

ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»
Факультет комп'ютерно-інформаційних технологій та автоматизації

(повне найменування інституту, назва факультету)

Кафедра автоматики та телекомунікацій

(повна назва кафедри)

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри автоматики та
телекомунікацій

_____ **Іван ЛАКТИОНОВ**
(підпис) (ім'я та прізвище)

« ____ » _____ 2022 р.

Випускна кваліфікаційна робота

бакалавра

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему **«Розробка телекомунікаційної інфраструктури "Розумний будинок" з
елементами енергоменеджменту»**

Виконав студент 4 курсу, групи ТКР-18
(шифр групи)

спеціальності 172 Телекомунікації та радіотехніка
(шифр і назва спеціальності)

Гладкоскок Данило Ігорович

(Прізвище, Ім'я та По-батькові)

(підпис)

Керівник ст. викл. каф. АТ _____ **Гліб СТУПАК**
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ім'я) (підпис)

Рецензент зав. каф. ЕлІн, к.т.н., доц. _____ **Олександр КОЛЛАРОВ**
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ім'я) (підпис)

Нормоконтроль:

_____ ас. Дар'я ЖУКОВСЬКА
(підпис)

*Засвідчую, що у цій дипломній
роботі немає запозичень з праць
інших авторів без відповідних
посилань.*

Студент _____
(підпис)

Луцьк – 2022 р.

ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»
Факультет комп'ютерно-інформаційних технологій та автоматизації

(повне найменування інституту, назва факультету)

Кафедра автоматики та телекомунікацій

(повна назва кафедри)

Захист відбувся _____

(дата)

з оцінкою _____

Секретар ЕК _____

(підпис)

Випускна кваліфікаційна робота
бакалавра

Тема: «Розробка телекомунікаційної інфраструктури "Розумний будинок" з елементами енергоменеджменту»

Спецчастина: _____

Виконавець, студент

гр. ТКР–18

Данило ГЛАДКОСКОК

(підпис, дата, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Керівник

Гліб СТУПАК

(підпис, дата, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Консультанти:

Іван ЛАКТІОНОВ

(підпис, дата, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Гліб СТУПАК

(підпис, дата, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Валерій ПОЦЕПАСВ

(підпис, дата, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Нормоконтроль

Дар'я ЖУКОВСЬКА

(підпис, дата, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри АТ
Іван ЛАКТИОНОВ

З А В Д А Н Н Я

НА ВИПУСКНУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА

1. Тема проекту (роботи) Розробка телекомунікаційної інфраструктури "Розумний будинок" з елементами енергоменеджменту

Технічна документація та матеріали з переддипломної практики

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

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	ст. викл. Ступак Г.В.		
2	зав. каф. АТ, д.т.н., доц. Лактіонов І.С.		
3	к.т.н., доц. каф. АТ, доц. Поцєпаєв В.В.		

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Основи проектування телекомунікаційних систем контролю параметрів енергоменеджменту розумних будинків	18.05.2022	
2	Проектування телекомунікаційної інфраструктури енергетичного менеджменту розумних будинків	31.05.2022	
3	Модель телекомунікаційної інфраструктури для віддаленого контролю параметрів енергоефективності розумних будинків	15.06.2022	
4	Додаток А – Охорона праці та безпека під час надзвичайних ситуаціях на підприємстві	17.06.2022	

Студент _____
(підпис)Данило ГЛАДКОСКОК
(прізвище та ініціали)Керівник роботи _____
(підпис)Гліб СТУПАК
(прізвище та ініціали)

ЛИСТ ЗАУВАЖЕНЬ

Посада, Ім'я та ПРІЗВИЩЕ	Суть зауваження, оцінка та підпис

АНОТАЦІЯ

Гладкоскок Данило Ігорович. Розробка телекомунікаційної інфраструктури "Розумний будинок" з елементами енергоменеджменту / Development of the telecommunication infrastructure "Smart Home" with energy management elements / Кваліфікаційна випускна бакалаврська робота на здобуття освітнього ступеня «бакалавр» зі спеціальності 172 Телекомунікації та радіотехніка. – ДВНЗ «ДонНТУ», Покровськ, 2022.

Пояснювальна записка: 66 стор., 36 рис., 19 літературних посилань.

На даний час через динамічне та досить активне зростанням потужностей промисловості в усьому світі спостерігається збільшення глобального попиту на електричну енергію в майже у всіх країнах. Відповідний позитивний напрямок переходу в енергетичній галузі на відновлювальні, альтернативні і чисті джерела електричної енергії все ще не є домінуючим в порівнянні з класичними підходами з викопними ресурсами. Отже, досить актуальною залишається задача використання телекомунікацій у галузі енергоменеджменту.

Мета бакалаврської роботи полягає в розробці і проектуванні телекомунікаційної інфраструктури мережного контролю параметрів енергоменеджменту розумних будинків на основі технології Інтернету речей.

Головні результати: виконано аналіз і опис телекомунікаційних пристроїв і мереж для контролю параметрів енергетичної ефективності; спроектована архітектура телекомунікаційної інфраструктури; вибраний промисловий логічний контролер і датчики для телекомунікаційної мережі та описаний їх принцип дії; вибрані мережні протоколи передачі даних в локальній мережі розумних будинків; вибраний і описаний принцип роботи хмарного Web-сервісу для аналітичної обробки інформації про енергетичну ефективність; проведено моделювання спроектованої мережі оцінки енергоменеджменту.

Ключові слова: ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНА СИСТЕМА, ІНФРАСТРУКТУРА, ДАТЧИК, ЕНЕРГОМЕНЕДЖМЕНТ, LORA, РОЗУМНИЙ БУДИНОК, ЛОГІЧНИЙ КОНТРОЛЕР.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	9
1 ОСНОВИ ПРОЕКТУВАННЯ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ СИСТЕМ КОНТРОЛЮ ПАРАМЕТРІВ ЕНЕРГОМЕНЕДЖМЕНТУ РОЗУМНИХ БУДИНКІВ.....	11
1.1 Важливість розробки телекомунікаційної системи контролю параметрів енергоефективності	11
1.2 Фізичні властивості телекомунікаційних систем для контролю в розумних будинках.....	14
1.3 Аналіз методів проектування телекомунікаційних систем контролю для розумних будинків.....	17
1.4 Огляд технології LPWAN.....	21
Висновки до розділу 1.....	25
2 ПРОЕКТУВАННЯ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ ЕНЕРГЕТИЧНОГО МЕНЕДЖМЕНТУ РОЗУМНИХ БУДИНКІВ.....	26
2.1 Загальна архітектура телекомунікаційної системи контролю енергоменеджменту.....	26
2.2 Вибір моделі промислового логічного контролера.....	31
2.3 Вибір датчиків.....	35
2.4 Вибір бездротової технології передачі даних вимірювань.....	43
2.5 Опис хмарного Web-серверу для аналітичної обробки даних.....	45
Висновки до розділу 2.....	46
3 МОДЕЛЬ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ ДЛЯ ВІДДАЛЕНОГО КОНТРОЛЮ ПАРАМЕТРІВ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ РОЗУМНИХ БУДИНКІВ.....	48
3.1 Модель зонального контролю показників енергоменеджменту будинків.....	48

3.2 Модель телекомунікаційної системи контролю параметрів енергоменеджменту.....	51
3.3 Програмний код для телекомунікаційної системи контролю параметрів енергоменеджменту.....	53
Висновки до розділу 3.....	54
ВИСНОВОК.....	56
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	58
ДОДАТОК А – Охорона праці та безпека при надзвичайних ситуаціях на підприємстві.....	60

ВСТУП

Актуальність теми. В теперішній час в зв'язку з динамічним і дуже активним зростанням промисловості і глобальними процесами в світовій економіці спостерігається збільшення інтегрального попиту на електричну енергію в майже всіх країнах світу. Відповідна позитивна тенденція переходу в енергетичній галузі на відновлювальні, чисті та альтернативні джерела електричної енергії все ще не є домінуючим в порівнянні з класичними підходами з використанням викопних природних ресурсів. Отже, досить актуальною залишається глобальна проблема збереження і відновлення довколишнього середовища в зв'язку з постійним підвищенням рівня CO₂ в атмосфері на Землі.

Одним із можливих і досить дієвих підходів до зменшення попиту і використання електричної енергії в світі є підвищення ефективності і раціональності її використання.

До таких заходів, які застосовуються, відносяться утеплення будівель та ефективний і постійний онлайн контроль за енергосистемами охолодження і опалення. Доволі дієвим робочим інструментом в даному напрямку є впровадження телекомунікаційних інфраструктур на основі бездротових систем і мереж енергетичного менеджменту в різних сферах. Таким чином, удосконалення телекомунікаційних інфраструктур віддаленого контролю показників енергоменеджменту є актуальною задачею і потребує вирішення.

Мета бакалаврської роботи – розробити і спроектувати телекомунікаційну інфраструктуру для ефективного мережного контролю параметрів енергоменеджменту розумних будинків і побутових приміщень на основі технології Інтернету речей.

Завдання бакалаврської роботи:

1. Виконати аналіз і опис телекомунікаційних пристроїв і інфокомунікаційних мереж, які призначені для контролю параметрів

енергетичної ефективності будівель і приміщень.

2. Спроекувати архітектуру телекомунікаційної інфраструктури для віддаленого контролю параметрів енергоменеджменту розумних будинків і інших побутових приміщень.

3. Вибрати промисловий логічний контролер і датчики телекомунікаційної мережі та описати їх принцип дії та основні переваги і недоліки.

4. Вибрати бездротову технологію (протоколи, інтерфейси) для передачі інформації до локальної мережі розумних будинків.

5. Вибрати хмарний Web-сервіс для аналітичної обробки результатів контролю параметрів енергетичної ефективності будинків.

6. Провести моделювання і тестування спроектованої телекомунікаційної інфраструктури контролю енергоменеджменту розумних будинків.

7. Описати отримані результати бакалаврської роботи.

Пояснювальна записка бакалаврської роботи містить 3 розділи, вступ, висновки і список літератури. Вона складається з 66 сторінок: основний текст – 54 сторінки, всього рисунків – 36, літературних джерел – 19, додатків – 1 на 7 сторінках.

1 ОСНОВИ ПРОЕКТУВАННЯ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ СИСТЕМ КОНТРОЛЮ ПАРАМЕТРІВ ЕНЕРГОМЕНЕДЖМЕНТУ РОЗУМНИХ БУДИНКІВ

1.1 Важливість розробки телекомунікаційної системи контролю параметрів енергоефективності

В останній час у зв'язку з активним зростанням глобалізації світової економіки відбувається збільшення інтегрального попиту на електричну енергію. Відповідна тенденція переходу в енергетичному секторі на альтернативні, відновлювальні і чисті джерела все ще не є домінуючим принципом в порівнянні з викопним паливом. Таким чином, актуальною залишається глобальна проблема збереження навколишнього середовища в зв'язку з постійним підвищенням рівня CO₂ в атмосфері. Одним із можливих підходів до зменшення попиту і використання електричної енергії є підвищення ефективності її раціонального використання.

Яскравим прикладом на шляху до вирішення питання підвищення ефективності використання електричної енергії є Німеччина. В цій країні на всіх рівнях докладаються значні зусилля у всіх галузях. До подібних заходів, що застосовуються, є утеплення будівель та ефективний контроль за енергосистемами охолодження і опалення. Дієвим робочим інструментом в цьому напрямку є енергетичний менеджмент.

Існують також рішення у вигляді провідних потужних систем управління електричною енергією з обов'язковим введенням до конфігурації пристроїв телекомунікацій. Глобально такі системи складаються з блоків автоматичного управління, сенсорної мережі та інфокомунікаційних (телекомунікаційних) технологій. Вони збирають значний обсяг інформації в режимі онлайн, що потім проходить комп'ютерний аналіз для оптимізації управлінських рішень. Як правило подібні системи характеризуються високою вартістю через

необхідність монтажу датчиків та прокладання кабелю в усьому приміщенні, а це ще й значно погіршує характеристики загальної надійності технічної інфраструктури. Проте на сьогодні можливим є використання технології Інтернету речей в таких системах, що допоможе значно знизити витрати на монтаж і обслуговування телекомунікаційних систем.

Таким чином, безпроводні сенсорні мережі (WSN) представляють собою мережі, які утворені на основі значної кількості сенсорних вузлів різних датчиків, кожен із яких оснащений відповідними перетворювачами для вимірювання фізичних параметрів і модулем безпроводного зв'язку. В порівнянні з дротовим технологіями безпроводні сенсорні мережі (WSN) характеризуються більш зручним розгортанням, кращою гнучкістю пристроїв та надійністю роботи [1]. Дані з WSN-мереж датчиків зазвичай передаються на хмарний Web-сервер, на якому вони зберігаються і використовуються для ефективного і оперативного моніторингу та контролю. Варто також зазначити, що таке рішення має і свої недоліки, які в основному полягають в низькій швидкості передачі та обмеженій дальності передачі даних, а також в незначному періоді роботи портативних акумуляторів пристроїв мережі WSN.

Одним із можливих і ефективних шляхів усунення вищевказаних недоліків є використання мережі LPWAN. Такий вид мережі характеризується використанням досить дешевих вузлів з радіусом покриття 5 ... 10 км і низьким рівнем споживання енергії.

Сучасні бездротові технології такі, як: Wi-Fi, Bluetooth, ZigBee і LPWAN використовуються для звичайних безпроводних сенсорних WSN-мереж в побутових та промислових приміщеннях.

Зупинимось більш детально на розгляді технології LPWAN. Вузли мережі LPWAN підключаються до однієї базової станції, яка в свою чергу, додатково має бути підключена до дротової мережі. Даний підхід дозволяє технології LPWAN розширити зону покриття мережі до десятків кілометрів [2]. Технічними реальними прикладами реалізації таких мереж LPWAN є технології LoRa WAN і Sigfox.

Телекомунікаційні системи контролю і управління режимами споживання електричної енергії повинні безупинно отримувати дані для ефективного і раціонального використання енергії. Процеси кондиціювання та опалення (головні, від яких залежить кінцева енергетична ефективність) будівель повинні регулюватись на основі значень, що надходять від WSN-датчиків, онлайн. В свою чергу, датчики в системах розумних будинків повинні розміщуватись в різних місцях, в тому числі й на вулиці. Дані вузли телекомунікаційних інфраструктур здійснюють управління і регулювання температури для підтримки комфортної атмосфери протягом всього часу роботи. Додатковим позитивним фактором є те, що телекомунікаційні системи для управління електричною енергією безпечні для екології навколишнього середовища, не впливають на здоров'я людей і економічно вигідні.

Проектування і впровадження телекомунікаційних інфраструктур для оптимального управління і контролю параметрів енергоменеджменту будинків рекомендується робити на етапі будівельних робіт в приміщеннях. Це пов'язано з тим, що оскільки в плани будівництва входить визначення інженерами-проектувальниками місць розташування необхідних датчиків і телекомунікаційних модулів зв'язку. На сьогоднішній день на світовому ринку працюють компанії, які є постачальниками якісних технічних рішень, що зосереджені на інтелектуальному управлінні споживанням електричної енергії. Ці компанії пропонують рішення провідних систем телекомунікаційного контролю і управління. Основною проблемою, з якою вони постійно стикаються полягає в тому, що їх системи дуже важко застосувати у вже існуючих будівлях. Проте дану проблему можливо вирішити за рахунок застосування систем бездротових WSN-датчиків.

Таким чином, дана робота присвячена саме проектуванню телекомунікаційної інфраструктури для ефективного контролю і управління режимами споживання електричної енергії за допомогою бездротових сенсорних WSN-мереж, які можуть використовуватись в побутових і офісних приміщеннях, для підвищення комфортності. Отже, мета бакалаврської роботи

полягає в тому, щоб спроектувати і розробити телекомунікаційну інфраструктуру для мережного безпроводного контролю параметрів енергоменеджменту розумних будинків та інших приміщень на основі технології IoT. Це доводить актуальність обраної теми і потребує її вирішення.

1.2 Фізичні властивості телекомунікаційних систем для контролю в розумних будинках

Як вказувалось в попередньому підпункті, то оптимальним рішенням при створенні розумних будинків є бездротові WSN-технології. Бездротова WSN-система – це система, що збирає і передає інформацію на певні відстані без використання в своєму складі проводів, що досягається шляхом використання електромагнітних хвиль в якості каналів для передачі електричних інформаційних сигналів і повідомлень.

Оскільки, електромагнітні хвилі здатні поширюватись крізь об'єкти набагато швидше за механічні хвилі, то їх широко використовують у системах зв'язку. Хвилі високої частоти мають не значний показник довжини хвилі, проте вони є більш чутливими до перешкод та схильні до загасання на значних відстанях, але вони здатні переносити більшу кількість інформації, ніж хвилі низької частоти. В свою чергу, низькочастотні хвилі мають більший показник довжини хвилі, але вони характеризуються тим, що не спроможні переносити великі обсяги інформації.

Для передачі цифрових сигналів за допомогою безпроводних WSN-засобів їх попередньо інвертують. Такий вид перетворення називається модуляцією сигналів. В сьогоdnішній практиці існують декілька різних видів модуляції. Робоча частота сигналу та обраний вид модуляції активно впливають на характеристики будь-якої бездротової технології. Так наприклад, радіостанції використовують частотний вид модуляції та базову несучу частоту в діапазоні 76 МГц ... 108 МГц, а мережі стільникового зв'язку використовують

мікрохвилі частотою більше ніж 1 ГГц. Також додаткову інформацію можна передати на тій же робочій несучій частоті попередньо змінивши техніку модуляції, як наприклад GSM, GPRS і EDGE.

Всі безпроводні технології і відповідні їм системи характеризується такими параметрами як: задіяний частотний діапазон, пропускна здатність, споживана потужність, стійкість до завад і перешкод та інше. Всі дані характеристики взаємопов'язані між собою: високі показники пропускної здатності вимагають більшої потужності і створюють більше шуму, а великий частотний діапазон передачі даних вимагає більше електричної енергії.

Базова структура системи безпроводного зв'язку з двома пристроями, що обмінюються інформацією представлена на рисунку 1.1. В даній системі приймач – це пристрій, який як передає інформацію, так і отримує її від іншого пристрою мережі. У представленій на рисунку 1.1 системній організації приймач має антену та модулятор. Антена представляє собою електричний пристрій, який перетворює електричний струм в електромагнітні хвилі, а модулятор – це пристрій, що перетворює інформацію в необробленому виді в форму, яка може передаватися за рахунок ЕМ-хвиль.

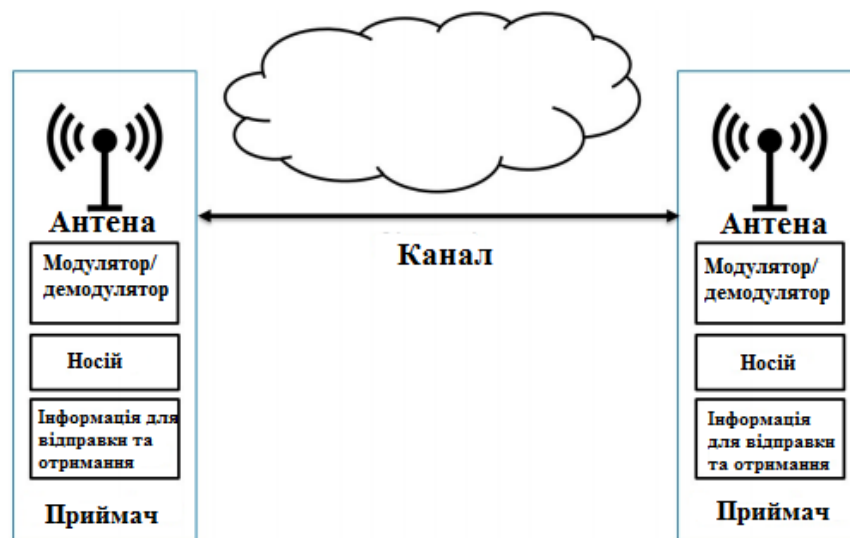


Рисунок 1.1 – Структура базової телекомунікаційної інфраструктури безпроводного зв'язку з двома приймачами

В даній системі на рисунку 1.1 каналом називається середовище через, яке проходить сигнал, в якому міститься інформація. В бездротовому типі WSN-зв'язку каналом передачі (середовищем) є повітря.

Найбільш поширеною одиницею вимірювання потужності сигналів в системах зв'язку є децибел-мілівати – це відношення потужності інформаційного сигналу до одного мілівату потужності. Різниця в децибелах між двома сигналами визначається за формулою [3]:

$$f = 10 \cdot \lg \left(\frac{PW_1}{PW_2} \right), \quad (1.1)$$

де f – різниця між двома сигналами;

PW_1 – потужність першого сигналу;

PW_2 – потужність другого сигналу.

Одним з головних показників продуктивності інфокомунікаційних систем є коефіцієнт підсилення антени, який визначає направленість і ефективність антен в кількісній мірі. В свою чергу, ефективність є мірою перетворення електричної енергії в радіохвилі та в зворотному напрямку, а направленість – це кількісна міра сили випромінювання, яке випромінюється і надсилається в певному встановленому напрямку.

Модуляція – це процедура перетворення сигналів низької частоти до області високих частот, щоб була можливою його передача на значні відстані. Прикладом аналогової модуляції є радіохвилі FM і AM діапазонів. Також існують цифрові методи модуляції. В такому виді модуляції цифрові (дискретні) сигнали перетворюються на електромагнітні хвилі, що потім передаються. Прикладами цифрової модуляції є амплітудна зсувна модуляція, фазова модуляція і квадратурна амплітудна модуляція [3].

При передачі даних у вигляді електромагнітних хвиль можливі втрати інформації, наприклад, через погодні умови. Показник втрат можна кількісно розрахувати за рівнянням:

$$PW = PW_1 + PW_2 \cdot n, \quad (1.2)$$

де PW – отримана потужність сигналу, дБ;

PW_1 – потужність сигналу, що передається, дБ;

PW_2 – додаткова отримана потужність, дБ

n – безрозмірний параметр втрат.

Одним із найважливіших кількісних параметрів телекомунікаційних систем, мереж і інфраструктур є співвідношення сигнал / шум, який показує рівень потужності корисного інформаційного сигналу по відношенню до рівня фонових шумів. Якщо даний параметр має значення менше 1, то в такому випадку виникають значні труднощі у встановленні інформаційного сигналу. Проте на сьогодні існують методики, за допомогою яких можна встановлювати сигнали, потужність яких є меншою за потужність шуму. Цей параметр розраховується за формулою:

$$F = 10 \cdot \lg \left(\frac{PW_{\text{сигналу}}}{PW_{\text{шуму}}} \right), \quad (1.3)$$

де F – відношення сигнал / шум;

$PW_{\text{сигналу}}$ – потужність інформаційного сигналу;

$PW_{\text{шуму}}$ – потужність шуму.

1.3 Аналіз методів проектування телекомунікаційних систем контролю для розумних будинків

Модель OSI.

Всі процеси комунікацій, що відбуваються в телекомунікаційних мережах і інфраструктурах на їх основі, легко пояснюються за допомогою мережевої

моделі OSI [4], як це показано на рисунку 1.2.

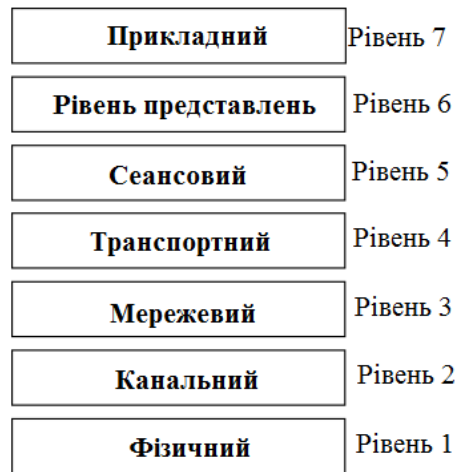


Рисунок 1.2 – Мережева модель рівнів OSI

Дана OSI-модель багаторівневої мережі є масштабованою і досить гнучкою, проте вона вимагає значних показників потужності обробки даних. При використанні безрівневої мережевої структури буде відбуватись обмін даними на фізичному рівні, як наприклад датчик фізичних параметрів в безпроводних сенсорних мережах (WSN).

Класи мереж.

На сьогоднішній день виділяють наступні класи телекомунікаційних мереж: персональна мережа (PAN), локальна мережа (LAN), глобальна мережа (WAN). Головні відмінності цих класів мереж полягають в області застосування, діапазоні частот та показниках в пропускній здатності.

Зазвичай персональна мережа – це клас мережі, яка побудована довкола невеликого простору, тобто довкола однієї людини. Одними із прикладів технологій, які використовуються в PAN мережах є Bluetooth і Wi-Fi.

Зона покриття локальної мережі зазвичай є офісами, будинками та іншими спорудами або приміщеннями. Цей клас мереж є найбільш поширеним з усіх інших класів. Заснована як правило вона на технології Ethernet.

Глобальні мережі, як правило, охоплюють значно ширші території ніж локальні, наприклад декілька будівель, міст, країн або континентів. Яскравим

прикладом глобальної мережі є Інтернет.

Топології мереж.

Для можливості обміну даними між вузлами і компонентами телекомунікаційної мережі, вони повинні бути об'єднані між собою певним чином, тобто у вигляді однієї з можливих топологій. Кожен вид топології мережі характеризується своїми показниками: масштабованість, гнучкість, надійність, пропускна здатність, складність і інше.

Основні відомі види топологій телекомунікаційних інфраструктурних мереж є наступними: зірка (див. рис. 1.3), загальна шина (див. рис. 1.4), кільце (див. рис. 1.5) і Mesh (див. рис. 1.6).

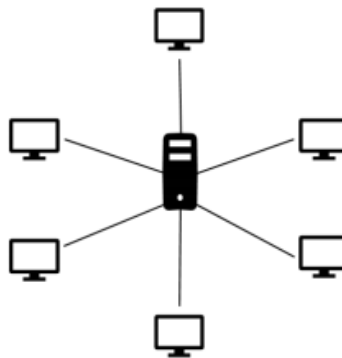


Рисунок 1.3 – Структура топології телекомунікаційної мережі «зірка»

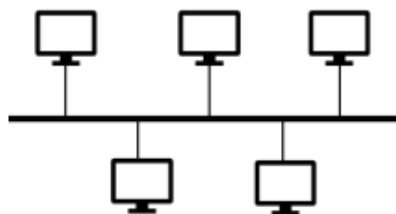


Рисунок 1.4 – Структура топології телекомунікаційної мережі «загальна шина»

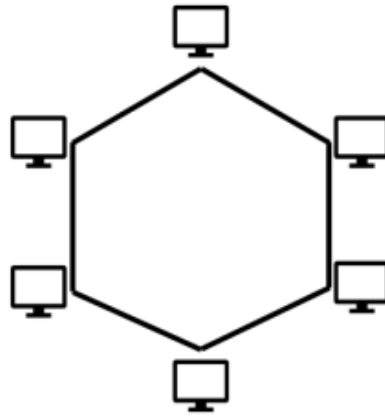


Рисунок 1.5 – Структура топології телекомунікаційної мережі «кільце»

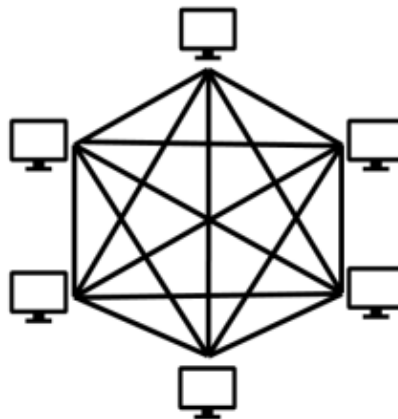


Рисунок 1.6 – Структура топології телекомунікаційної мережі «Mesh»

Комунікаційні протоколи.

В теперішній час найбільш широкого впровадження і використання при створенні WSN-мереж сенсорів у складі телекомунікаційних інфраструктур для розумних будинків набули наступні різновиди комунікаційних протоколів: RS-232, RS-485, 1-Wire, I2C і SPI.

Протоколи RS-232 і RS-485 представляють собою послідовні асинхронні протоколи зв'язку, що використовується для обміну даними між пристроями і персональними комп'ютерами.

Протоколи I2C і SPI використовується для зв'язку пристроїв на коротких відстанях. Пристрої I2C і SPI реалізують обмін інформацією в повно дуплексному режимі з урахуванням стандартної архітектури Master / Slave.

Пристрої, які працюють на базі протоколу 1-Wire, використовують один сигнальний дріт для передачі сигналів.

1.4 Огляд технології LPWAN

Мережна технологія LPWAN призначена для роботи на великих радіусах дії з низьким показником енергоспоживання, що робить її оптимальною для більшості прикладних телекомунікаційних задач. Датчики та модулі зв'язку можуть працювати за цією технологією протягом 5 років без підзарядки і заміни акумуляторів. Отже, пристрої які на технології LPWAN знайшли широке використання на ринку в системах Інтернету речей.

Технології LPWAN можна класифікувати за ознакою використовуваного частотного спектру, який вони відтворюють: ліцензований і неліцензований [5]. На рисунку 1.7 представлені категорії класифікації технології LPWAN.

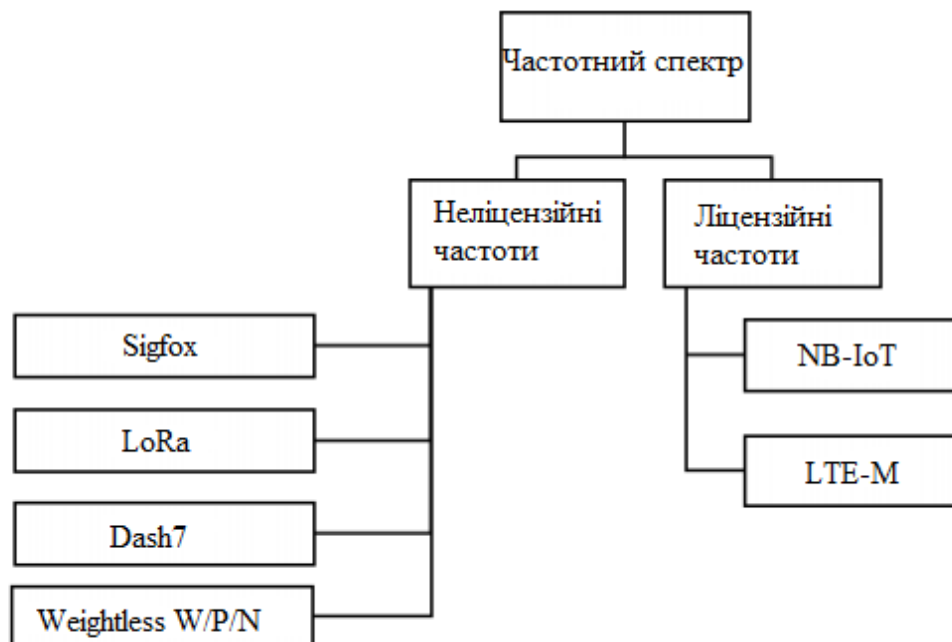


Рисунок 1.7 – Схема класифікації категорій технології LPWAN

В Україні найбільшого використання здобули дві категорії технології LPWAN: LoRa і Sigfox.

Sigfox – це провідна європейська компанія, що розробляє і надає технічні і програмні рішення для підключення IoT-пристроїв на основі LPWAN. В даній технології Sigfox спектральна щільність сигналу зосереджена у вузькій смузі частот, а щільність енергії шуму розподіляється вздовж всього спектру сигналу, а отже це робить інформаційний сигнал в будь-якій вузькій частині спектра завжди більш потужним за рівень шуму. Головний недолік технології Sigfox виявляється при пікових значеннях шуму. В даній інфокомунікаційній технології одне повідомлення займає смугу частот приблизно в 100 Гц, як це у вигляді графіка показано нижче на рисунку 1.8 [6].

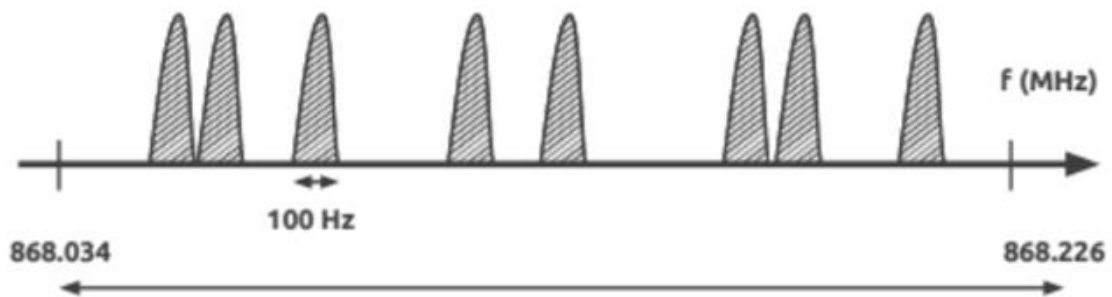


Рисунок 1.8 – Графік частотного діапазону роботи технології Sigfox

Як правило, технологія Sigfox вимагає для підключення на один пристрій до трьох базових станцій. Принцип роботи заснований на терміні «груповий сукупний прийом». Завдяки цьому покращується надійність телекомунікаційної мережі та загальної інфокомунікаційної інфраструктури за рахунок використання мінімальних резервів.

На рисунку 1.9 показано вид стандартної архітектури мережі Sigfox. Використовуючи техніку фазової модуляції кінцеві пристрої мережі передають дані на базові станції через повітря, тобто без дротів. Зв'язок базових станцій з кінцевим пристроєм реалізується через 3G / 4G і DSL. При обробці повідомлень кінцевим пристроєм зайві повідомлення видаляються. Для користувачів таких

мереж розроблені і адаптовані спеціальні веб-інтерфейси [7].

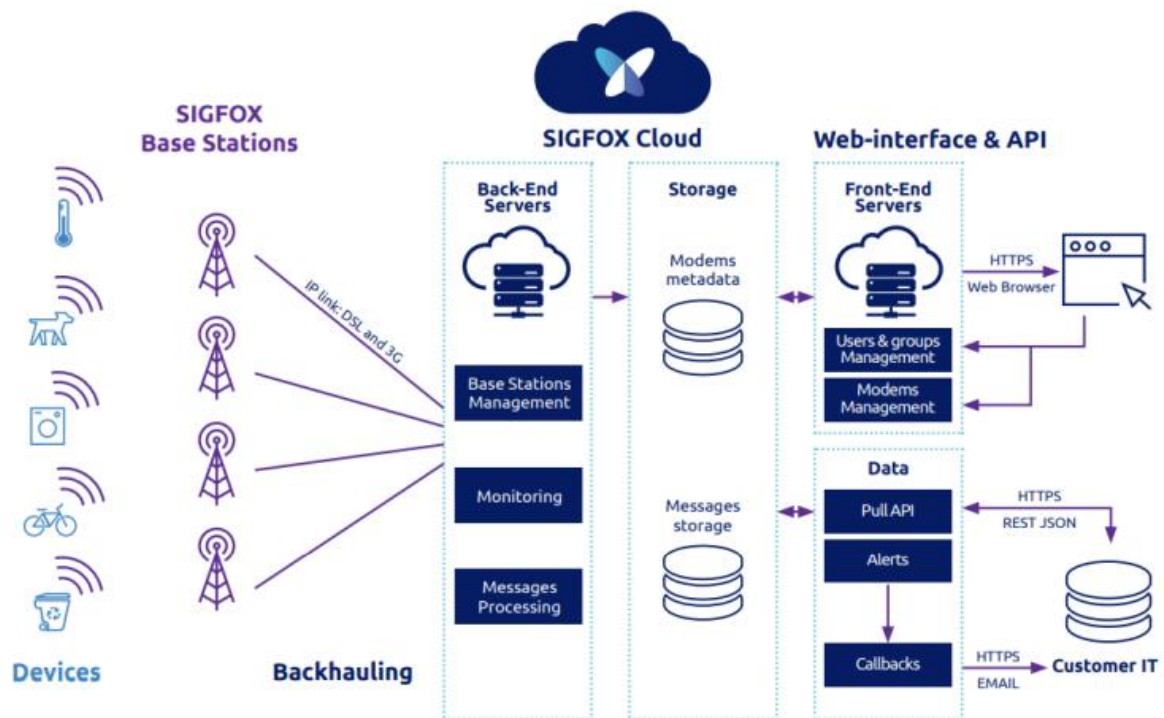


Рисунок 1.9 – Стандартна архітектура телекомунікаційної LPWAN інфраструктури Sigfox [7]

Другим типом LPWAN технології є LoRa, який є глобальним мережевим протоколом, що забезпечує надійний і захищений зв'язок на великих відстанях. Ключовими елементами при побудові LoRa мережі є архітектура і протокол роботи мережі. Дані параметри впливають на безпеку, пропускну здатність, якість обслуговування, термін дії акумуляторів, різноманітність додатків для користувачів цієї мережі.

Технологія LoRa являє собою протокол каналного рівня. У свою чергу LoRa WAN являє собою протокол рівня керування доступом до медіа, на основі якого визначається архітектура мережі, як показано на рисунку 1.10 [8].

Розширення діапазону LoRa WAN мережної інфраструктури можливе при використанні Mesh топології, в якій обов'язково використовуються такі мережеві пристрої як маршрутизатори, а також за рахунок додавання нових

пристроїв до телекомунікаційної мережі, в якій кожен пристрій виконує функцію ретранслятора.

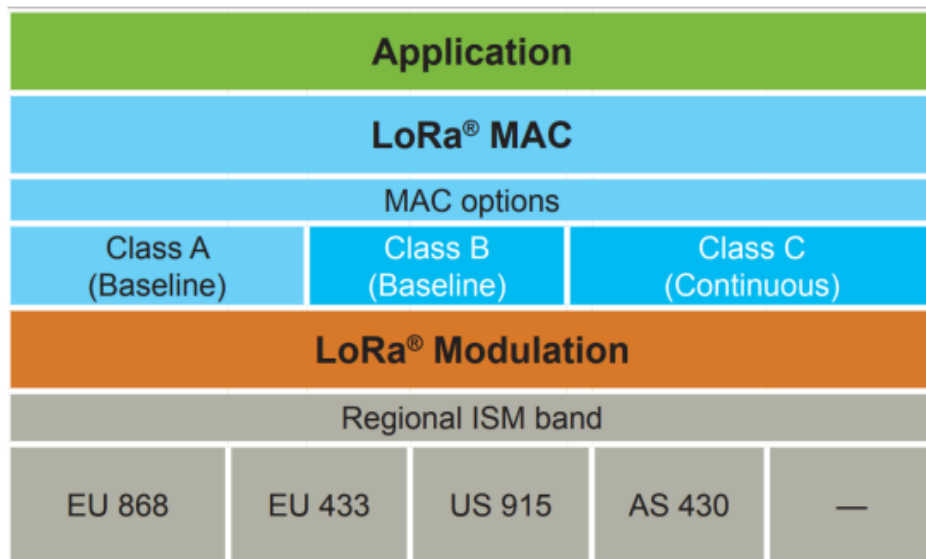


Рисунок 1.10 – Структура стеку LoRa і LoRa WAN

При використанні стандартизованого протоколу зв'язку LoRa WAN кожен вузол мережі передає пакети даних одночасно на декілька шлюзів, як показано на рисунку 1.11, а після цього кожен шлюз мережі передає пакети даних на сервер через Ethernet або Wi-Fi.

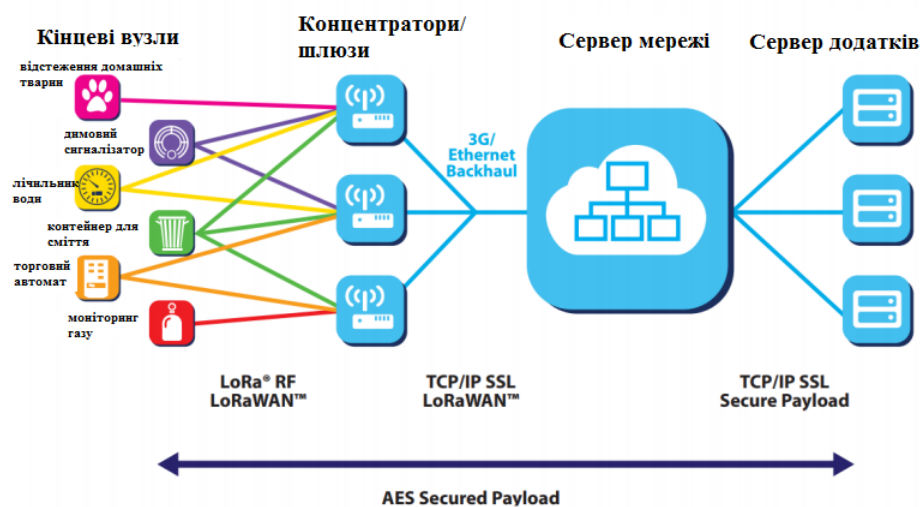


Рисунок 1.11 – Загальна архітектура і топологія інфраструктурної мережі LoRa WAN

Для зменшення навантаження на пристрої і щільно в LoRa мережній інфраструктурі функції зберігання і фільтрування повідомлень покладено на сервер. Такий спосіб є прийнятним у випадку мобільного вузла, оскільки відстеження його поточного положення визначається шляхом моніторингу сили сигналу, що транслюється або ретранслюється в мережі.

Висновки до розділу 1

1. Доведено важливість і необхідність проектування телекомунікаційної інфраструктури для організації контролю параметрів енергоефективності розумних будинків на основі технології Інтернету речей.
2. Охарактеризовані фізичні властивості використовуваних телекомунікаційних систем для реалізації постійного контролю в розумних будинках та інших будівлях.
3. Виконано аналіз способів проектування телекомунікаційних систем і інфраструктур для контролю для розумних будинків.
4. Зроблено огляд основних характеристик технології LPWAN, яка розглядається як основна при проектуванні телекомунікаційної інфраструктурної мережі контролю енергоефективності розумних будинків.

2 ПРОЕКТУВАННЯ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ ЕНЕРГЕТИЧНОГО МЕНЕДЖМЕНТУ РОЗУМНИХ БУДИНКІВ

2.1 Загальна архітектура телекомунікаційної системи контролю енергоменеджменту

В попередньому розділі відзначено, що телекомунікаційна мережна інфраструктура, що реалізує безперервний контроль показників енергоменеджменту розумних будівель, яка проектується в даному розділі бакалаврської роботи, повинна розглядатись як частина розумного будинку в концепції Інтернету речей. Це обумовлено тим, що такий підхід дозволяє виконати економію енергії і ресурсів та відстежувати поточні показники параметрів онлайн. В загальному вигляді схема типового розумного будинку наведена на рисунку 2.1 [9].



Рисунок 2.1 – Графічна схема типового розумного будинку в концепції Інтернету речей [9]

До основних задач, які вирішуються при проектуванні телекомунікаційних мережних інфраструктур для контролю енергоефективності розумних будівель відносяться:

1. Вимірювання кількості споживаної електричної енергії як окремими електричними приладами в будівлі, так і показник загального споживання в конкретні періоди часу.
2. Вимірювання температури всередині приміщення з можливістю визначення температури по виокремлених зонах.
3. За наявності альтернативних джерел електричної енергії як, наприклад, сонячні електричні панелі, визначення кількості електричної енергії, що виробляється.
4. Керування режимами вмикання та вимикання електричного обладнання для обігрівання і кондиціонування.
5. Виконувати аналітику, в тому числі прогнозу, отриманих даних про вимірювані параметри енергоменджменту в будівлі.
6. Відправляти дані на хмарний Web-сервер з можливістю віддаленого доступу до них з мобільних пристроїв.

Таким чином, на підставі описаних вище основних задач телекомунікаційної мережі для контролю факторів енергоменджменту в загальній інфраструктурі розумних будівель, яка проектується в даній роботі, визначено, що до її складу повинні входити такі пристрої:

1. Датчики стуму та напруги. Кількість даних датчиків визначається кількістю електричних пристроїв, що споживають енергію з мережі. Також на кількість даних датчиків впливає наявність в будівні альтернативних джерел електричної енергії.
2. Датчики температури. Кількість і конкретні характеристики даних типів датчиків визначається вимогами до числа і типів зон, в яких необхідно виконувати онлайн WSN-моніторинг температури.
3. Промисловий логічний контролер, до якого будуть підключатись всі датчики та периферійні модулі. Даний контролер повинен отримувати

інформацію від датчиків, обробляти її та відправляти за допомогою додаткових модулів на хмарний Web-сервіс. Також він має виконувати функцію керування, тобто за необхідності вмикати та вимикати електричне обладнання, що призначене для обігрівання та кондиціювання приміщень. Ще однією його задачею є отримання зворотної інформації від хмарних Web-сервісів за необхідності.

4. Модуль безпроводного мережевого зв'язку, який виконує функцію створення WSN-мережі розумних пристроїв.

5. Програмне забезпечення на хмарному Web-сервері, яке виконує функцію аналітичної обробки результатів контролю показників енергоменеджменту будівель.

Отже, запропонована архітектура в загальному і деталізованому вигляді та послідовність виконання функціонування телекомунікаційної інфраструктури для контролю енергоменеджменту будівель, що проектується наведені на рисунках 2.2 – 2.4.

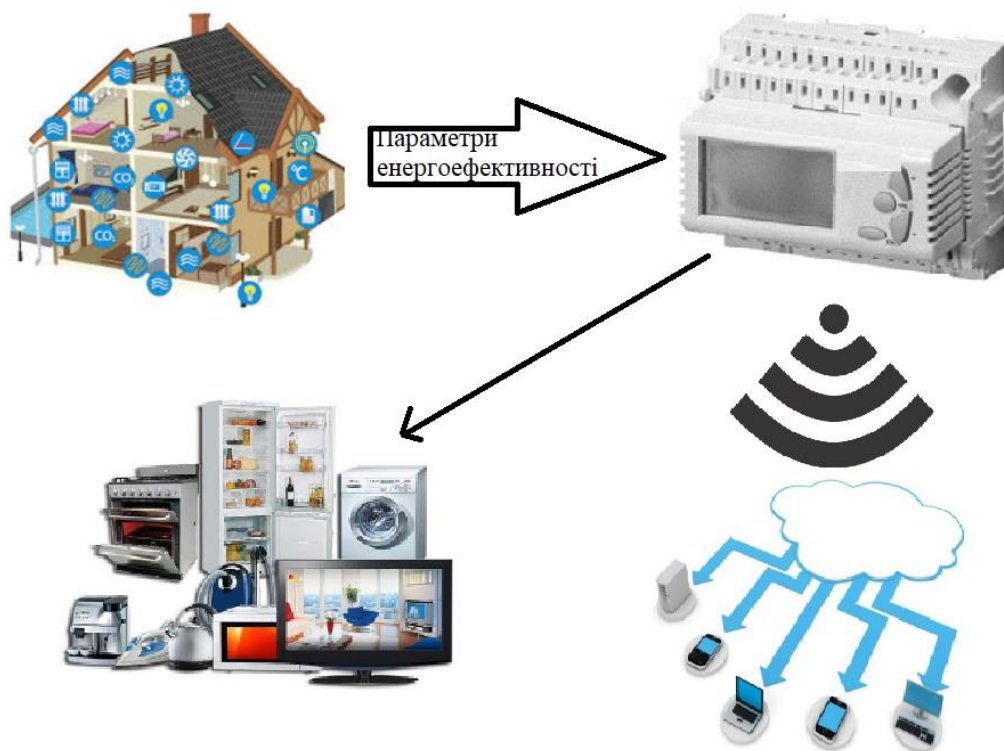


Рисунок 2.2 – Загальна архітектура телекомунікаційної інфраструктури задля контролю енергоменеджменту будівель, яка проектується

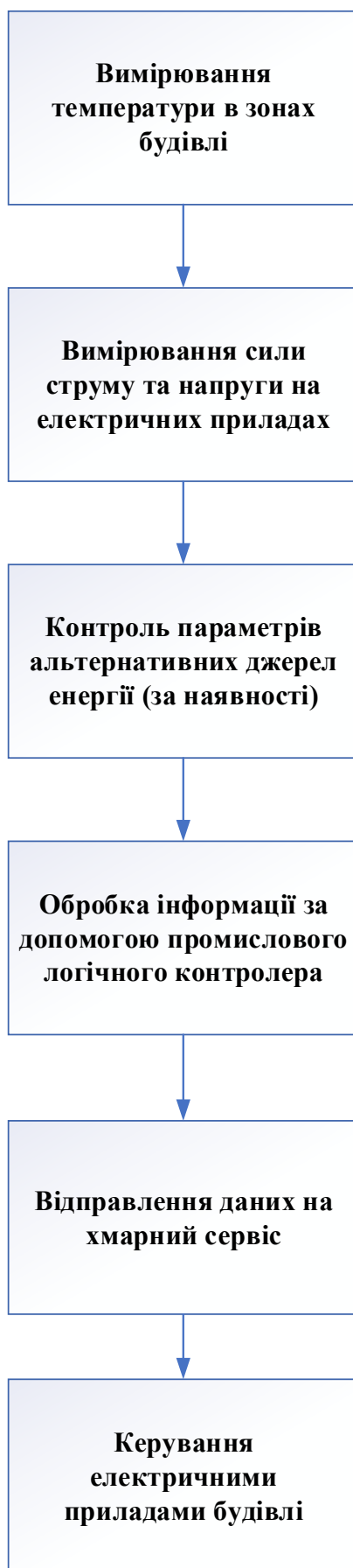


Рисунок 2.3 – Загальний алгоритм роботи телекомунікаційної мережної інфраструктури контролю енергоменеджменту будівель, яка проектується

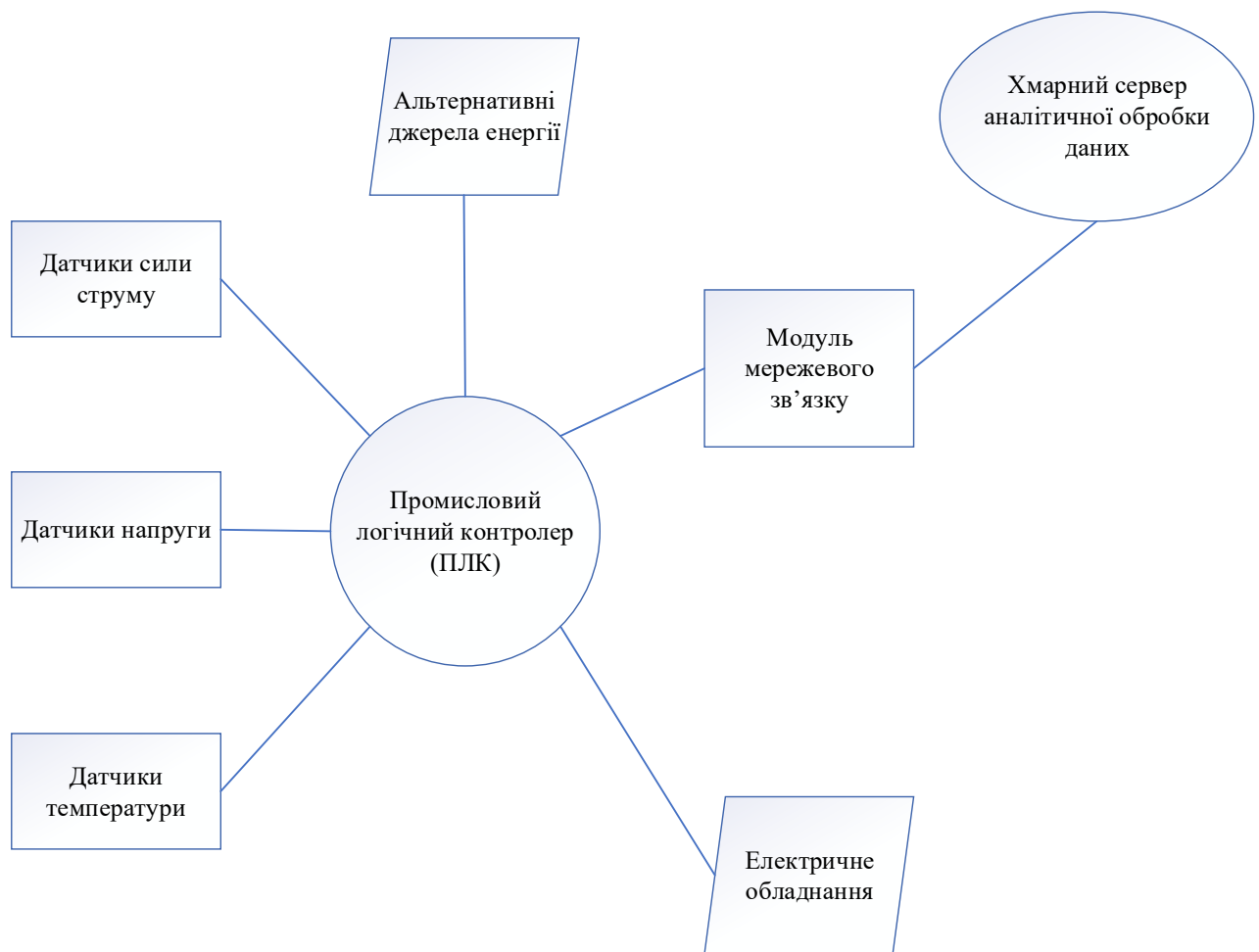


Рисунок 2.4 – Детальна архітектура телекомунікаційної інфраструктури задля контролю енергоменеджменту розумних будівель, яка проектується

На підставі аналізу результатів проектування архітектури і створення алгоритму роботи телекомунікаційної системи, що виконує безперервний контроль параметрів енергоменеджменту в будівлях з урахуванням концепції Інтернету речей було встановлено те, що наступним етапом розробки є вибір та опис принципу дії її функціональних елементів, блоків і модулів, до яких відносяться: промисловий логічний контролер, датчики температури, сили струму та напруги, пристрій для мережевого обміну інформацією, а також хмарний Web-сервіс для аналітичної обробки даних.

Таким чином, отримані в даному розділі результати, дозволяють обґрунтувати напрямки подальшої розробки бакалаврської роботи, що дозволить удосконалити існуючі підходи до створення телекомунікаційних

мереж, які є структурними елементами загальної інфраструктури розумних будинків. За основу мають бути взяті стандартні датчики та промисловий контролер, які можуть легко поєднуватись в одну мережу.

2.2 Вибір моделі промислового логічного контролера

На сьогодні при створенні розумних будинків та інших проектів з урахуванням концепцій Industry 4.0 та Інтернет речей може використовуватись велика кількість простих дешевих мікроконтролерів як, наприклад, Arduino, AVR або мікрокомп'ютерів Raspberry Pi, або значно потужніші моделі промислових логічних контролерів фірм Siemens, Phoenix Contact та багато інших. В основному при виборі засобу обробки даних та керування периферійними пристроями розробники керуються такими критеріями, як: ціна, масштаби проекту, надійність, точність та загальна якість роботи мережі телекомунікаційних і електричних пристроїв.

В даній роботі в якості моделі промислового логічного контролера обрано ПЛК вітчизняного виробництва, який створено фірмою I3 Engineering, модель Atom Ferrum типу R12 [10]. Зовнішній вигляд даної моделі промислового логічного контролера наведений на рисунку 2.5, а також на рисунку 2.6 наведена схема підключення датчиків та зовнішніх портативних модулів і пристроїв до цього типу ПЛК.

Дану модель промислового логічного контролера вибрано в основному на підставі того, що він був спеціально розроблений для систем розумних будинків і містить всі необхідні входи і входи та програмні інтерфейси (в задовільній кількості) для підключення значної кількості датчиків, модулів та інших периферійних пристроїв, а також в ньому є спеціальні виходи для підключення силового електричного навантаження.

Отже, з урахуванням вищезазначеного саме ця модель ПЛК була запропонована для використання в цій бакалаврській роботі при розробці відповідної телекомунікаційної інфраструктури.

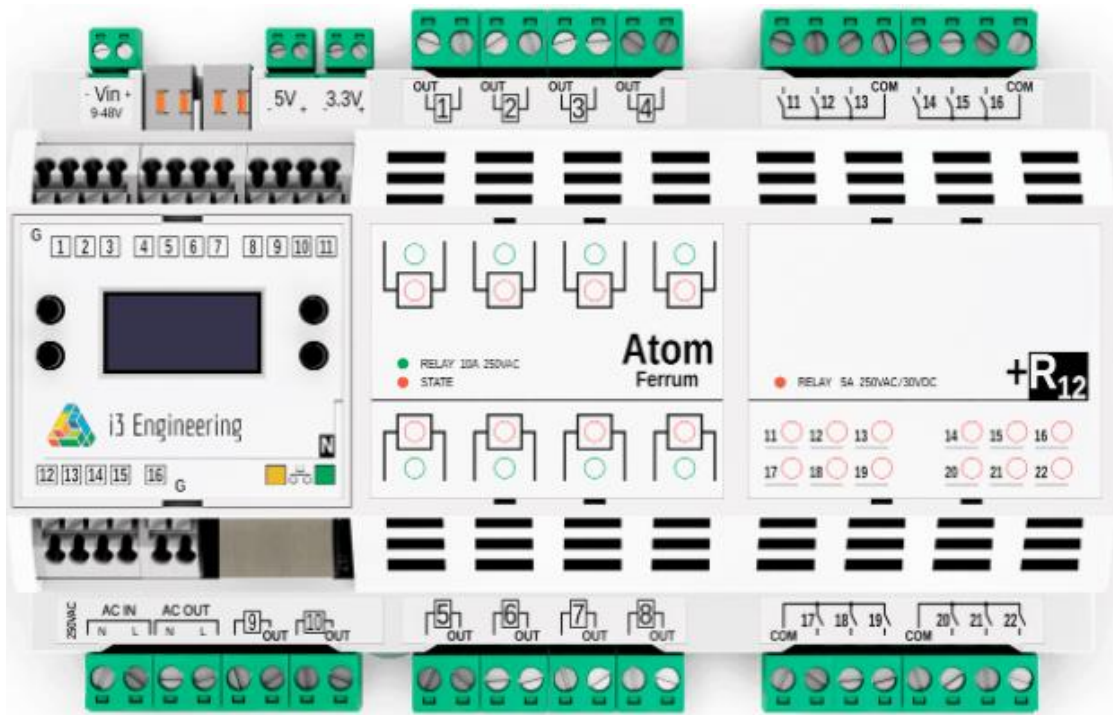


Рисунок 2.5 – Зовнішній вигляд ПЛК Atom Ferrum типу R12 [10]

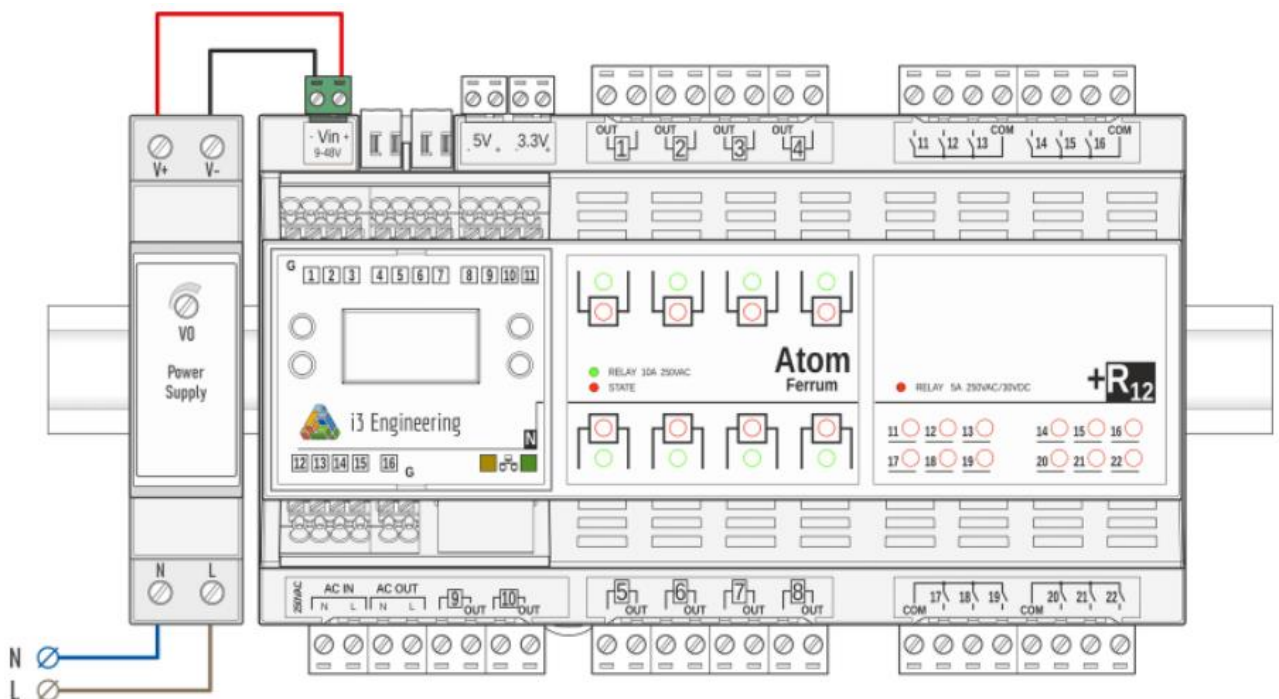


Рисунок 2.6 – Схема конфігурації ПЛК Atom Ferrum типу R12 [10]

До головних технічних параметрів і функціональних показників даної моделі Atom Ferrum типу R12 промислового логічного контролера можна віднести наступні [10]:

- номінальна напруга живлення від 9 до 46 В DC за допомогою автоматичного вимикача, який поставляється в комплекті з ПЛК та підключається до мережі 220 В AC;
- наявна вбудована CAN-шина, що призначена для забезпечення синхронізованого функціонування всіх пристроїв телекомунікаційної мережі в електричній інфраструктурі розумного будинку;
- наявний стандартний інтерфейс RS-485, що призначений для підключення зовнішніх засобів до телекомунікаційних мереж розумних будинків;
- кількість виходів для підключення датчиків дорівнює 22;
- наявний вбудований сучасний OLED дисплей для зручності візуалізації налаштувань;
- наявна значна кількість виходів 3,3 і 5 В для живлення груп датчиків телекомунікаційної системи;
- вбудований Ethernet порт для можливості підключення ПЛК до локальної мережі розумного будинку;
- ПЛК облаштований кнопками для зручного вибору та налаштувань режимів роботи контролера;
- наявні виходи силових реле 8 штук з номіналом струму 10 А і 14 штук з номіналом струму 5 А для комутації електричного обладнання та інших пристроїв;
- вбудований енергометр, який за допомогою зовнішніх датчиків виконує точні вимірювання сили струму, потужності споживання та напруги в мережі;
- наявна світлодіодна панель індикації для відстеження режимів роботи ПЛК;
- дана модель промислового логічного контролера монтується на стандартну DIN рейку;
- підтримується можливість нарощування потужності системи за допомогою поєднання декількох ПЛК в мережу за допомогою

стандартних виходів i3-NET, що робить їх досить масштабованими;

- типи датчиків, які можуть підключатись до ПЛК: аналогові, цифрові та 1-Wire.

Даний ПЛК також додатково характеризується оптимальним показником співвідношення якості до ціни та є досить зручним при монтажу і технічному обслуговуванні, як це показано на рисунку 2.7 для входів ПЛК і на рисунку 2.8 – для виходів ПЛК.

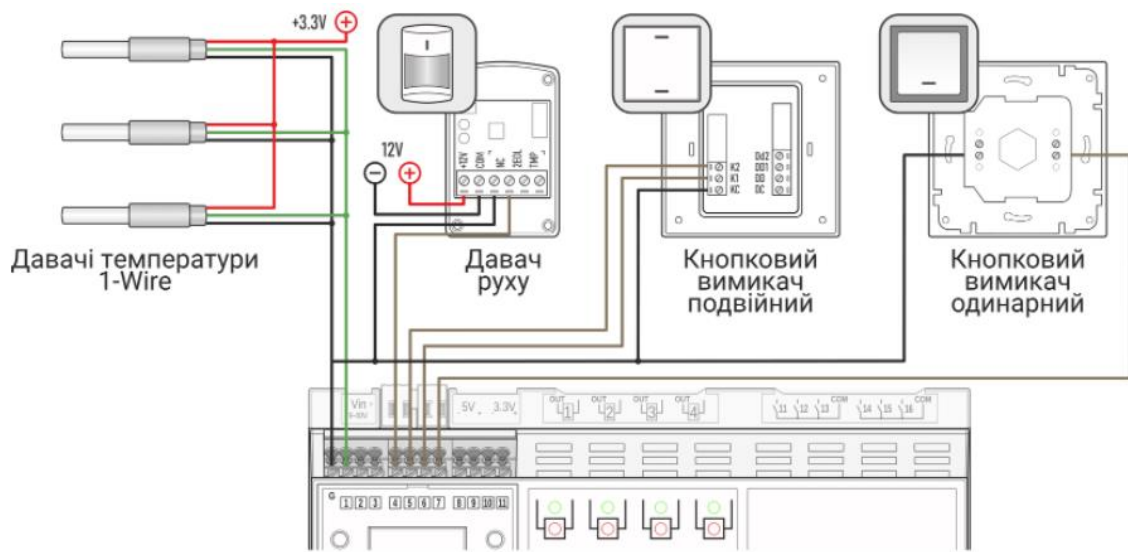


Рисунок 2.7 – Приклад схеми підключення груп датчиків до входів ПЛК [10]

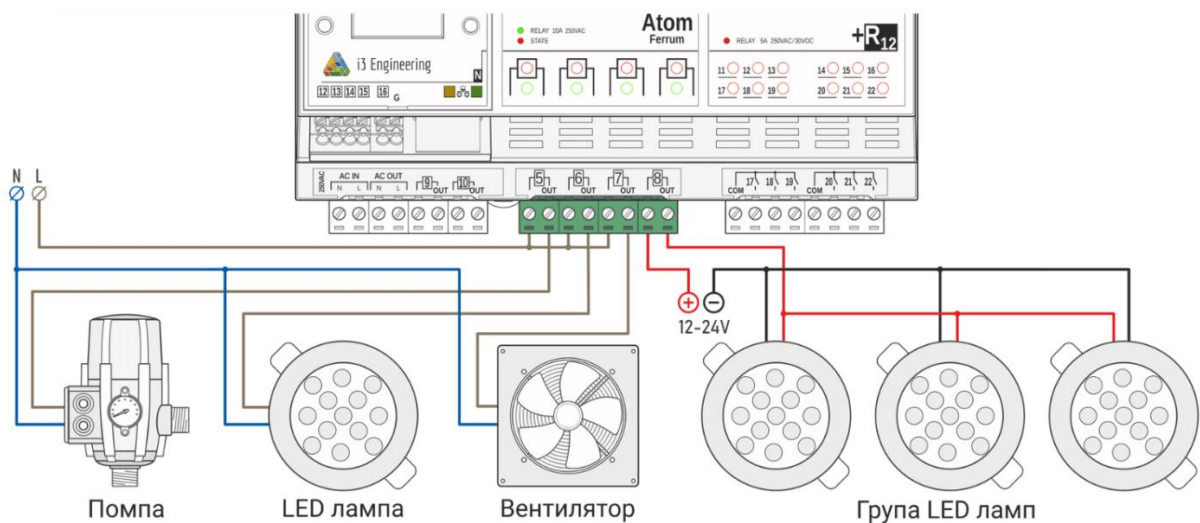


Рисунок 2.8 – Приклад схеми підключення електричних пристроїв до виходів ПЛК [10]

Отже, з урахуванням вищеописаних характеристик обраної моделі промислового логічного контролера Atom Ferrum від виробника I3 Engineering в конфігурації R12, встановлено, що дана модель повністю підходить для проектування телекомунікаційної інфраструктури із можливістю віддаленого контролю параметрів енергоменеджменту розумних будинків на базі концепції Інтернету речей.

Таким чином, основні функціональні і технічні параметри даного ПЛК будуть використані в роботі при розробці та тестуванні відповідної моделі телекомунікаційної системи.

2.3 Вибір датчиків

Значна кількість технологій автоматичного керування електричним обладнанням приміщень працює на принципі вмикання і вимикання приладів. В тому випадку, який стосується приладів обігріву і кондиціонування, які відповідають за температуру в будівлі і є одними з основних споживачів електричної енергії, то більшість засобів працюють в режимі термо-реле або термостатування. Для цього користувач повинен встановити граничне значення температури: для систем обігріву – якщо поточна температура в приміщенні опускається нижче за встановлену межу, то вмикаються відповідні нагрівальні прилади (конвектори, тепла підлога та інші електричні обігрівачі), для систем охолодження (кондиціонування) – принцип дії аналогічний, якщо поточна температура стає вищою за встановлену межу, то вмикаються відповідні побутові пристрої, що мають забезпечувати охолодження повітря.

Отже, основний принцип дії більшості систем автоматичного управління обігрівом приміщень полягає в вмиканні або вимиканні електричних побутових приладів за результатами безперервного або періодичного контролю температури та порівняння її з встановленою нормою. Цей принцип зображений на рисунку 2.9 нижче. Він ілюструє принцип дії відповідних

систем керування теплом та потребує відповідного вдосконалення.

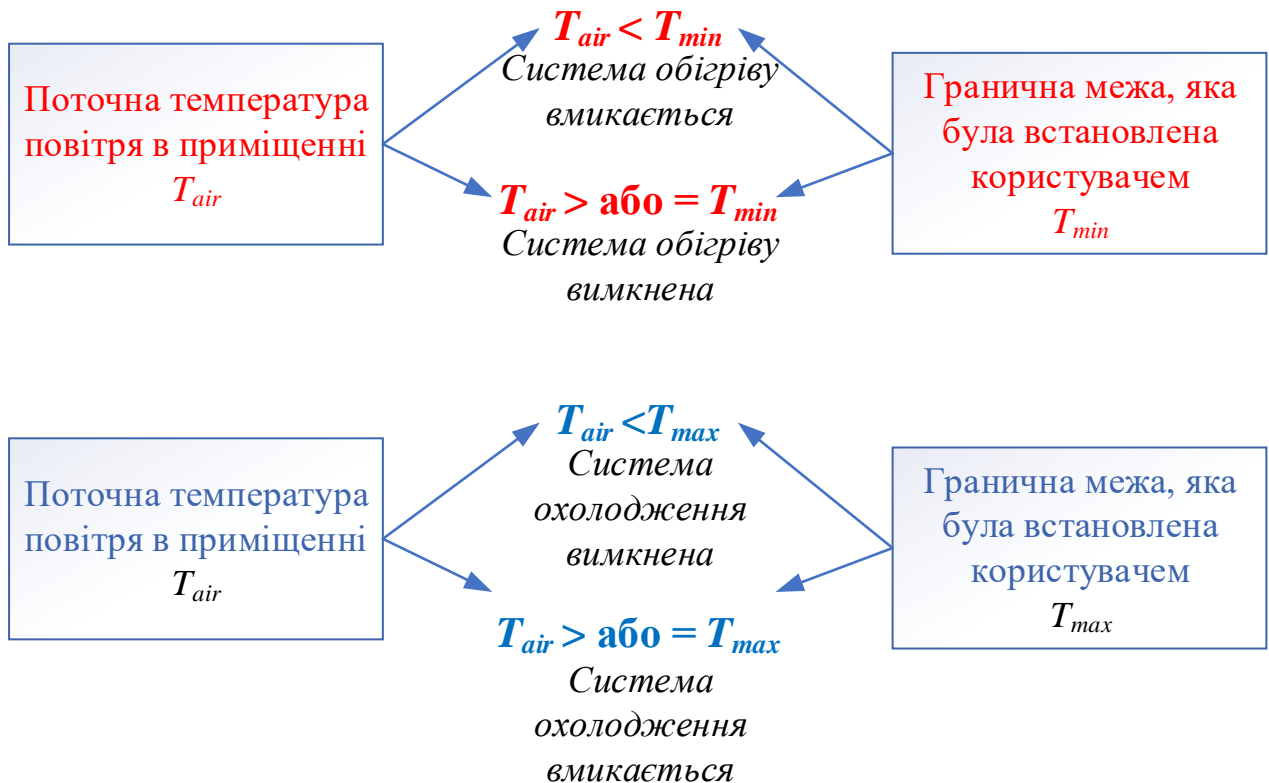


Рисунок 2.9 – Типовий принцип дії систем автоматичного управління температурою приміщень

Вищеописаний підхід автоматичного управління температурою зазнав широкого використання в даний момент у промисловій та побутовій автоматизації. Але є деякі причини, що негативно впливають на енергоефективність даного підходу. Головною такою причиною є те, що температура – це така фізична величина, що характеризує поточний стан повітря в конкретній точці приміщенні. Так як приміщення має певний об’єм і в ньому розміщені різні предмети, то може спостерігатись нерівномірність температур в одному і тому ж приміщенні.

В даній бакалаврській роботі пропонується наступне для зменшення цього негативного ефекту [11, 12]:

1. Включення до складу телекомунікаційної інфраструктури для контролю параметрів енергоменеджменту будівель промислового логічного

контролера дозволяє за допомогою програми, яка до нього завантажена, реалізувати більш складні і ефективні алгоритми в порівнянні зі звичайним двохпозиційним «ВКЛ.» / «ВИКЛ.». Даний прийом дозволить більш плавно регулювати температуру, а отже, можна оптимізувати кількість перехідних процесів при вмиканні і вимиканні електричного побутового обладнання на обігрів або охолодження приміщення.

2. Також до переваг логічного контролерного регулювання температури є можливість зонального і безпроводного контролю температури в багатьох місцях приміщення. Даний підхід дозволить більш ефективно використовувати відповідні обігрівальні або охолоджуючі прилади. Також це дозволить виявляти місця в приміщенні, де відбуваються найбільші втрати тепла, а це в свою чергу, дозволить підвищити загальну теплову і відповідно енергетичну ефективність будівель.

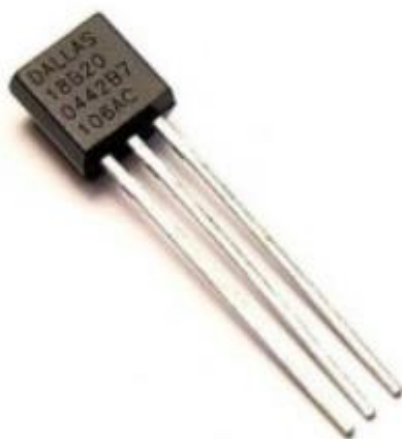
3. Телекомунікаційна мережна інфраструктура, до якої входить ПЛК дозволяє виконувати віддалені спостереження за динамікою температури та режимами вмикання і вимикання електричних приладів. Отже, є можливість оперативно аналізувати інформацію і робити відповідні дії. Даний факт значно підвищує її ефективність.

В теперішній час дуже вдало при створенні і впровадженні телекомунікаційних систем мережного WSN-контролю, до складу яких входять логічні контролери, в якості датчиків температури зарекомендували себе напівпровідникові сенсори DS18B20. Даний факт обумовлений тим, що конструктивно і програмно дані датчики є сумісними з більшістю серійних дешевих мікроконтролерів і мікропроцесорів та дорогих промислових логічних контролерів.

Дана модель датчиків характеризується наступними перевагами [13]:

- значний діапазон контрольованих температур: $-10^{\circ}\text{C} \dots +85^{\circ}\text{C}$;
- мала похибка вимірювань: граничне значення в вищевказаному діапазоні становить $0,5^{\circ}\text{C}$;
- незначна вартість: до 50 грн.;

- високий показник надійності (мала вірогідність відмови);
- використовує стандартний інтерфейс 1-Wire, що дає можливість підключати до 127 датчиків до одного входу ПЛК;
- дані датчики виготовляються в декількох матеріалах корпусів, це дає можливість контролювати температуру в повітрі та агресивних середовищах (вода в радіаторах систем опалення та / або повітря на вулиці). Варіанти корпусів датчиків DS18B20 наведені на рисунку 2.10 нижче.



Звичайний корпус



Вологозахисний корпус

Рисунок 2.10 – Стандартні варіанти корпусів датчиків DS18B20

Отже, головною перевагою даних датчиків DS18B20 є використання інтерфейсу 1-Wire – це протокол передачі цифрових даних в двох напрямках за допомогою лише одного сигнального дрота та двох або одного дротів живлення [14], як це показано на рисунку 2.11.

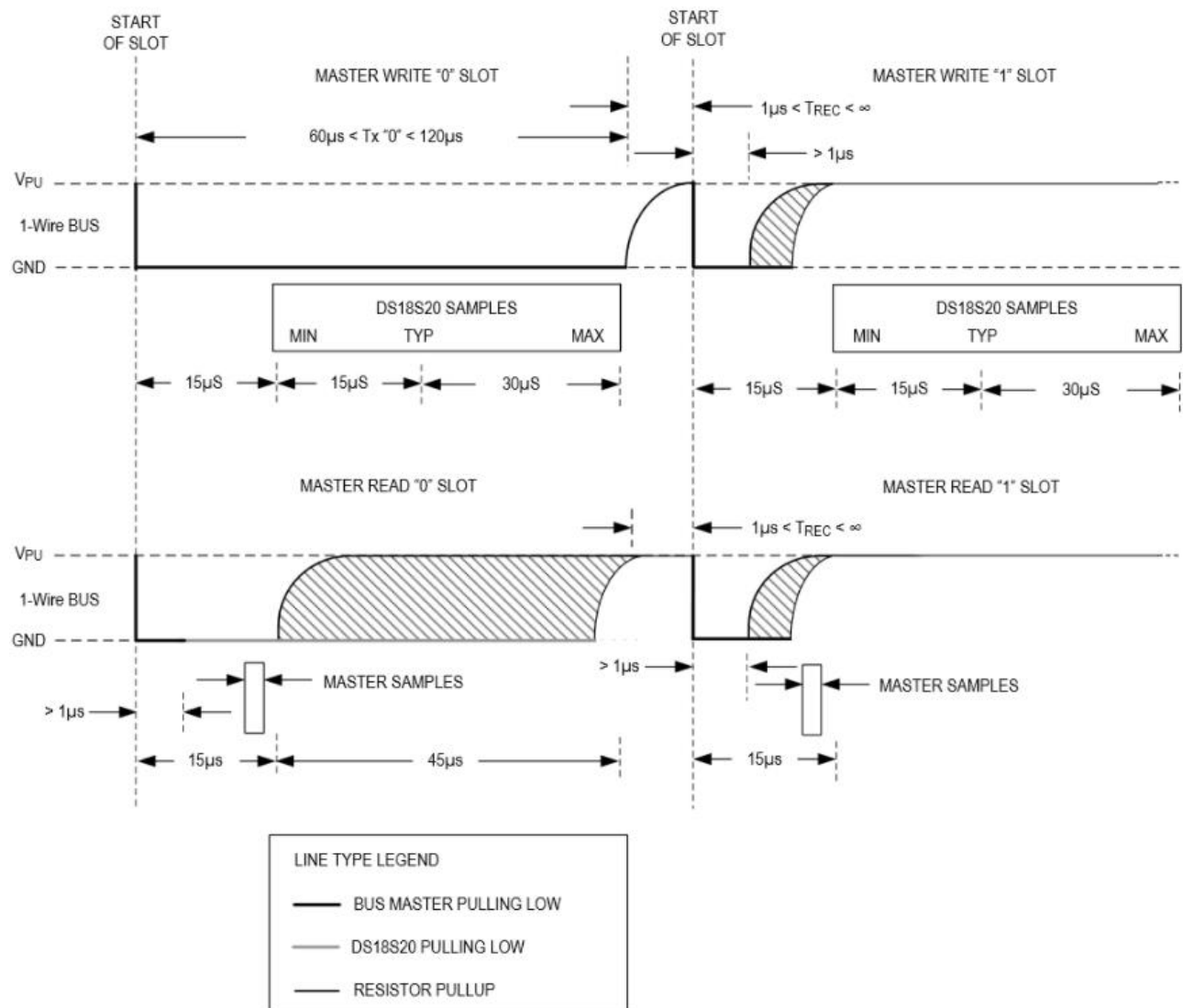


Рисунок 2.11 – Часова діаграма принципу дії технології 1-Wire [14]

Структурні схеми можливих варіантів підключення датчиків через інтерфейс 1-Wire приведені на рисунку 2.12.

В вищенаведеній схемі на рисунку 2.12 в телекомунікаційній мережній системі контролю для розумних будинків в ролі пристрою, який діє в режимі Master, виступає ПЛК, а в ролі пристроїв, що діють в режимі Slave – датчики

температури DS18b20.

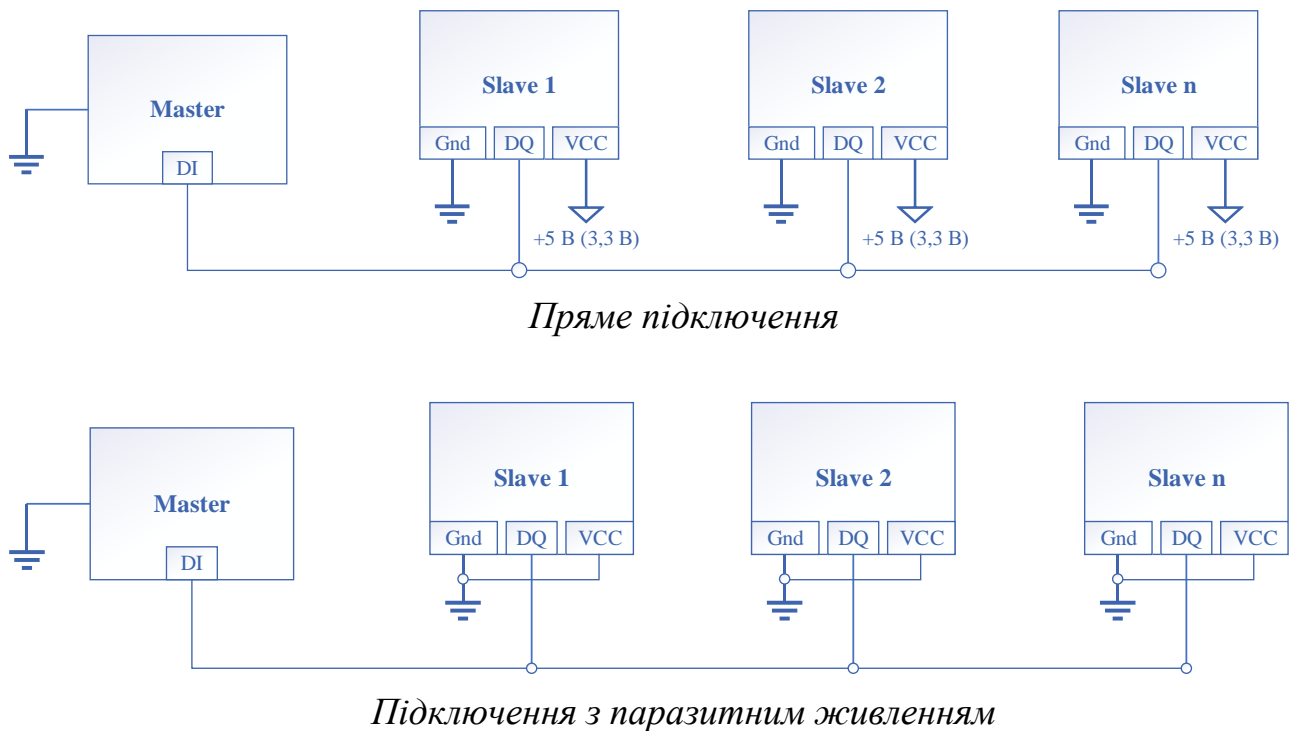


Рисунок 2.12 – Структурна схема варіантів DS18b20 підключення при використанні інтерфейсу 1-Wire

На рисунку 2.12 позначено:

DI – цифровий вхід пристрою, який діє в режимі Master;

DQ – сигнальний вивід пристрою, який діє в режимі Slave;

Gnd – загальний дріт (земля);

VCC – «+» напруги живлення пристрою, який діє в режимі Slave.

За існуючими рекомендаціями експертів більш оптимальним є варіант підключення є пряме підключення тому, що він має кращі показники параметрів щодо імовірності появи хибних значень температури і завадостійкості до наведень силовим обладнанням.

До головного недоліку датчиків DS18b20 і всієї технології 1-Wire відноситься невелика швидкість передачі інформації – 15,4 Кбіт/с (граничне показання). Проте для систем контролю енергоефективності цей показник не є вирішальним, а отже, дана модель датчиків температури може бути

використана в складі телекомунікаційної інфраструктури для віддаленого контролю показників енергоменеджменту будинків на базі концепції Інтернету речей.

Ще двома параметрами, які розглядаються в даній бакалаврській роботі, та від яких сильно залежать показники енергетичної ефективності приміщень є сила струму та напруга на електричних побутових приладах, які визначають споживану електричну потужність. Таким чином, вони обов'язково повинні безперервно контролюватись за допомогою спроектованої телекомунікаційної системи.

Як вищезазначено, то в якості пристрою збору даних виступає ПЛК моделі Atom Ferrum типу R12, який має фізичну можливість підключення широкого спектру аналогових і цифрових датчиків. Отже, головною вимогою до вибраних в роботі датчиків є цінова категорія, широкий динамічний діапазон вимірювань напруги і сили струму, надійність, доступність на ринку та компактність.

З урахуванням цього було вибрано інтегральну збірку модуля датчика струму / напруги GY-471 [15]. Головною перевагою даного датчика є компактність та об'єднання двох сенсорів в одному модулі. Зовнішній вигляд датчика приведений на рисунку 2.13.

Основні характеристики модуля датчика струму / напруги GY-471 є наступними [15]:

- варіанти напруги живлення: 3,3 В або 5 В в режимі DC;
- робочий діапазон контрольованої напруги: 0 ... 36 В DC;
- робочий діапазон контрольованої сили струму: 0 ... 3 А DC;
- гранична точність за параметром напруги: 2 %;
- гранична точність за параметром сили струму: 3 %;
- максимальний струм, що споживається мікросхемою: 150 мкА;
- розміри плати модуля: 23 x 22 x 7 мм;
- рекомендований діапазон температур при роботі модуля: -40 ... +85 °C.

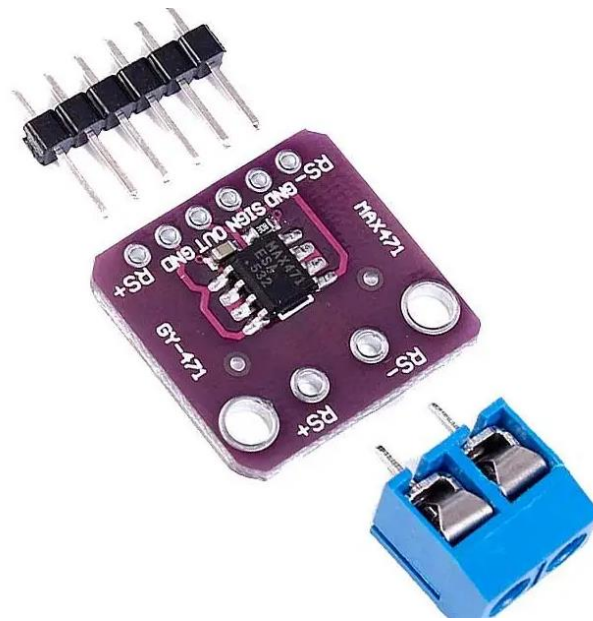


Рисунок 2.13 – Датчик струму / напруги GY-471 [15]

Таким чином, дана модель датчика «струм / напруга» відповідає всім вимогам до роботи в складі спроектованої телекомунікаційної інфраструктури, окрім робочого діапазону контрольованої напруги. Адже практично всі побутові електричні прилади живляться від мережі 220 В АС. Таким чином, необхідно до складу системи ввести понижуючий перетворювач напруги типу AC-DC в мініатюрному виконанні моделі Mini AC / DC 220 V – 36 V, який показаний на рисунку 2.14.

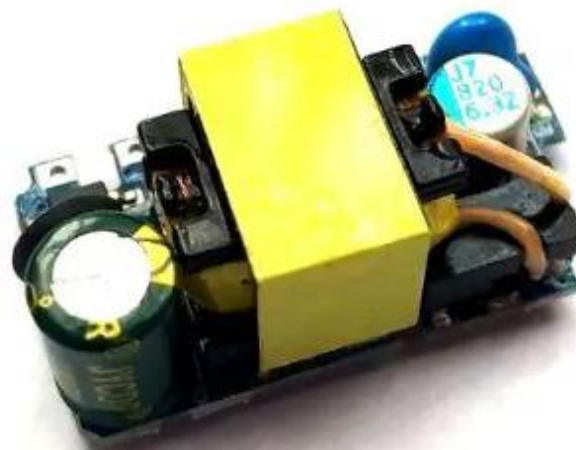


Рисунок 2.14 – Модуль перетворювача напруги Mini AC / DC 220 V – 36 V

Наведені в даному пункті датчики та додаткові модулі перетворення за своїми характеристиками дозволяють зробити висновок, що вони придатні для проектування телекомунікаційної інфраструктури, що реалізує віддалений контроль показників енергоменеджменту будинків на основі Інтернету речей.

2.4 Вибір бездротової технології передачі даних вимірювань

З тієї причини, що більшість датчиків телекомунікаційної системи у складі електричної інфраструктури для енергоменеджменту побутового і промислового призначення є розподіленими за всією площею приміщення, а також можуть знаходитися поза приміщенням на вулиці, то необхідно створити між ними та промисловим контролером мережний зв'язок, в якому буде виконуватись надійний і стабільний безпроводний обмін даними.

В теперішній час відомі багато мікроконтролерних модулів і технологій безпроводного мережного зв'язку, які широко використовуються в технічній інфраструктурі розумних будинків: Wi-Fi, ZigBee, LoRa WAN та інші.

В даній роботі пропонується до використання стандартна широкосмугова технологія LoRa WAN, яка в порівнянні з іншими характеризується оптимальними показниками споживання енергії, мережевої безпеки та швидкості передачі даних. Тобто, в загальному вигляді схема використання засобів LoRa виглядає як показано на рисунку 2.15.

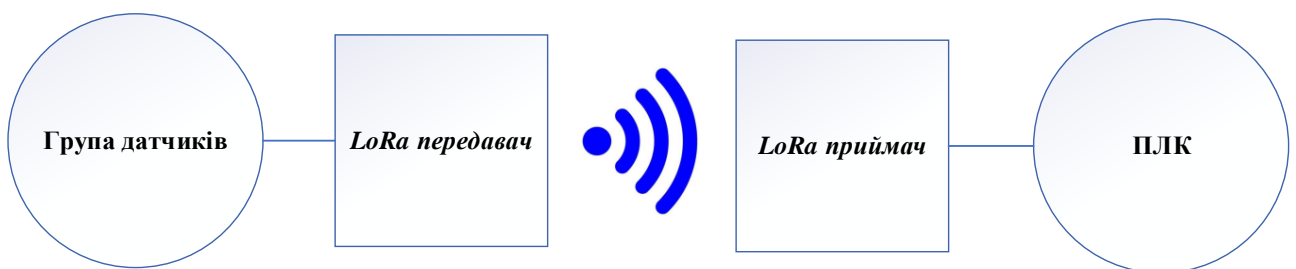


Рисунок 2.15 – Структурне зображення використання технології LoRa в спроектованій телекомунікаційній системі

В якості LoRa модема може бути використаний бюджетний пристрій типу бездротового LoRa WAN контролера моделі LoRa IoT LT-3322, який показаний на рисунку 2.16.



Рисунок 2.16 – Зовнішній вигляд LoRa WAN контролера моделі LoRa IoT LT-3322

Технологія LoRa WAN використовує власний спосіб модуляції сигналів. Алгоритм, що покладений в основу використовуваного методу модуляції LoRa WAN заснований на розширенні спектру сигналу і лінійній варіації частотної модуляції. В даному випадку дані кодуються широкосмуговими імпульсними послідовностями, як в графічному вигляді показано нижче на рисунку 2.17 [16].

Даний підхід в порівнянні з використовуваними технологіями прямого спектрального розширення сигналів робить приймач більш стійким до відхилень частоти від номінальної. Також даний спосіб модуляції значно спрощує вимоги до складності схемотехніки генератора тактових сигналів, що дозволяє використовувати в складі LoRa-модемів недорогі кварцові резонатори.

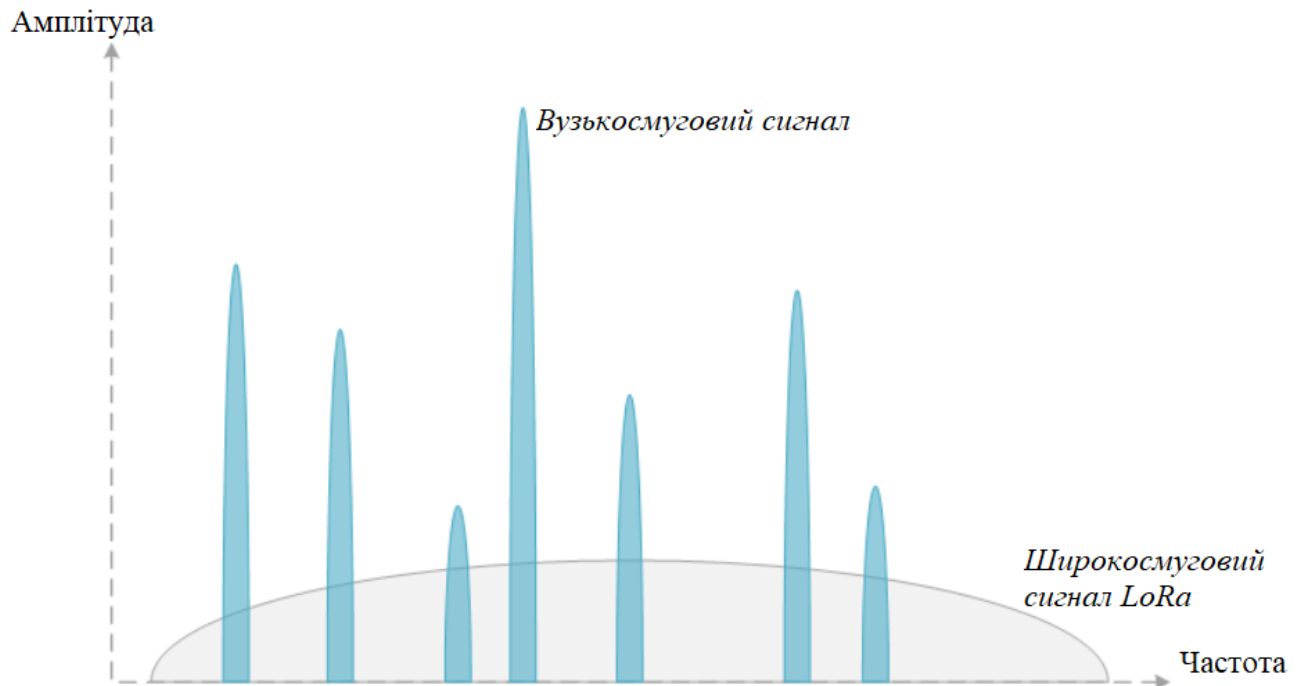


Рисунок 2.17 – Графічне зображення вид способу модуляції сигналів в технології LoRa WAN [16]

Таким чином, описані характеристики LoRa WAN доводять, що дана технологія може бути використана для вдосконалення телекомунікаційної інфраструктури контролю показників енергоменджменту.

2.5 Опис хмарного Web-серверу для аналітичної обробки даних

Останнім етапом передавання і обробки інформації є використання хмарних обчислювальних Web-серверів. Даний Web-сервер у випадку проєктованої телекомунікаційної інфраструктури виконує три основні функції:

- аналітична обробка даних про енергетичну ефективність будівель та формування прогнозованої інформації;
- надання доступу до даних про показники енергоменеджменту на мобільних пристроях з будь-якого місця;
- резервне архівування та зберігання даних.

Тобто, в загальному вигляді структурна схема використання хмарного

Web-сервісу в складі спроектованої телекомунікаційної мережної інфраструктури виглядає як показано нижче на рисунку 2.18.



Рисунок 2.18 – Структурне зображення засад із використання хмарного Web-сервера в спроектованій телекомунікаційній інфраструктурі

В даній роботі запропоновано використовувати програмні хмарні Web-продукти від Amazon [17]:

- для аналітичних обчислень і прогнозування: Amazon EC2 – обчислювальна платформа з понад ніж 500 різновидами найбільш потужних сучасних процесорів;
- для надійного архівування та графічного відображення даних: Amazon Aurora – реляційний різновид керованої бази даних з високими показниками продуктивності.

Варто додатково зазначити, що хмарний Web-сервіс Amazon обраний через програмну підтримку більшості серійних моделей промислових логічних контролерів. Використання даного хмарного Web-сервісу в складі спроектованої телекомунікаційної інфраструктури задля виконання безперервного контролю параметрів енергоменеджменту будівель значно підвищить її ефективність.

Висновки до розділу 2

1. Було розроблено архітектуру телекомунікаційної мережі задля контролю параметрів енергоменеджменту в технічній інфраструктурі розумних будинків, яка враховує основні принципи і теоретичні аспекти концепції Інтернету речей.

2. Вибрано вид промислового логічного контролера I3 Engineering, модель Atom Ferrum типу R12 для збору даних від сукупностей згрупованих датчиків телекомунікаційної системи.

3. Зроблено вибір датчиків температури приміщень, сили струму та напруги на електричних побутових приладах розумних будинків, які створюють і передають дані про показники енергоефективності будівель.

4. Вибрано та описано безпроводну технологію LoRa WAN для підключення згрупованих датчиків і обміну даними в локальній телекомунікаційній мережі розумних будинків.

5. Запропоновано використовувати хмарний Web-сервіс Amazon для архівування, аналітичної обробки та віддаленого відображення даних про результати безперервного контролю параметрів енергоменеджменту будівель, що підвищує ефективність телекомунікаційної інфраструктури, яка проектується в даній бакалаврській роботі.

3 МОДЕЛЬ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ ВІДДАЛЕНОГО ДЛЯ КОНТРОЛЮ ПАРАМЕТРІВ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ РОЗУМНИХ БУДИНКІВ

3.1 Модель зонального контролю показників енергоменеджменту будинків

Зональний мережний телекомунікаційний контроль температури приміщень і сили струму та напруги на побутових приладах з використанням промислового логічного контролера ІЗ Engineering моделі Atom Ferrum типу R12 та безпроводних сенсорних мереж на основі LoRa WAN дозволяє відстежувати інформацію безперервно з різних місць. Даний факт є обов'язковим при використанні технології Інтернету речей в інфраструктурних об'єктах розумних будинках.

Що стосується датчиків температури DS18B20, як вищезазначалось, то вони підключаються в WSN-мережу за технологією 1-Wire і топологією зірка. При такому підході виходи +3,3 В, загальний Gnd і один цифровий інформаційний вхід DI організують шину, до якої підключаються датчики DS18B20 (до 127 штук). Даний принцип показаний на рисунку 3.1.

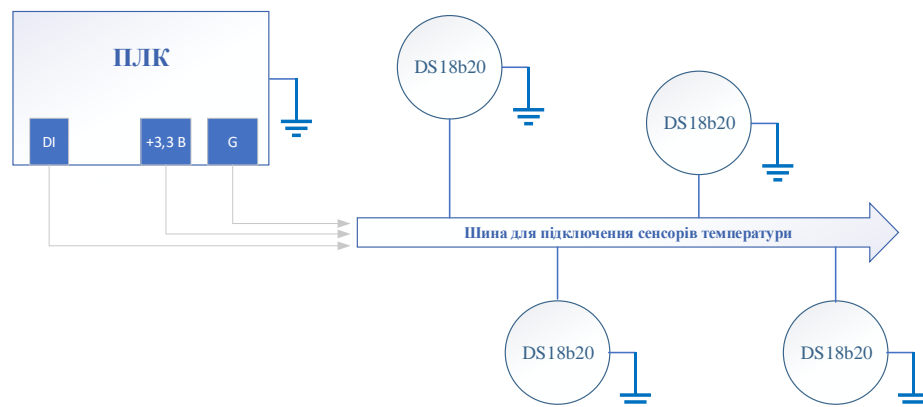


Рисунок 3.1 – Структурна схема зонального телекомунікаційного контролю температури, топологія зірка

З урахуванням рекомендацій експертів, які активно використовують датчики DS18B20, необхідно врахувати, що [13, 14]:

- максимальне відведення дротів датчиків від загальної шини мережі дорівнює 3 м;
- є потреба в додаткових резисторах для підключення датчиків до ПЛК:
1 датчик – $R_1=10$ кОм; 2 ... 10 датчиків – $R_1=4,7$ кОм; 10 і більше датчиків – $R_1=1,5$ кОм та додаткові резистори $R_2=100$ Ом. Резистор R_1 розміщується між сигнальним дротом і «+» живленням, резистори R_2 – між сигнальним дротом і інформаційним виводом кожного датчика.
- при монтажі датчиків не рекомендується використовувати екранований дріт;
- відстань від датчиків до силових кабелів має бути не менше ніж від 2 м до 2,5 м.

Як вище зазначалось, то ПЛК I3 Engineering моделі Atom Ferrum типу R12 дозволяють підключати до них різні моделі і групи датчиків, в тому числі аналогові і цифрові датчики сили струму і напруги на побутових електричних приладах. Також до них можуть бути підключені бездротові модулі LoRa WAN для обміну даними в локальній мережі приміщень. Таким чином, розроблена модель зонального телекомунікаційної інфраструктури для моніторингу параметрів енергоменеджменту в розумних будинках наведена на рисунку 3.2.

Мережева архітектура технології LoRa WAN функціонує в топології «зірка» – «зірка». В даній топології всі шлюзи виконують декілька разів ретрансляцію даних і повідомлень між кінцевими пристроями та головним сервером телекомунікаційної мережі. Шлюзи мережевою інфраструктури під'єднуються до сервера за допомогою стандартних IP-з'єднання та працюють в режимі прозорих мостів. Тобто вони виконують функцію перетворювачів RF-пакетів на IP-пакети і в зворотному напрямку.

Модель мережевої архітектури телекомунікаційної інфраструктури для виконання енергоменеджменту в розумних будинках, яка спроектована в даній роботі, приведена на рисунку 3.3.

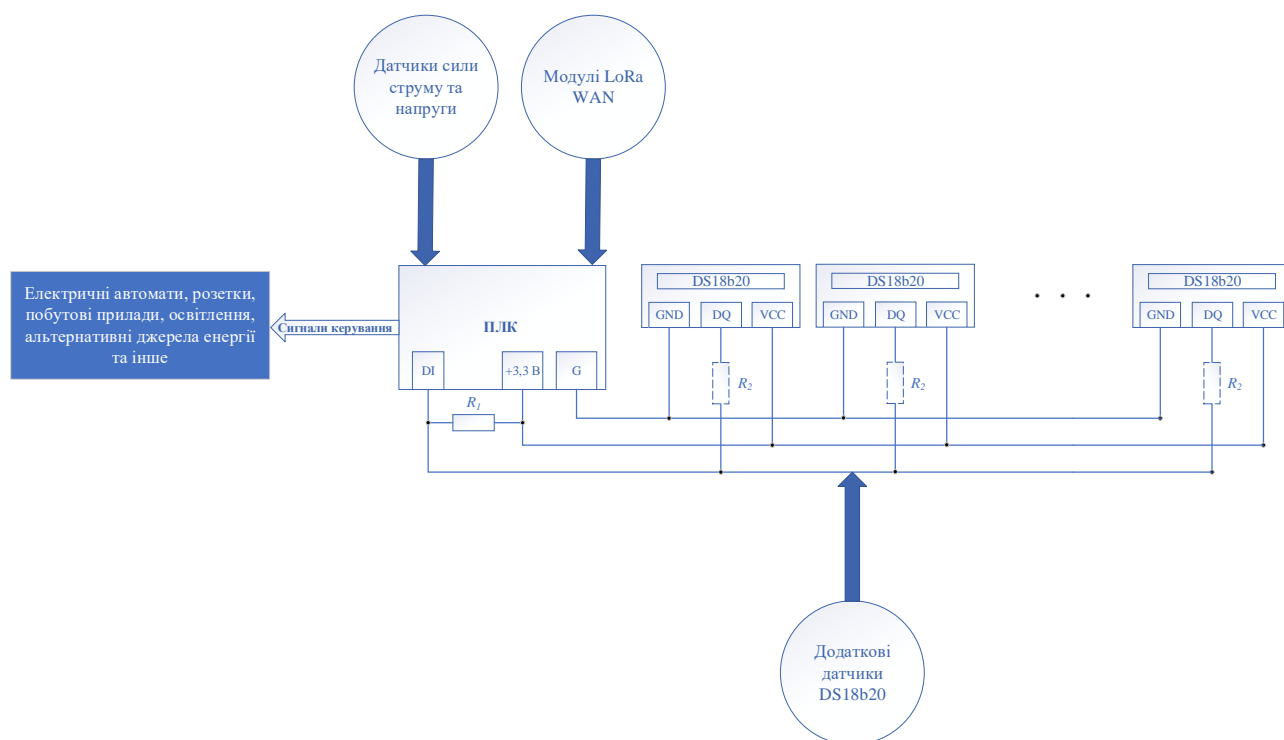


Рисунок 3.2 – Модель зонального телекомунікаційного контролю параметрів енергоменеджменту для розумних будинків

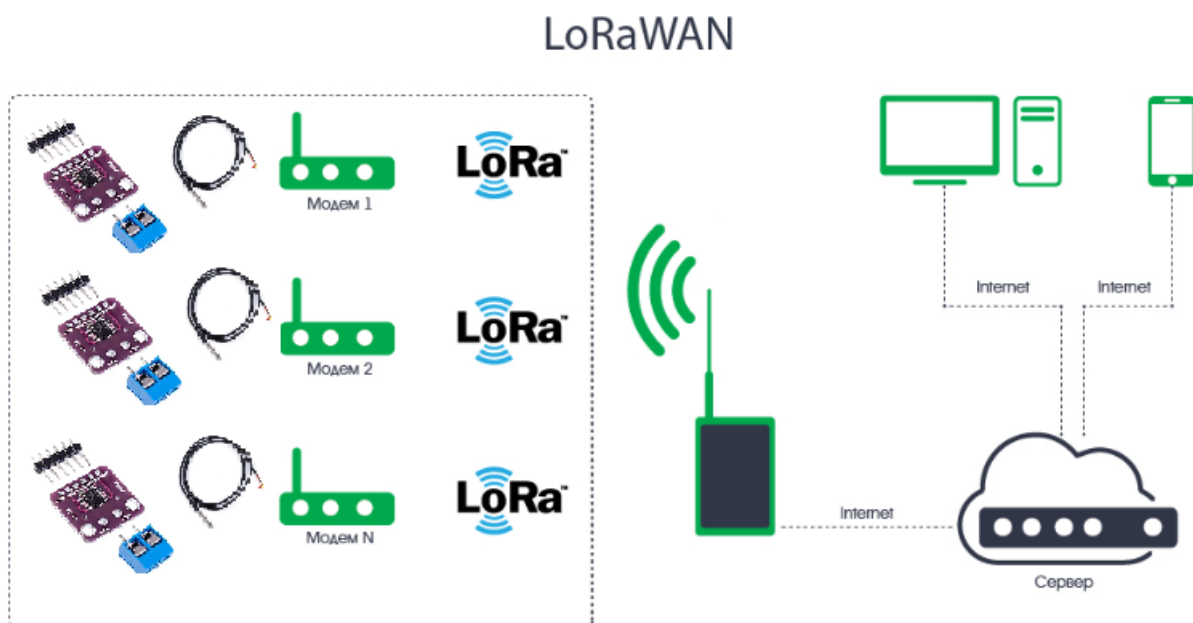


Рисунок 3.3 – Модель мережевої архітектури телекомунікаційної інфраструктури для енергоменджменту розумних будинків

Таким чином, вищезазначені пристрої і підходи до розробки дозволили створити модель зонального телекомунікаційного контролю показників

енергоменеджменту будинків, яка може використовуватись в технічній інфраструктурі розумних будинків та інших технологіях Інтернету речей.

3.2 Модель телекомунікаційної системи контролю параметрів енергоменеджменту

Моделювання спроектованої телекомунікаційної системи виконано в онлайн програмі для тестування мереж Інтернету речей, яке називається CupCarbon IoT Simulation [18, 19]. Були розроблені дві мережі: перша – для однієї групи датчиків з підключенням до LoRa WAN модемів (зона покриття до 100 м²), друга – для значної групи датчиків (зона покриття до 1000 м²).

Вікно налаштування параметрів наведене на рисунку 3.4.

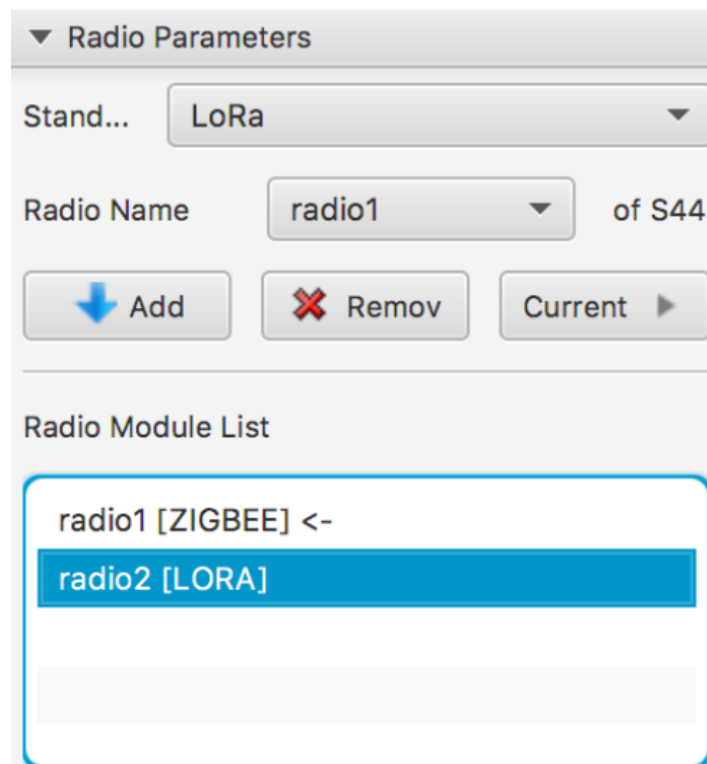
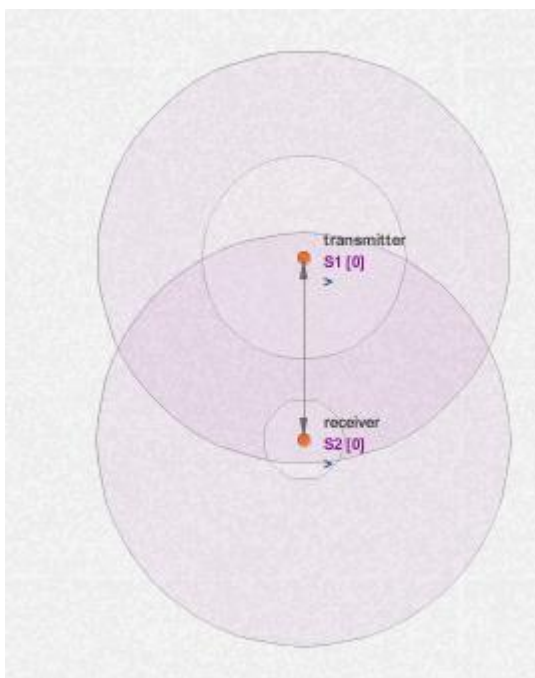
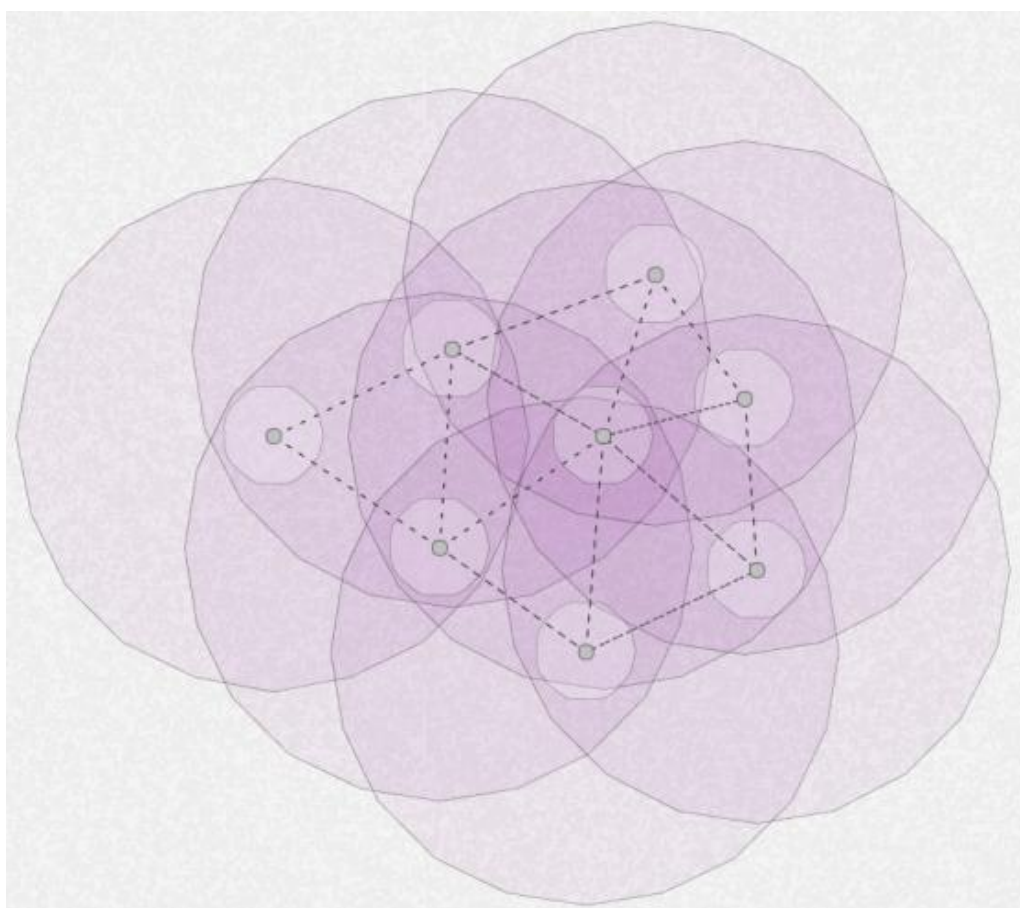


Рисунок 3.4 – Вікно налаштування модему телекомунікаційної інфраструктури

Результати збірки та тестування моделей спроектованої телекомунікаційної мережної системи контролю представлені на рисунку 3.5.



Одна група датчиків



Декілька груп датчиків

Рисунок 3.5 – Результати збірки та тестування моделей спроектованої телекомунікаційної мережної інфраструктури

При моделюванні був отриманий графік залежності втрат електричної енергії пристроями телекомунікаційної мережі в залежності від часу роботи, який приведений на рисунку 3.6.

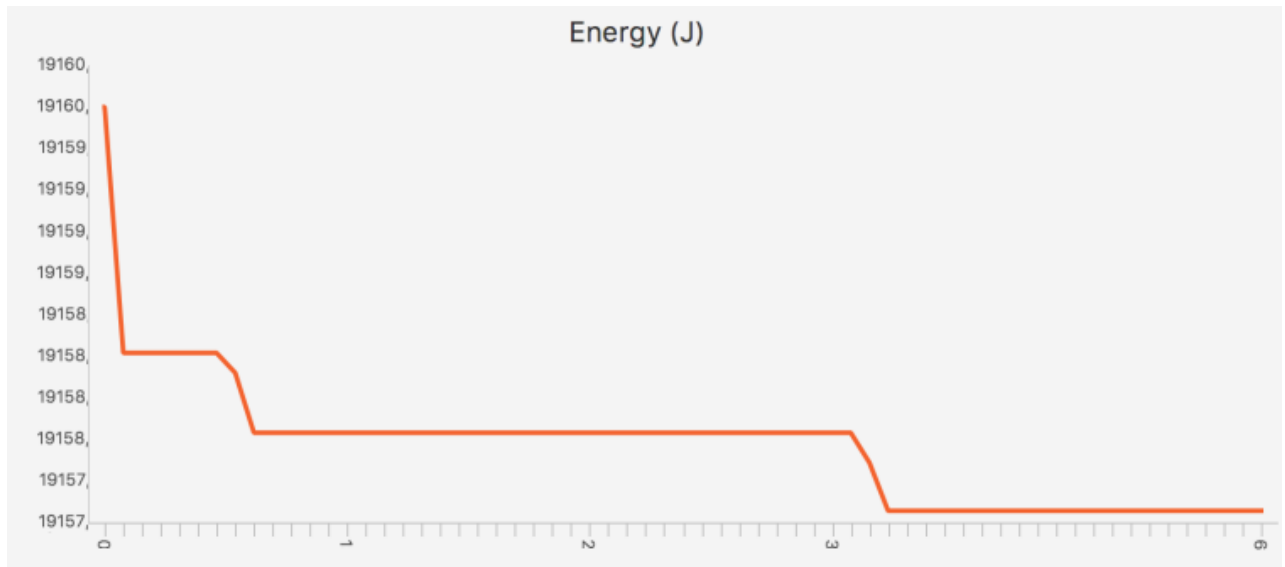


Рисунок 3.6 – Графік втрат електричної енергії через живлення пристроїв телекомунікаційної інфраструктури розумних будинків (для однієї групи WSN датчиків)

Дані результати підтверджують необхідність використання бездротових технологій при контролі параметрів енергоменеджменту в розумних будинках з використанням модулів LoRa.

3.3 Програмний код для телекомунікаційної системи контролю параметрів енергоменеджменту

Для роботи модулів бездротового зв'язку LoRa в телекомунікаційній мережній інфраструктурі для виконання задач, що пов'язані з контролем параметрів енергоменеджменту розумних будинків необхідно запрограмувати промисловий логічний контролер відповідним чином. Для цього в роботі була написана програма на мові C для ПЛК Atom I3 Engineering. Скрін коду

програми для модуля LoRa приведеній нижче на рисунку 3.7.

```
#include <LoRa.h>

char count = 0;

void main() {
  Serial.begin(9600);
  while (!Serial);

  Serial.println("Відправлення даних");

  if (!LoRa.begin(433E6)) {

    Serial.println("Помилка!");
    while (1);
  }

  LoRa.setTxPower(10);

  Serial.print("Дані відправлені");
  Serial.println(count);

  // send packet
  LoRa.beginPacket();
  LoRa.print("Дані: ");
  LoRa.print(count);
  LoRa.endPacket();

  count++;

  delay(500);
}
```

Рисунок 3.7 – Скрін коду програми для LoRa

Створена програма, яка показана на рисунку 3.7, дозволяє обмінюватись даними в телекомунікаційній інфраструктурі за допомогою безпроводних мережних пристроїв LoRa, що робить її зручною і доцільною для використання в розумних будинках.

Висновки до розділу 3

1. Створена інфокомунікаційна модель для зонального контролю показників енергоменеджменту розумних будинків і їх окремих приміщень, яка враховує всі типи обраних датчиків та технології бездротового зв'язку в телекомунікаційній інфраструктурі для віддаленого контролю параметрів енергоефективності розумних будинків.

2. Створена і протестована модель телекомунікаційної системи, що призначена для виконання безперервного контролю параметрів енергоменеджменту в онлайн програмі CupCarbon IoT Simulation, що спеціально призначена для розробки мереж Інтернету речей. Дані моделювання підтвердили доцільність використання технології LoRa для передачі даних про температуру приміщень, силу струму і напруги на побутових приладах розумних будинків.

3. Написаний програмний код для промислового логічного контролера телекомунікаційної системи контролю параметрів енергоменеджменту в складі електричної інфраструктури розумних будинків.

ВИСНОВОК

В роботі вирішено актуальне завдання бакалаврської роботи і досягнута її основна мета, яка полягала в проектуванні і моделюванні телекомунікаційної інфраструктури для віддаленого контролю показників енергоменеджменту розумних будинків та інших приміщень на основі загальних положень технології Інтернету речей.

Головними результатами стали:

– Перший розділ бакалаврської роботи містить наступні результати: доведена необхідність і важливість розробки телекомунікаційної інфраструктури, яка здатна контролювати показники енергоменеджменту будинків на основі Інтернету речей; наведена характеристика фізичних параметрів телекомунікаційних мережних систем, що використовуються для контролю енергоефективності в розумних будинках; проаналізовані способи проектування і розробки телекомунікаційних систем; виконано огляд основних параметрів і характеристик технології LPWAN; встановлено, що LoRa WAN є базовою технологією при розробці телекомунікаційної інфраструктури з елементами енергоменеджменту.

– Другий розділ бакалаврської роботи містить наступні результати: спроектована архітектура телекомунікаційної інфраструктури віддаленого контролю показників енергоменеджменту у складі розумних будинків, що враховує принципи технології Інтернету речей; вибраний вид і описаний принцип дії промислового логічного контролера від фірми I3 Engineering Atom Ferrum типу R12, який підходить для безперервного збору даних від датчиків телекомунікаційної системи (температура, сила струму та напруга на побутових електричних пристроях); вибрана і описана мережна технологія LoRa WAN для під'єднання сукупностей груп датчиків параметрів енергоменеджменту; запропонований для використання хмарний Web-сервер від компанії Amazon для накопичення, обробки і віддаленої індикації інформації про результати

моніторингу показників енергетичної ефективності розумних будівель.

– Третій розділ бакалаврської роботи містить наступні результати: була створена модель контролю параметрів енергетичної ефективності розумних будинків в різних зонах; була створена і виконане тестування комп'ютерної моделі телекомунікаційної інфраструктури задля бездротового безперервного контролю параметрів енергоменеджменту в програмі SupCarbon; встановлено, що результати тестування підтверджують необхідність використання модулів LoRa для передачі інформації про силу струму і напругу на електричних приладах та про температуру приміщень в розумних будинках; написана і відлагоджена комп'ютерна програма для промислового логічного контролера Atom I3 для можливості віддаленого контролю показників енергетичної ефективності розумних будинків та інших приміщень.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Yinbiao S., Lee K., Lanctot P., Jianbin F., Hao H., Chow B., Desbenoit J. Internet of things: wireless sensor networks. White Paper, International Electrotechnical Commission. 2017. P. 1–11.
2. Petajajarvi J., Mikhaylov K., Roivainen A., Hanninen T., Pettissalo M. On the coverage of LPWANs: range evaluation and channel attenuation model for LoRa technology. ITS Telecommunications (ITST), 2015 14th International Conference on. IEEE. 2018. P. 55–59.
3. Макаренко В.В., Співак В.М. Цифрова та імпульсна схемотехніка. Моделювання та аналіз: Електронний навчальний посібник. Київ: НТУУ «КПІ», 2015. 314 с.
4. Zimmermann H. OSI Reference Model - The ISO Model of Architecture for Open Systems Interconnection. IEEE Transactions on Communications. 1980. P. 425–432.
5. The Past, Present, and Future of LPWAN. URL: <https://www.linklabs.com/blog/past-present-future-lpwan> (дата звертання 26.04.2022)
6. Sigfox Technology Overview. URL: <https://www.sigfox.com/en/sigfox-iottechnology-overview> (дата звертання 27.04.2022)
7. Technical Sigfox. URL: <https://www.disk91.com/wpcontent/uploads/2017/05/4967675830228422064.pdf> (дата звертання 03.05.2022)
8. LoRa Alliance. URL: <https://lora-alliance.org/> (дата звертання 04.05.2022)
9. Розумний будинок. Decorate Me. URL: <https://decorateme.com/articles/remont-materialy/umnyi-dom-201> (дата звертання 11.05.2022)
10. I3 Engineering. Atom. URL: <https://i3engineering.com/atom-serie/atom-ferrum-r12> (дата звертання 14.05.2022)
11. Грищук Ю.С. Мікроконтролери: Архітектура, програмування та застосування в електромеханіці: навч. посіб. Харків: НТУ «ХПІ», 2019. 384 с.

12. Куцик А.С., Місюренко В.О. Автоматизовані системи керування на програмованих логічних контролерах: навч. посіб. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2011. 200 с.
13. DS18B20. Mini Tech. URL: <https://www.mini-tech.com.ua/datchik-temperature-ds18b20> (дата звертання 16.05.2022)
14. 1-Wire. URL: <https://1wire.com.ua/> (дата звертання 16.05.2022)
15. Sxema. URL: <https://sxema.com.ua/ua/p929861706-modul-datchika-toka.html> (дата звертання 20.05.2022)
16. LoRa WAN. Mokosmart. URL: <https://www.mokosmart.com/ru/lora-frequency/> (дата звертання 24.05.2022)
17. Amazon AWS. URL: <https://aws.amazon.com/> (дата звертання 03.06.2022)
18. Cup Carbon IoT Simulator. URL: <http://cupcarbon.com/> (дата звертання 10.06.2022)
19. Bounceur A. CupCarbon: A New Platform for Designing and Simulating Smart-City and IoT Wireless Sensor Networks (SCI-WSN). In Conference: International Conference on Internet of Things and Cloud Computing. Cambridge, 2018. P. 1–11.

ДОДАТОК А

Охорона праці та безпека під час надзвичайних ситуаціях на підприємстві

До приміщення науково-дослідного відділу та організації робочого місця з обліком шкідливих виробничих факторів пред'являється ряд вимог. Приміщення, в якому знаходиться робоче місце з персональним компютером, повинно мати природне освітлення, бажано з однобічним розміщенням світових прорізів, площа осклянілості яких не повинна перевищувати 25 % від площі стіни світових прорізів. Віконні прорізи в приміщенні з персональним комп'ютером повинні мати регульовані жалюзі чи занавіски або інші сонцезахисні пристрої. Не допускається розташування робочих місць з персональним комп'ютером у підвальних і цокольних поверхах. Робочі місця з персональними комп'ютерами рекомендується розміщувати в окремих приміщеннях. Площа на одного працюючого з персональним комп'ютером повинна складати 6 м^2 , об'єм – 20 м^3 . Неприпустиме розташування персонального комп'ютера, під час якого працюючий звернений обличчям або спиною до вікон чи кімнати задньої частини персонального комп'ютера, де монтуються вентилятори.

Забороняється застосовувати для обробки інтер'єра приміщень з персональними комп'ютерами полімерні матеріали (дерев'яностружечні плити, шпалери, що миються, плівкові та рулоні синтетичні матеріали, шаруватий паперовий пластик та ін.), що виділяються в повітря шкідливі хімічні речовини, що перевищують гранично допустимі концентрації, не включені до «Переліку дозволених, МЗ» 1977-1985 р.

У лабораторії вимірювальної техніки та науково-дослідної роботи робочі місця з персональними комп'ютерами розташовані від стіни з вікнами на відстані 1 м, відстань між столами 3 м. Екрани моніторів знаходяться від очей користувача на відстані 700 мм відповідно до СН 512-78, приміщення ($S=21 \text{ м}^2$, $V=73,5 \text{ м}^3$) дозволяє розташовувати більше 3 робочих місця.

Робочі місця в положенні сидячі відповідають вимогам ДСТ 12.2.032 – 78

та ДСТ 12.2.029 – 77. Поверхня робочого столу знаходиться на висоті 0,75 м від підлоги, розміри робочої поверхні стільниці складають 1050x590 міліметрів, розміри вільного простору для ніг під столом складає висота 650, глибина 550, ширина 450 міліметрів, відповідно. Робочий стілець оснащений підйомно-поворотним пристроєм, що забезпечує регуляцію висоти сидіння та спинки, пневматичним і гідравлічними амортизаторами та обладнанні підлокітниками.

А.1 Мікроклімат робочого місця

У приміщенні науково-дослідного відділу є джерела тепловиділення, тому необхідно визначити необхідні умови його вентилявання. Витрати повітря в приміщенні з додатковим тепловиділенням визначаються за формулою:

$$L = \frac{Q_{\text{НАД}}}{c \cdot p \cdot (t_{\text{В}} - t_{\text{Н}})}, \quad (\text{A.1})$$

де $Q_{\text{НАД}}$ – надлишкове виділення тепла в робочому приміщенні, ккал/год.;

c – теплоємність повітря (0,237 ккал/кг);

p – об'ємна вага повітря (1,226 кг/м³);

$t_{\text{В}}$ – температура витяжного повітря (30°C);

$t_{\text{Н}}$ – температура приточного повітря (20°C).

Розраховується надлишкове надходження тепла за формулою:

$$Q_{\text{НАД}} = Q_{\text{УСТ}} + Q_{\text{ПЕР}} + Q_{\text{ОСВ}} + Q_{\text{СР}}, \quad (\text{A.2})$$

де $Q_{\text{УСТ}}$ – виділення тепла від устаткування;

$Q_{\text{ПЕР}}$ – виділення тепла від персоналу;

$Q_{\text{ОСВ}}$ – надходження тепла від електричного освітлення;

$Q_{\text{СР}}$ – надходження тепла від сонячної радіації через вікна.

Визначається виділення тепла від устаткування за формулою:

$$Q_{\text{УСТ}} = P \cdot K_a \cdot K_6 \cdot 860, \quad (\text{A.3})$$

де P – сумарна потужність устаткування, кВт/год;

K_a – коефіцієнт установленної потужності (0,95);

K_6 – коефіцієнт одночасної роботи (1,0).

$$\begin{aligned} Q_{\text{УСТ}} &= [x_1 \cdot k_1 + x_2 \cdot k_2 + x_3 \cdot k_3 + x_4 \cdot k_4 + x_5 \cdot k_5 + x_6 \cdot k_6 + x_7 \cdot k_7 + \\ &+ x_8 \cdot k_8 + x_9 \cdot k_9] \cdot K_a \cdot K_6 \cdot 860 = \\ &= [1 \cdot 0,5 + 1 \cdot 0,1 + 1 \cdot 0,07 + 2 \cdot 0,4 + 1 \cdot 0,06 + 1 \cdot 0,05 + 1 \cdot 0,6 + 4 \cdot 0,15 + \\ &+ 1 \cdot 3,5] \cdot 0,95 \cdot 1 \cdot 860 = 5131 \text{ ккал/год.} \end{aligned}$$

Визначається виділення тепла від обслуговуючого персоналу за допомогою формули:

$$Q_{\text{ПЕР}} = n \cdot g = 2 \cdot 100 = 200 \text{ ккал/год,} \quad (\text{A.4})$$

де n – кількість працюючих;

g – кількість тепла, що виділяє один працівник за годину (100 ккал/год.).

Визначається надходження тепла від електричного освітлення за формулою:

$$Q_{\text{ОСВ}} = E_M \cdot g_1 \cdot S = 300 \cdot 0,05 \cdot 21 = 315 \text{ ккал/год,} \quad (\text{A.5})$$

де E_M – нормована освітленість для зорової роботи, величина якої дорівнює

300 лк;

g_1 – питоме тепловиділення на 1 м^2 підлоги під час освітленості в 1 лк (для люмінесцентних ламп – 0,05 ккал/год.);

S – площа приміщення, м^2 .

Визначається надходження тепла від сонячної радіації через вікна за формулою:

$$Q_{\text{CP}} = F \cdot g_2 \cdot K_{\text{осл}} = 7,5 \cdot 65 \cdot 0,4 = 195 \text{ ккал/год}, \quad (\text{A.6})$$

де F – площа віконних прорізів ($3 \times 2,5 = 7,5 \text{ м}^2$);

g_2 – кількість тепла, що надходить через 1 м^2 віконного прорізу (65 ккал/год.);

$K_{\text{осл}}$ – коефіцієнт ослаблення, приймається 0,4.

Визначається кількість надлишкового тепла:

$$Q_{\text{НАД}} = Q_{\text{УСТ}} + Q_{\text{ПЕР}} + Q_{\text{ОСВ}} + Q_{\text{CP}} = 5131 + 200 + 315 + 195 = 5841 \text{ ккал/год.}$$

Визначаються витрати повітря в приміщенні:

$$L = \frac{Q_{\text{НАД}}}{c \cdot p \cdot (t_{\text{В}} - t_{\text{Н}})} = \frac{5848}{0,237 \cdot 1,226 \cdot (30 - 20)} = 2010 \text{ м}^3 / \text{год.}$$

Існуюча в наявності система кондиціонування та вентилявання має продуктивність $2200 \text{ м}^3/\text{год.}$, що задовольняє необхідним нормативам.

Параметри мікроклімату на робочих місцях регламентуються ДНАОП 0.03.3.15 – 86 «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень № 4088–86». Відповідно доданих санітарних норм температура повітря, швидкість руху повітря та відносна вологість у холодні періоди року повинна складати (22 – 24) градуса за Цельсієм, 0,1 метра в секунду та (40 – 60) %, відповідно.

Під час збереження всіх параметрів можливе коливання температури від 21 до 25 градусів Цельсія. У теплі періоди року температура повітря повинна складати (23 – 25) градусів Цельсія, швидкість руху повітря (0,1 – 0,2) метрів в секунду, вологість (40 – 60) %. Температура може коливатися від 22 до 26 градусів Цельсія під час збереження всіх інших параметрів мікроклімату. Вище зазначені норми цілком відповідають фактичним даним приміщення лабораторії вимірювальної техніки та науково-дослідним відділом.

А.2.2 Розрахунок системи загального рівномірного освітлення з лампами розжарювання для приміщення, в якому використовуються зорові роботи високої точності

Розміри приміщення: довжина ($a=6$ м), ширина ($b=3,5$ м), висота ($H=3,5$ м). Приміщення має світлу побілку: коефіцієнт відбиття $P_{\text{стелі}} = 70 \%$, $P_{\text{стін}} = 50 \%$. Висота робочих поверхонь (столів) $h_p = 0,7$ м. Для освітлення прийнято світильники типу УПМ-15, що розташовано на стелі, відстань від світильника до стелі $h_c = 0,4$ м. Мінімальна освітленість за нормами $E=200$ лк.

1) Визначається висота підвісу світильників над підлогою:

$$h_0 = H - h_c = 3,5 - 0,4 = 3,1 \text{ м.}$$

Для світильників загального освітлення з лампами розжарювання потужністю до 200 Вт мінімальна висота підвісу над підлогою відповідно до СНІП П-4-79 повинна бути в межах (2,5 – 4,0) м, залежно від характеристики світильника. Освітлення лабораторії вимірювальної техніки та науково-дослідного відділу відповідає цій вимозі.

2) Визначається висота підвісу світильника над робочою поверхнею:

$$h = h_0 - h_p = 3,1 - 0,7 = 2,4 \text{ м.}$$

Рівномірність освітлення досягається під час відповідного співвідношення відстані між світильниками (L) та висоти їх підвісу (h).

3) Визначається рекомендована відстань між світильниками:

$$L = 0,7 \cdot h = 0,7 \cdot 2,4 = 1,68 \text{ м.}$$

4) Розраховується необхідна кількість світильників:

$$N = \frac{a \cdot b}{L^2} = \frac{6 \cdot 3,5}{1,68^2} = 7,4.$$

Приймається 8 світильників, з обліком розмірів приміщення вони розташовуються у два ряди по 4 штуки.

5) Світловий потік лампи світильника ($\Phi_{\text{л}}$) визначається за формулою:

$$\Phi_{\text{л}} = \frac{E \cdot K_3 \cdot S \cdot Z}{N \cdot n \cdot \eta},$$

де E – нормативна освітленість, лк;

K_3 – коефіцієнт запасу, який враховує зниження освітленості в результаті забруднення та старіння ламп;

S – площа приміщення, що освітлюється, м²;

Z – коефіцієнт нерівномірності освітлення для ламп розширювання (1,15);

N – кількість світильників;

n – кількість ламп у світильнику;

η – коефіцієнт використання світового потоку, що визначається за світлотехнічними таблицями залежно від показника приміщення (i) та коефіцієнтів відбиття стін і стелі.

б) Визначається показник приміщення:

$$i = \frac{a \cdot b}{h \cdot (a + b)} = \frac{6 \cdot 3,5}{3,5 \cdot (6 + 3,5)} = 2,21.$$

Коефіцієнт використання $\eta = 0,48$ для світильника УПМ-15 ($i = 2,5$, $P_{\text{стелі}} = 70\%$, $P_{\text{стін}} = 50\%$)

Світловий потік одного світильника, а значить і лампи, оскільки за конструктивним виконанням у світильнику цього типу встановлена лише одна лампа, дорівнює:

$$\Phi_{\text{л}} = \frac{E \cdot S \cdot Z}{N \cdot n \cdot \eta} = \frac{200 \cdot 21 \cdot 1,15}{6 \cdot 1 \cdot 0,48} = 1677 \text{ лм.}$$

9) обирається лампа Б-150 потужністю 150 Вт, світловий потік якої дорівнює 2000 лм. Хоча це значення на 19,2 % більше розрахованого, проте не перевищує встановлену норму ($-0\% < \Phi_{\text{л}} < +20\%$). Сумарна електрична потужність усіх світильників, встановлених у приміщенні становить:

$$P_{\text{св}} = P \cdot N = 150 \cdot 8 = 1200 \text{ Вт.}$$