Алгоритм лінійної регресії є простим і широко використовуваним для прогнозування величин, що залежать одна від одної. У контексті енергоспоживання цей метод може застосовуватись для визначення, як зміни певних параметрів (температури, часу доби, кількості людей) впливають на енергоспоживання. Цей метод допомагає сформулювати прогноз, заснований на реальних даних. Метод часових рядів дозволяє прогнозувати майбутнє споживання енергії на основі попередніх показників. Цей метод враховує сезонні коливання, періодичні зміни в споживанні енергії та інші тимчасові фактори. Для розумних будинків цей метод може бути корисним у визначенні, коли система споживатиме більше енергії і коли можна буде заощадити ресурси, оптимізуючи роботу пристроїв [2].

Генетичні алгоритми застосовуються для оптимізації процесів енергозбереження. Вони дозволяють знайти найбільш ефективні рішення для зменшення споживання енергії, комбінуючи різні варіанти налаштувань пристроїв і змінюючи параметри їхньої роботи. Наприклад, за допомогою генетичних алгоритмів можна створити сценарії для ефективного використання кондиціонерів або опалення в залежності від погодних умов та часу доби. Динамічне програмування дозволяє вирішувати задачі, де потрібно приймати оптимальні рішення в умовах змінних параметрів. Для розумного будинку це може бути оптимізація температурних налаштувань чи освітлення з врахуванням численних параметрів, таких як час доби, температура зовні, кількість людей у приміщенні та інші.

Нейронні мережі здатні навчатися на великих обсягах даних і застосовуватись для створення точних моделей прогнозування

енергоспоживання в розумних будинках. Вони можуть обробляти складні взаємозалежності між різними параметрами та автоматично коригувати налаштування пристроїв для досягнення оптимального енергозбереження. Кластеризація дозволяє групувати пристрої за різними характеристиками, такими як енергоспоживання, типи роботи або значення для системи. Це допомагає забезпечити ефективніше управління пристроями та більш точне налаштування режимів роботи, що сприяє зниженню витрат енергії.

Проаналізувавши представлений код, можна виділити низку сучасних алгоритмів та методів аналізу даних, які застосовуються для оцінки ефективності енергозбереження в системах розумного будинку.

Підготовка та нормалізація даних відіграє фундаментальну роль у процесі аналізу. В представленому дослідженні використовується вилучення викидів за допомогою методу міжквартильного розмаху (IQR), що дозволяє очистити дані від аномальних значень, які можуть спотворити результати аналізу. Для перевірки нормальності розподілу застосовується тест Шапіро-Вілка, який допомагає визначити необхідність трансформації даних. Подальша нормалізація за допомогою PowerTransformer приводить показники до стандартного нормального розподілу, що підвищує точність подальшого аналізу та прогнозування.

Статистичний аналіз виступає важливим інструментом для виявлення значущих параметрів ефективності енергозбереження. Одновимірний дисперсійний аналіз (ANOVA) та t-тест дозволяють визначити статистично значущі відмінності між групами пристроїв з різною ефективністю. Результати аналізу демонструють, що такі параметри як тривалість використання (р-значення  $2,15e^{-44}$ ), енергоспоживання (р-значення  $4,97e^{-39}$ ) та частота несправностей (р-значення  $7,53e^{-21}$ ) мають високу статистичну значущість, тобто суттєво впливають на загальну енергоефективність системи.

Машинне навчання з використанням ансамблевих методів представлено у вигляді градієнтного бустингу класифікаторів (GradientBoostingClassifier). Цей алгоритм поєднує множину простих моделей для створення потужного

класифікатора, здатного виявляти складні нелінійні взаємозв'язки між параметрами системи та її енергоефективністю. Точність моделі, що складає 95,56 %, свідчить про високу ефективність даного підходу для прогнозування енергозбереження на основі комплексу вхідних параметрів [1].

Балансування вибірки за допомогою методу SMOTE (Synthetic Minority Over-sampling Technique) допомагає вирішити проблему незбалансованості класів у навчальних даних. Це особливо важливо у випадках, коли ефективні системи становлять меншість у вибірці, що могло б призвести до зміщення результатів прогнозування. Застосування SMOTE створює синтетичні приклади меншинського класу, що покращує якість навчання моделі та підвищує її здатність правильно класифікувати як енергоефективні, так і неефективні системи. SMOTE працює шляхом генерації нових синтетичних зразків між існуючими прикладами меншинського класу у просторі ознак, а не простого дублювання, що дозволять уникнути перенавчання моделі.

Використання конвеєрів обробки даних (Pipeline) дозволяє автоматизувати процес аналізу від підготовки даних до навчання моделі. Такий підхід стандартизує обробку нових спостережень, забезпечує відтворюваність результатів та спрощує впровадження аналітичних моделей у системи моніторингу енергоефективності. У представленому коді конвеєр поєднує балансування вибірки, стандартизацію даних та навчання класифікатора в єдиний процес. Pipeline являє собою послідовність кроків обробки даних, де результат кожного етапу передається наступному. Це дозволяє уникнути витoku даних між тренувальною та тестовою вибірками, забезпечує коректне застосування трансформацій до нових даних та підвищує відтворюваність результатів дослідження.

Візуалізація результатів аналізу реалізується за допомогою інтерактивних графіків, побудованих з використанням бібліотеки Plotly. Зокрема, застосовуються boxplot-діаграми для відображення розподілу параметрів у різних класах ефективності, гістограми для порівняння розподілів та діаграми розсіювання для виявлення кореляцій між параметрами. Такий підхід дозволяє

не лише аналізувати дані, але й наочно представляти результати для прийняття обґрунтованих рішень щодо оптимізації енергоспоживання.

Оцінка якості моделей здійснюється за допомогою множини метрик, включаючи точність (accuracy), повноту (recall), точність прогнозування (precision) та F1-міру. Матриця помилок (confusion matrix) дозволяє детально аналізувати характер помилок класифікації та вдосконалювати модель для підвищення її ефективності в різних сценаріях використання. Прогнозування ефективності енергозбереження для нових пристроїв реалізується за допомогою спеціалізованої функції, яка перетворює вхідні параметри у формат, сумісний з навченою моделлю, та повертає прогнозований клас ефективності. Цей механізм може бути інтегрований у системи управління розумним будинком для автоматичної оцінки та оптимізації енергоспоживання нових пристроїв.

Комплексне застосування цих алгоритмів та методів аналізу даних створює потужну методологічну базу для оцінки ефективності енергозбереження в системах розумного будинку та сприяє розробці інтелектуальних рішень, здатних автоматично оптимізувати енергоспоживання відповідно до індивідуальних особливостей використання системи.

Алгоритми та методи аналізу даних є потужними інструментами для оцінки ефективності енергозбереження в розумних будинках. Використання таких методів, як машинне навчання, статистичний аналіз, генетичні алгоритми та методи оптимізації, дозволяє створити більш ефективні та адаптивні системи для управління енергоспоживанням, що сприяє значному зниженню витрат на енергію та збереженню природних ресурсів.

## РОЗДІЛ 3

### РОЗРОБКА СИСТЕМИ ВИЗНАЧЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

#### 3.1 Проєктування та розробка системи: структура, архітектура та технічна реалізація

Метою цього розділу є практична реалізація системи класифікації пристроїв розумного будинку за рівнем їх енергоефективності. Класифікація здійснюється за бінарним принципом: пристрої відносяться до класу 0 (низька енергоефективність) або класу 1 (висока енергоефективність) на основі комплексу параметрів, зібраних у процесі експлуатації. Для досягнення мети було виконано такі етапи роботи: підготовка та очищення даних, статистичний аналіз значущих параметрів, побудова та навчання моделі машинного навчання, оцінка якості класифікації та практичне тестування системи прогнозування.

Для навчання та тестування системи використано датасет «Smart Home Device Usage Data» [21], який містить інформацію про параметри експлуатації розумних пристроїв у житлових об'єктах. Файл даних зберігається у форматі CSV та завантажується за допомогою бібліотеки Pandas.

Датасет включає 8 полів (таблиця 3.1): UserID, DeviceType, UsageHoursPerDay, EnergyConsumption, UserPreferences, MalfunctionIncidents, DeviceAgeMonths та SmartHomeEfficiency (цільова змінна). Розподіл класів показує, що 3368 пристроїв (62,3 %) класифікуються як неефективні (клас 0), а 2035 пристроїв (37,7 %) – як ефективні (клас 1).

Таблиця 3.1 – Опис полів датасету

Назва поля	Тип даних	Опис
UserID	Цілий	Унікальний ідентифікатор користувача
DeviceType	Категоріальний	Тип пристрою (Smart Speaker, Camera, Security System, Lights, Thermostat)
UsageHoursPerDay	Дійсний	Середня кількість годин активного використання пристрою протягом доби
EnergyConsumption	Дійсний	Рівень енергоспоживання пристроєм (у кВт·год)

Продовження таблиці 3.1

Назва поля	Тип даних	Опис
UserPreferences	Цілий	Параметр налаштувань користувача (0 або 1)
MalfunctionIncidents	Цілий	Кількість зафіксованих випадків несправностей пристрою
DeviceAgeMonths	Цілий	Вік пристрою у місяцях
SmartHomeEfficiency	Цільовий (бінарний)	Клас ефективності: 0 – низька, 1 – висока

Оскільки категоріальні дані не можуть бути безпосередньо використані у моделі, була виконана процедура кодування DeviceType методом one-hot-encoding. Після цього кожен тип пристрою був представлений окремою ознакою з бінарним значенням, що дозволило моделі враховувати належність пристрою до конкретної групи.

Дані зібрані з реальної експлуатації пристроїв розумного будинку та охоплюють п'ять типів обладнання. Розподіл записів за типами пристроїв є рівномірним, що забезпечує збалансованість моделі навчання. Середня тривалість використання пристроїв коливається від 2 до 20 годин на день, енергоспоживання – від 0,5 до 15 кВт·год, вік обладнання – від 1 до 60 місяців.

Під час проектування системи особливу увагу було приділено різноманітності встановленого обладнання, оскільки саме різні типи пристроїв створюють характерне навантаження на систему енергоспоживання. Наприклад, у вітальні функціонують кондиціонер Daikin FTXM35R, телевізор LG OLED65C3, аудіосистема Sonos Arc, світлодіодні панелі Philips Hue та роботизований пилосос Xiaomi Mi Robot. Кухонна зона обладнана холодильником Samsung RB38T7, індукційною плитою Bosch PIE631FB1E, посудомийною машиною Bosch SMS46KI03E, мікрохвильовою піччю Samsung MS23K3513 та витяжкою Pyramida KZ 60. У спальні працюють кондиціонер Daikin FTXM25R, телевізор Samsung QE55Q70C, освітлювальні пристрої Yeelight і термостат Nest Learning. У дитячій кімнаті передбачено очищувач повітря Xiaomi Mi Air 3H, обігрівач Dyson AM09, лампи Philips Hue та нічник Xiaomi MiJia. Ванна кімната оснащена бойлером Ariston ABS Pro R, витяжним

вентилятором Soler&Palau Silent і системою освітлення IKEA Tradfri. У зоні коридору функціонують камера відеоспостереження Xiaomi Mi Home та датчики руху Aqara [13, с. 23-29].

Усі пристрої зібрані в єдину інформаційну систему, яка забезпечує збір та зберігання даних про параметри їх роботи. В ході експлуатації накопичується інформація про енергоспоживання, години роботи пристроїв, кількість зафіксованих збоїв у роботі, вік обладнання та налаштування користувачів. Отримані дані передаються на сервер для подальшої обробки та аналізу.

Перш ніж здійснювати аналітичну обробку, дані проходять етап попереднього очищення. Для забезпечення коректності аналізу виконувалась перевірка наявності дублікатів записів. У разі виявлення дубльованих рядків вони видалялись стандартною функцією бібліотеки pandas.

Далі здійснювалась фільтрація викидів у числових параметрах, оскільки наявність аномальних значень може суттєво спотворювати результати аналізу. Для цього застосовано метод міжквартильного розмаху (IQR), який дозволяє виявити та усунути крайні значення, що виходять за встановлені межі.

Фільтрації викидів було здійснено перевірку нормальності розподілу кожної числової ознаки за допомогою тесту Шапіро-Вілка. У тих випадках, коли розподіл не відповідав нормальному, застосовувалось перетворення за допомогою PowerTransformer, яке стабілізує дисперсію та наближує до гаусового розподілу даних. Архітектура забезпечує розподіл функціональних блоків управління пристроями, накопичення та обробки даних. Для кожної групи даних створено окремі сховища: база даних пристроїв, база вимірювань та історична база, що використовується при формуванні вибірок для навчання моделі Gradient Boosting. Управління комунікаціями, безпекою та взаємодією з мобільними додатками забезпечується через окремі підсистеми контролю доступу, API-шлюзи та сервери застосунків.

Статистичний аналіз виявив такі закономірності:

– ефективні пристрої працюють більше годин на день (середнє 13,63 год проти 11,10 год для неефективних), але при цьому споживають менше енергії

(4,39 кВт·год проти 5,45 кВт·год). Це свідчить про те, що ефективність визначається не часом роботи, а співвідношенням спожитої енергії до виконаної роботи;

– ключовий показник ефективності. Це співвідношення енергоспоживання до часу роботи (кВт·год / год). Пристрої з низьким співвідношенням (менше 0,4 кВт·год на годину) класифікуються як ефективні;

– неефективні пристрої частіше зустрічаються серед Security System та Thermostat через їхнє високе енергоспоживання та специфіку експлуатації;

– молодші пристрої (< 30 місяців) частіше ефективніші через менший знос компонентів та відповідність сучасним стандартам енергоефективності.

На рисунку 3.1 зображена схема організації модулів підготовки та обробки даних системи.

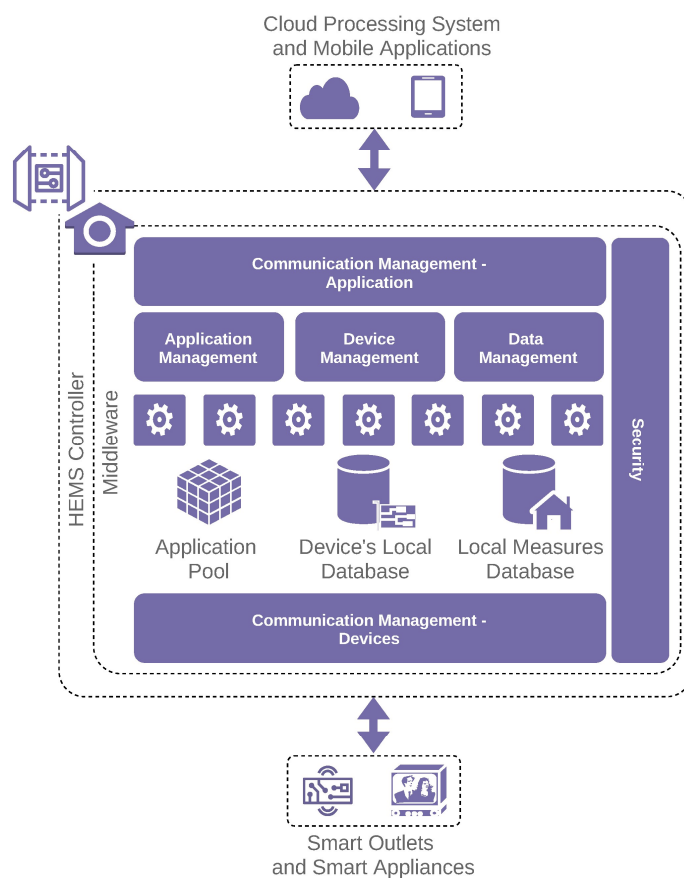


Рисунок 3.1 – Схема організації модулів підготовки та обробки даних системи [8]

Підготовлені дані використовувались для побудови моделі машинного навчання. Основною задачею було навчання системи розпізнавати ефективність роботи пристроїв розумного будинку залежно від зібраних параметрів. Для цього застосовувався алгоритм градієнтного бустингу – Gradient Boosting Classifier, який показує високі результати при класифікаційних завданнях із багатьма ознаками. Перед навчанням виконувалась процедура перетворення категоріальних ознак у числові за допомогою One-Hot-Encoding.

Для запобігання перекосу результатів моделі, пов'язаного з нерівномірною кількістю прикладів у різних класах, було використано метод SMOTE, що дозволяє синтетично вирівнювати вибірку перед тренуванням. Усі етапи обробки, масштабування та навчання були об'єднані у єдиний pipeline.

Після навчання модель протестована на відкладеній тестовій вибірці. Оцінювання точності класифікації виконувалось із застосуванням стандартних метрик: точність, повнота, F1-міра, а також формувалась матриця помилок для візуального контролю роботи моделі.

Розроблена система також забезпечує можливість роботи з новими даними. Передбачено спеціальну функцію, яка дозволяє здійснити прогноз ефективності для будь-якого нового пристрою на основі введених характеристик.

Ці спостереження лягли в основу розробки системи класифікації, яка використовує параметри пристрою для прогнозування його ефективності.

Загальна архітектура системи побудована за модульним принципом. Вона включає блок збору даних з IoT-пристроїв, модуль попередньої обробки, аналітичний модуль для проведення статистичного аналізу та побудови моделей, а також блок прогнозування з можливістю інтеграції у програмні комплекси управління розумним будинком. Модель дозволяє адаптуватися до динаміки зміни вхідних параметрів за рахунок регулярного оновлення даних.

Передбачено можливість масштабування системи при зміні кількості зон або встановленні нових типів обладнання без потреби кардинальної зміни архітектури. Гнучкість архітектури забезпечує стабільність роботи системи при розширенні функціональності або додаванні нових джерел даних. На рисунку 3.2

зображена архітектурна структура системи управління енергоспоживанням у розумному будинку.

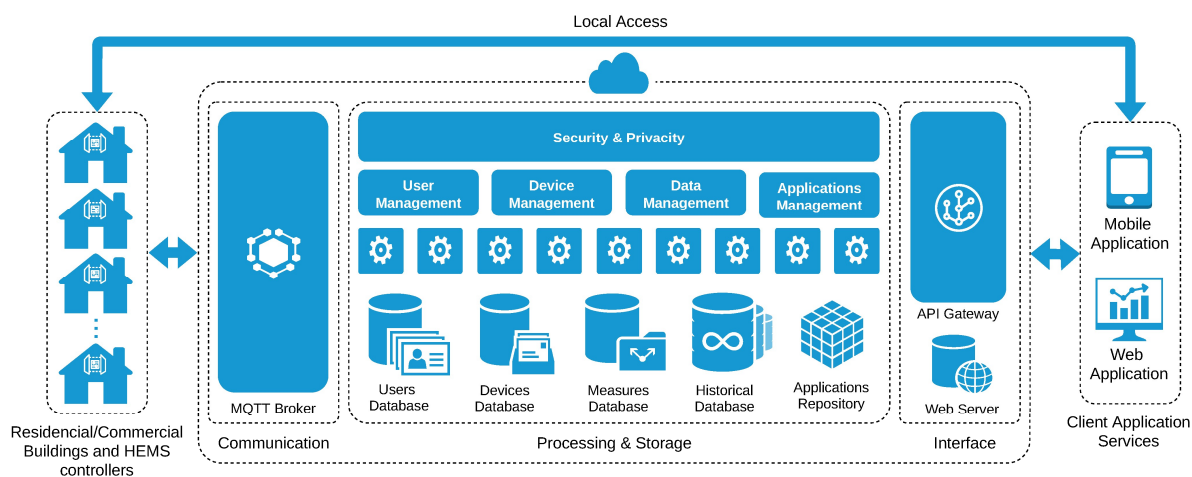


Рисунок 3.2 – Архітектурна структура системи управління енергоспоживанням у розумному будинку [10]

Розглянута архітектура дозволяє забезпечити гнучку та масштабовану роботу системи незалежно від кількості підключених пристроїв. Завдяки модульній структурі зберігається можливість додавання нових компонентів, зокрема додаткових типів пристроїв, нових алгоритмів обробки даних або розширення функціональності користувацьких застосунків. Передача даних між окремими блоками відбувається в режимі реального часу, що дозволяє забезпечити актуальність інформації при прийнятті рішень. Аналітичний модуль обробляє зібрані параметри та генерує прогнози щодо ефективності роботи пристроїв на основі навченої моделі машинного навчання. У свою чергу, користувацький інтерфейс формує візуалізацію результатів аналізу, надає рекомендації щодо оптимізації роботи пристроїв та дозволяє керувати параметрами системи. Такий підхід забезпечує не лише зниження рівня енергоспоживання, а й підвищення зручності експлуатації розумного будинку.

Розроблена структура створює основу для подальшої побудови моделей прогнозування ефективності роботи пристроїв, що буде детально описано у наступному підрозділі.

## 3.2 Алгоритми прогнозування та моделювання ефективності з використанням Gradient Boosting

Розроблена система реалізована у вигляді Python-скрипту, який виконує повний цикл аналізу даних: від завантаження та очищення до навчання моделі та прогнозування. Програма побудована за конвеєрним принципом та включає функціональні блоки, описані в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Функціональні блоки робочої програми

Блок	Призначення	Інструменти
Завантаження даних	Читання CSV-файлу, перегляд структури, перевірка пропущених значень	pandas.read_csv(), df.isnull()
Очищення даних	Видалення дублікатів, фільтрація викидів за методом IQR	df.drop_duplicates(), квантильний аналіз
Нормалізація	Перевірка нормальності (Shapiro–Wilk), трансформація даних	scipy.stats.shapiro(), PowerTransformer
Статистичний аналіз	ANOVA та T-тест для виявлення значущих параметрів	scipy.stats.f_oneway(), ttest_ind()
Візуалізація	Інтерактивні графіки для аналізу розподілів та кореляцій	plotly.express, plotly.graph_objects
Навчання моделі	Pipeline: SMOTE → StandardScaler → GradientBoosting	imblearn.pipeline.Pipeline
Оцінка моделі	Розрахунок метрик якості класифікації	sklearn.metrics
Прогнозування	Класифікація нових пристроїв за рівнем ефективності	Функція predict_efficiency()

Робоча програма запускається однією командою `python script.py` та автоматично виконує всі етапи обробки. У процесі роботи програма виводить у консоль результати перевірки даних, статистичні показники та метрики якості моделі, а також відкриває інтерактивні графіки у браузері для візуального аналізу (рис. 3.3).

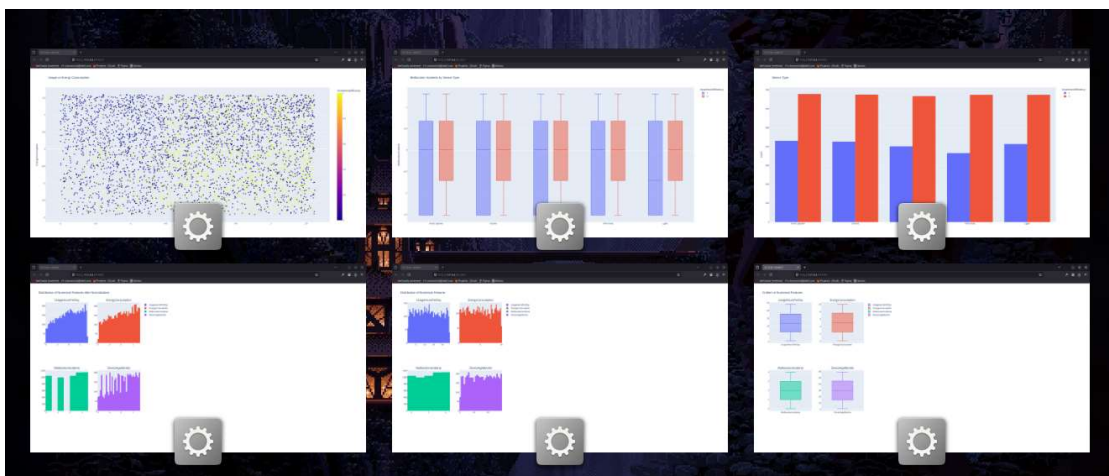


Рисунок 3.3 – Набір графіків, що генерується програмою

У роботі було обрано алгоритм Gradient Boosting, оскільки він дозволяє працювати зі складними багатовимірними даними, враховує нелінійні взаємозв'язки між ознаками та забезпечує стабільні результати завдяки послідовному комбінуванню простих моделей.

Розподіл пристроїв за типами та рівнем ефективності представлено на рисунку 3.4.

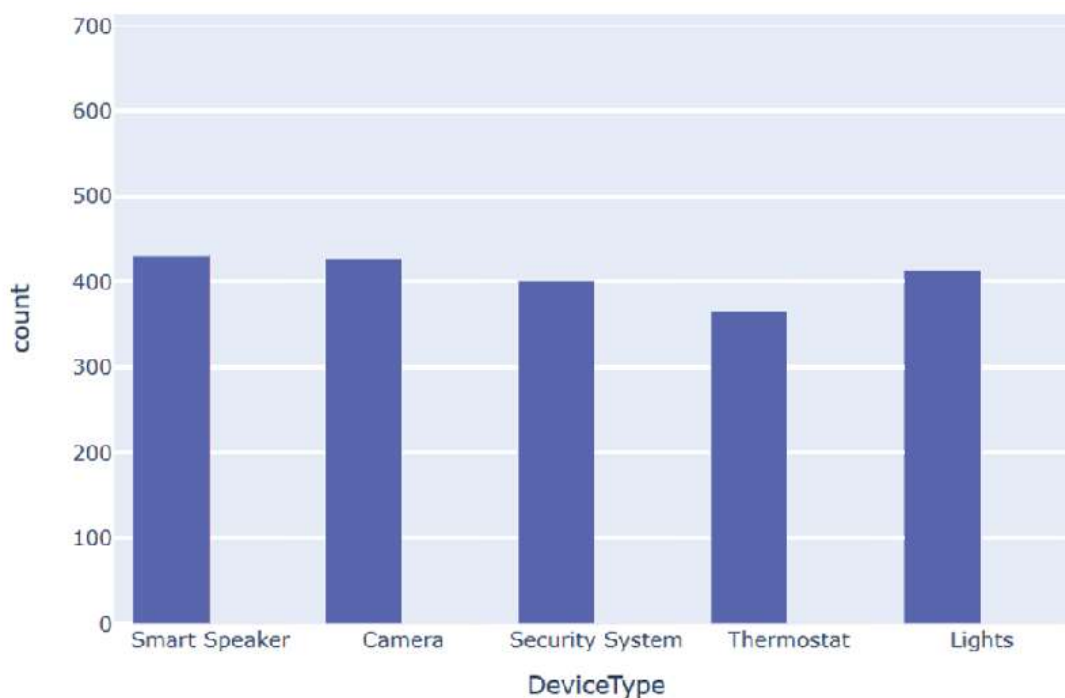


Рисунок 3.4 – Розподіл пристроїв за ефективністю енергоспоживання

На рисунку представлено груповану гістограму, що відображає розподіл пристроїв за типами (вісь X) та рівнем ефективності. Аналіз рисунка дозволяє виявити характерні особливості кожного типу обладнання. Зокрема, Smart Speaker та Lights демонструють переважно високу ефективність (переважання класу 1), що пояснюється їхнім низьким енергоспоживанням та тривалим часом роботи без значних навантажень. Натомість Security System та Thermostat мають більшу частку неефективних пристроїв через високе енергоспоживання та сезонні варіації навантаження. Camera займає проміжне положення з приблизно рівним співвідношенням класів.

Рисунок також підтверджує коректність проведеного балансування вибірки методом SMOTE, оскільки після застосування методу співвідношення класів у кожній групі стало більш рівномірним, що забезпечує навчання моделі без перекосу в бік домінантного класу.

Далі здійснено статистичну перевірку відмінностей між групами ефективних та неефективних пристроїв з використанням дисперсійного аналізу (ANOVA) та t-тесту. Результати показали наявність суттєвих відмінностей за більшістю параметрів, що обґрунтовує їх використання у моделі [20]. Розподіли основних числових характеристик за групами ефективності наведені на рисунках 3.3 та 3.4. На рисунку 3.5 видно, що пристрої з ефективним використанням енергії мають загалом меншу середню тривалість роботи на добу (UsageHoursPerDay) та нижче енергоспоживання (EnergyConsumption).

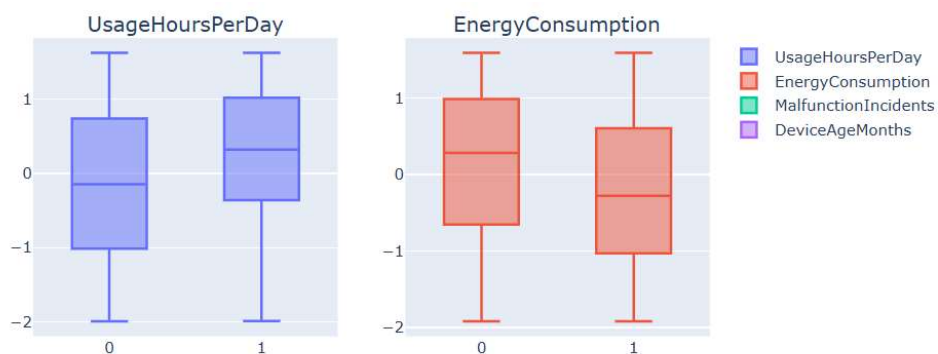


Рисунок 3.5 – Порівняння UsageHoursPerDay та EnergyConsumption за групами ефективності

Додатковий аналіз параметрів MalfunctionIncidents та DeviceAgeMonths наведено на рисунку 3.6. Спостерігається тенденція до того, що новіші пристрої з меншою кількістю поломок демонструють кращу ефективність роботи.

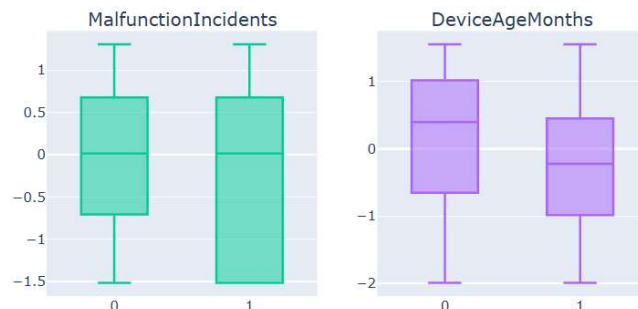


Рисунок 3.6 – Порівняння MalfunctionIncidents та DeviceAgeMonths за групами ефективності

Після завершення формування вибірки дані було розділено на тренувальну та тестову частини у співвідношенні 80 % до 20 %. Це дозволило провести незалежну перевірку точності моделі на нових даних, які не брали участь у навчанні.

Додатково проведено аналіз важливості ознак. Модель Gradient Boosting дозволяє оцінити внесок кожної ознаки у формування кінцевого рішення класифікатора. Результати оцінки вагомості ознак наведено на рисунку 3.7.

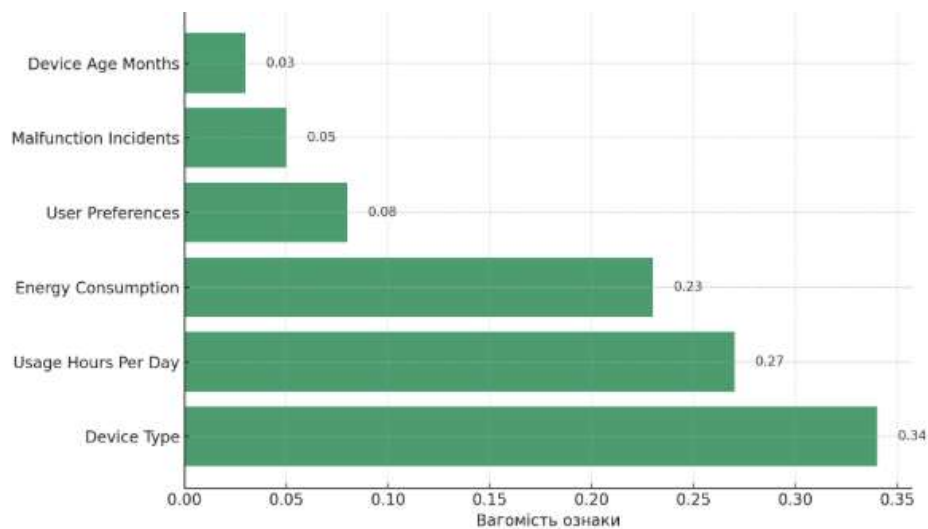


Рисунок 3.7 – Вагомість ознак у моделі Gradient Boosting

З рисунка видно, що найбільший вплив мають тип пристрою, тривалість його роботи та рівень енергоспоживання. Менший вплив спостерігається у параметрів кількості поломок, віку пристроїв та індивідуальних уподобань користувачів [1, с. 35-42]. Отримані результати підтвердили ефективність обраної методики моделювання, а також обґрунтували включення до навчальної вибірки усіх відібраних ознак. Це забезпечило стійкість моделі при роботі з реальними даними розумного будинку.

### 3.3 Практичні результати та оцінка ефективності системи

Після навчання та тестування моделі було проведено практичну оцінку її роботи на основі даних, що не використовувались під час побудови системи. Загальний обсяг тестової вибірки становив 1070 записів. Для оцінки якості класифікації були використані стандартні метрики, які розраховуються за допомогою бібліотеки `sklearn.metrics`.

Отримані результати наведені на рисунку 3.8.

```

Classification Report:

```

	precision	recall	f1-score	support
0	0.97	0.97	0.97	678
1	0.95	0.94	0.94	403
accuracy			0.96	1081
macro avg	0.96	0.96	0.96	1081
weighted avg	0.96	0.96	0.96	1081

Рисунок 3.8 – Звіт класифікації

Звіт класифікації показав, що серед перевірених прикладів:

- 654 неефективних пристроїв були класифіковані правильно (True Negative);
- 24 неефективних пристроїв були хибно віднесені до ефективних (False Positive);

- 379 ефективних пристроїв були визначені вірно (True Positive);
- 24 ефективних пристроїв були неправильно віднесені до неефективних (False Negative).

У таблиці 3.3 наведено результати формування матриці помилок.

Таблиця 3.3 – Матриця помилок (Confusion Matrix)

	Прогноз: 0	Прогноз: 1
Факт: 0	654	24
Факт: 1	24	379

Precision для класу 0 становить 0,96, що означає: з усіх пристроїв, які модель віднесла до неефективних, 96 % дійсно були неефективними. Recall для класу 1 становить 0,94, тобто модель правильно ідентифікувала 94 % справді ефективних пристроїв. F1-міра для обох класів перевищує 0,94, що свідчить про збалансовану роботу моделі без систематичного перекоосу в бік одного з класів. Загальна точність (ассигасу) на рівні 95,56 % підтверджує високу якість побудованої моделі та обґрунтовує її використання для практичного прогнозування.

Для наочного контролю якості моделі було сформовано таблицю порівняння фактичних та прогнозованих значень для перших 10 записів тестової вибірки (рис. 3.9).

	UsageHoursPerDay	EnergyConsumption	...	Actual	Predicted
5018	1.462624	1.397950	...	0	0
4913	-1.480825	1.276203	...	0	0
1807	-0.715740	-1.261160	...	0	0
2561	0.369666	-1.540851	...	0	0
2857	0.786202	-1.625429	...	1	1
4781	-0.891065	0.852163	...	0	0
4302	1.278153	-0.804930	...	1	1
4536	1.274712	-1.718046	...	1	1
3955	0.928964	1.240033	...	0	0
5396	1.052707	-1.576588	...	1	1

Рисунок 3.9 – Порівняння фактичних та прогнозованих значень для перших 10 записів тестової вибірки

Розроблена система забезпечує можливість прогнозування ефективності для нових пристроїв.

Для цього використовується функція `predict_efficiency()`, яка приймає параметри пристрою та повертає прогнозований клас.

Система дозволяє автоматично ідентифікувати пристрої з низькою енергоефективністю та рекомендувати оптимізацію режимів їх роботи. На основі введених параметрів нового пристрою (тип, години використання, енергоспоживання, кількість несправностей, вік) система прогнозує клас ефективності 0 (неефективний) або 1 (ефективний). Це дозволяє заздалегідь оцінити, чи буде пристрій енергоефективним, ще до його придбання та встановлення. Після класифікації пристроїв система формує рекомендації щодо оптимізації режимів роботи для пристроїв з низькою ефективністю. Це включає: коригування часу використання, зміну налаштувань енергоспоживання, заміну застарілого обладнання, усунення несправностей. Завдяки цьому досягається зниження загального енергоспоживання розумного будинку.

Загальний принцип роботи системи зображений на рисунку 3.10.

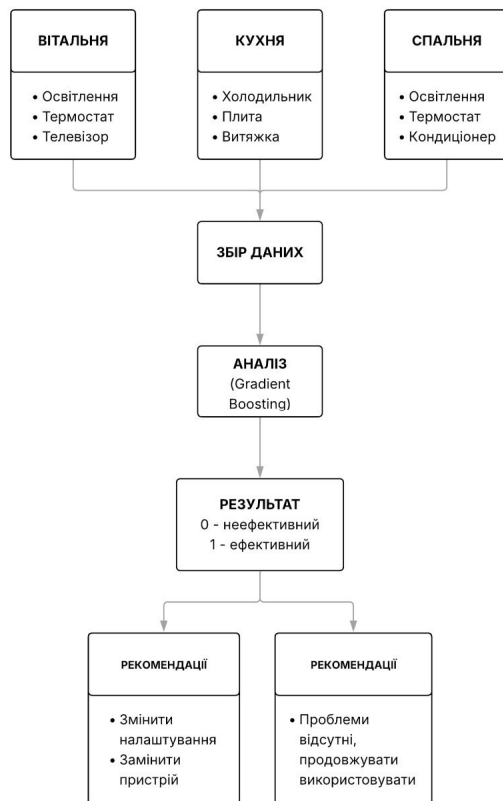


Рисунок 3.10 – Принцип роботи системи

Розроблена програма є консольним додатком, який дозволяє користувачу вводити параметри пристрою з клавіатури та отримувати прогноз ефективності. На рисунках 3.11 та 3.12 наведено результати роботи програми.

```
Доступні типи пристроїв:
 1 - Smart Speaker
 2 - Camera
 3 - Security System
 4 - Lights
 5 - Thermostat

Введіть номер типу пристрою (1-5): 1
Введіть кількість годин використання на день (0-24): 1
Введіть енергоспоживання (кВт·год): 0.1
Налаштування користувача (0 - стандартні, 1 - індивідуальні): 1
Введіть кількість несправностей: 0
Введіть вік пристрою (місяців): 1
```

Рисунок 3.11 – Головне меню програми

```
=====
РЕЗУЛЬТАТ ПРОГНОЗУ:
=====
✓ Пристрій ЕФЕКТИВНИЙ (клас 1)
Пристрій працює оптимально.
=====
```

Рисунок 3.12 – Результат аналізу

При виявленні неефективного пристрою програма формує рекомендації по покращенню процесу використання пристрою (рис. 3.13 та рис. 3.14).

```
Введіть номер типу пристрою (1-5): 2
Введіть кількість годин використання на день (0-24): 1
Введіть енергоспоживання (кВт·год): 10
Налаштування користувача (0 - стандартні, 1 - індивідуальні): 0
Введіть кількість несправностей: 2
Введіть вік пристрою (місяців): 2
```

Рисунок 3.13 – Введення нових даних

```

=====
РЕЗУЛЬТАТ ПРОГНОЗУ:
=====
× Пристрій НЕЕФЕКТИВНИЙ (клас 0)
Рекомендації:
- Високе споживання (10.0 кВт·год при 1.0 год) - знизьте навантаження
- Багато несправностей (2) - проведіть техобслуговування
- Самега: зменште якість запису в неробочий час
=====

```

Рисунок 3.14 – Рекомендації по покращенню процесу використання пристрою

Розглянемо конкретний сценарій застосування системи. Користувач має у вітальні термостат, який працює 18 годин на добу з енергоспоживанням 8 кВт·год, вік пристрою – 36 місяців, кількість несправностей – 2. Вводячи ці дані у функцію `predict_efficiency()`, отримуємо прогноз: клас 0 (неефективний). Система аналізує, що основною причиною є тривалий час роботи та високе енергоспоживання, і рекомендує: зменшити час активного використання до 12 годин, перевірити ізоляцію приміщення, розглянути заміну на більш енергоефективну модель. Застосування цих рекомендацій дозволяє знизити енергоспоживання термостата з 8 до 4 кВт·год, що дає економію близько 50 % на опаленні.

Як система допомагає економити:

- при виборі нових пристроїв система дозволяє порівняти ефективність різних моделей перед покупкою і обрати найенергоефективнішу;
- при оптимізації існуючих пристроїв система ідентифікує пристрої з низькою ефективністю і вказує, які параметри потрібно змінити;
- при плануванні заміни обладнання система визначає пріоритет заміни пристроїв, які споживають найбільше енергії і мають низьку ефективність;
- при профілактичному обслуговуванні система виявляє пристрої з високою частотою несправностей, що дозволяє вчасно провести технічне обслуговування і уникнути дорогого ремонту.

Економічний ефект досягається за рахунок кількох факторів: зниження енергоспоживання пристроями, що працюють у неоптимальних режимах; зменшення зношування обладнання завдяки виявленню та усуненню несправностей на ранніх етапах; подовження терміну експлуатації пристроїв за рахунок оптимального навантаження.

Запропоноване рішення має потенціал масштабування для застосування у багатоквартирних будівлях, офісних приміщеннях та інших об'єктах, де сукупне енергоспоживання є значним. Постійний збір та аналіз даних створює базу для формування персоналізованих рекомендацій користувачам, дозволяючи додатково оптимізувати режими споживання енергії в залежності від змінних умов. У довгостроковій перспективі система дозволяє вибудувати повноцінну екосистему розумного управління енергетичними потоками, орієнтовану на постійне самонавчання та покращення ефективності.

## ВИСНОВКИ

У результаті проведеного дослідження вирішено науково-практичну задачу розробки системи визначення ефективності пристроїв розумного будинку на основі методів машинного навчання.

Було проведено аналіз існуючих методів оцінки ефективності пристроїв розумного будинку, визначено поняття ефективності пристроїв розумного будинку як комплексної характеристики, що враховує енергоспоживання, надійність, тривалість використання та відповідність налаштуванням користувача. Проаналізовано сучасні технології та стандарти (Wi-Fi, Zigbee, Z-Wave, Matter), що забезпечують взаємодію пристроїв у системах розумного будинку. Виявлено, що традиційні методи оцінки базуються на окремих параметрах і не враховують комплексної взаємодії пристроїв.

Наступним кроком розглянуто сучасні алгоритми класифікації, зокрема Gradient Boosting. Досліджено методи попередньої обробки даних: SMOTE для балансування вибірки, Pipeline для організації конвеєра обробки даних, StandardScaler та PowerTransformer для нормалізації. Визначено, що комбінація цих методів забезпечує найкращі результати для задачі бінарної класифікації пристроїв за рівнем ефективності.

Далі було проведено аналіз датасету «Smart Home Device Usage Data» (5403 записів). Виконано очищення даних (фільтрація викидів за методом IQR), нормалізація ознак (PowerTransformer), статистичний аналіз значущих параметрів (ANOVA, t-тест). Визначено ключові закономірності: ефективні пристрої працюють більше годин, але споживають менше енергії; молодші пристрої частіше ефективніші.

Потім було побудовано модель бінарної класифікації на основі Gradient Boosting із застосуванням SMOTE та StandardScaler у єдиному конвеєрі (Pipeline). Модель успішно навчена на підготовлених даних.

Наступним кроком було проведено оцінку якості моделі та практичне тестування системи прогнозування:

- загальна точність класифікації (accuracy) – 95,56 %;
- precision для класу 0 (неефективні пристрої) – 0,96;
- recall для класу 1 (ефективні пристрої) – 0,94;
- F1-міра для обох класів перевищує 0,94.

Найбільший вплив на класифікацію мають такі параметри: тип пристрою, тривалість щоденного використання та рівень енергоспоживання. Менший вплив спостерігається у параметрів кількості поломок, віку пристроїв та індивідуальних уподобань користувачів.

Практичне тестування системи підтвердило її здатність коректно класифікувати пристрої за рівнем ефективності та генерувати прогнози для нових пристроїв на основі введених параметрів. Система реалізована у вигляді Python-скрипту, що автоматично виконує всі етапи обробки – від завантаження даних до формування прогнозу.

Підсумовуючи результати дослідження, можна відзначити наступні ключові досягнення. На початку роботи була поставлена задача розробити систему визначення ефективності пристроїв розумного будинку на основі аналізу їхніх експлуатаційних параметрів. Було проведено огляд предметної області, вивчено технології та протоколи взаємодії пристроїв, визначено критерії оцінки ефективності. У результаті створено повнофункціональну систему, яка включає модуль збору та попередньої обробки даних, статистичний аналіз значущих параметрів, модель машинного навчання з точністю класифікації 95,56 % та функцію прогнозування для нових пристроїв. Система продемонструвала практичну ефективність та можливість інтеграції у реальні умови експлуатації розумного будинку.

Досягнуто мету дослідження: розроблено систему, яка дозволяє автоматично визначати рівень ефективності пристроїв розумного будинку на основі їхніх експлуатаційних параметрів із застосуванням сучасних методів машинного навчання. Система може бути інтегрована у платформи управління

розумним будинком для автоматичного моніторингу та оптимізації енергоспоживання.

В кінцевому результаті розроблено повнофункціональну систему класифікації пристроїв за рівнем ефективності; система використовує методи машинного навчання (Gradient Boosting) з конвеєром обробки даних (Pipeline + SMOTE); досягнуто точність класифікації 95,56 %; реалізовано функцію прогнозування ефективності для нових пристроїв; система забезпечує рекомендації щодо оптимізації режимів роботи пристроїв. Це дозволяє використовувати розроблений інструмент на практиці для підвищення енергоефективності розумних будинків.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Aadil K., Deepali G., Monica D., Jayapal L. Machine Learning Solutions for IoT Cyber Threats. *Securing Smart Homes*. 2024. Vol. 12, no. 1. P. 1-12. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/10847007> (date of access: 15.04.2025).
2. Al Shehri W. Smart home energy optimization system. *Thermal science*. 2024. Vol. 28, no. 6. P. 5071-5086. URL: <https://thermalscience.rs/pdfs/papers-2024/TSCI2406071S.pdf> (date of access: 10.04.2025).
3. A model-based approach for vulnerability analysis of IoT security protocols: The Z-Wave case study. URL: <https://surl.li/yndvxe> (date of access: 15.05.2025).
4. Carlos M. Torres-Hernandez, Mariano Garduño-Aparicio, Juvenal Rodriguez-Resendiz Smart Homes: A Meta-Study on Sense of Security and Home Automation. *Technologies*. 2025. Vol. 13, no. 8. P. 1-20. URL: <https://www.mdpi.com/2227-7080/13/8/320> (date of access: 15.03.2025).
5. Motta L., Ferreira L., Cabral T. General Overview and Proof of Concept of a Smart Home Energy Management System Architecture. *Electronics*. 2023. Vol. 12, no. 21. P. 44-53. DOI: <https://doi.org/10.3390/electronics12214453> (date of access: 15.05.2025).
6. Machine learning-based energy consumption prediction for smart buildings. URL: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.103187> (date of access: 15.05.2025).
7. Smart Home Device Efficiency Prediction. URL: <https://www.kaggle.com/code/muhammadfaizan65/smart-home-device-efficiency-prediction> (date of access: 15.05.2025).
8. Reinforcement learning for HVAC control in intelligent buildings: A technical and conceptual review. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S235271022401653X> (date of access: 15.03.2025).
9. Renewable Power Generation Costs in 2024. URL: <https://www.irena.org/Publications/2025/Jun/Renewable-Power-Generation-Costs-in-2024> (date of access: 15.03.2025).

10. Smart Home Energy Management Systems: A Systematic Review of ... (AASMR review). URL: <https://surl.li/ryhobu> (date of access: 15.05.2025).

11. The Best Smart Home Systems for 2024. URL: <https://screenon.al/en/the-best-smart-home-systems-for-2024/> (date of access: 15.03.2025).

12. Бойко А. І., Іванова Т. Г. Інтелектуальні системи керування енергоспоживанням у «розумному будинку». *Енергозбереження. Енергетика. Енергоаудит*. 2021, № 4, С. 35–42.

13. Всяких В. Є. Дослідження енергоефективності технологій розумного будинку : магіст. дис. В. Є. Всяких. Київ : КПІ, 2024. 71 с. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/63939> (дата звернення: 15.05.2025).

14. Журба І. А., Дьяченко О. С., Дьяченко Л. Ю. Розумний будинок. Матеріали науково-практичної конференції «Просування енергоефективності та підготовка фахівців для відбудови України», (13 березня 2024 р., Дніпро) : зб. тез. Дніпро: Енерго-інноваційний хаб ПДАБА, 2024. С. 69-72

15. Ковівчак Я. В., Дубук В. І., Слюсар В. В. Розробка інформаційної системи управління електроспоживанням у розумному будинку. *Комп'ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, виробництво*. 2021, № 42, С. XX–YY. DOI:10.36910/6775-2524-0560-2021-42-09.

16. Кушнарєнко О. В., Пушкар О. І. Розробка системи управління енергоспоживанням у «розумному будинку». *Вісник Хмельницького національного університету. Серія: Технічні науки*. 2022, № 4, С. 55–61.

17. Розумний дім сьогодні: з чого почати та на що звертати увагу. *Gagadget*, 2024. URL: <https://gagadget.com/uk/smarthome/469144-rozumnij-budinok-sogodni-z-chogo-pochati-ta-na-shcho-zvertati-uvagu/> (дата звернення: 15.05.2025).

18. Халімонов Я. І. Аналіз систем автоматизації визначення умов у житлових та робочих приміщеннях з використанням комп'ютерно-інтегрованих рішень. *Автоматизація, електроніка та робототехніка*. Харків : ХНУРЕ, 2023. С. 32–35

19. Халімонов Я. І. Використання сенсорів та IoT-технологій для моніторингу параметрів робочого середовища. *Автоматизація та*

*Приладобудування : збірник студентських наукових статей.* Харків : ХНУРЕ, 2024. Вип. 1. С. 106-110.