

Хмельницький національний університет  
Факультет інформаційних технологій  
Кафедра комп'ютерної інженерії та інформаційних систем

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

бакалавр  
Освітній рівень

IoT система моніторингу індустриального обладнання  
Назва теми

КВРКІ 190186.19.01.08 ПЗ  
Шифр

Галузь знань 12 «Інформаційні технології»  
Шифр, назва

Спеціальність 123 «Комп'ютерна інженерія»  
Шифр, назва

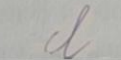
Освітня програма «Комп'ютерна інженерія та програмування»  
Назва

Виконав: студент IV курсу, група KI2-20-2

  
Підпис


Ю.С.Марчук  
Ініціали, прізвище

Керівник

  
Підпис, дата

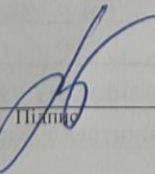
С.І. Саченко  
Ініціали, прізвище

Нормоконтролер

  
Підпис, дата

І.О. Засорнова  
Ініціали, прізвище

До захисту допускаю:  
Зав. кафедри комп'ютерної  
інженерії та інформаційних  
систем

  
Підпис

Т.О. Говорущенко  
Ініціали, прізвище

«24» червня 2024 р.

Хмельницький 2024

Факультет ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ  
Кафедра КОМП'ЮТЕРНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ  
Освітній рівень БАКАЛАВР  
Галузь знань 12 ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ  
Спеціальність 123 КОМП'ЮТЕРНА ІНЖЕНЕРІЯ  
Освітня програма «КОМП'ЮТЕРНА ІНЖЕНЕРІЯ ТА ПРОГРАМУВАННЯ»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри Т.О. Говорущенко

“ 25 ” 02 2024 р.

### ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА

Марчуку Юрію Сергійовичу

Прізвище, ім'я, по батькові студента

1. Тема проекту (роботи) IoT система моніторингу індустриального обладнання

Керівник проекту (роботи) Саченко С. І., к.т.н., доцент.

Прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання

Затверджена наказом ректора університету від 01.03.2024 р. № 5

2. Строк подання студентом проекту (роботи) на кафедру 21.06.2024 р.

3. Вихідні дані до проекту (роботи) Завдання на кваліфікаційну роботу

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) \_\_\_\_\_

IoT система вібраційної діагностики індустриального та промислового  
обладнання

Моделювання IoT системи моніторингу індустриального обладнання та вибір елементарної  
бази

Програмно-прототипна реалізація IoT системи індустриального обладнання

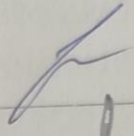
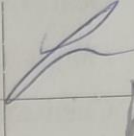
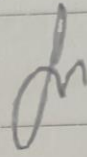
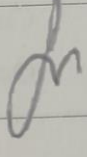
5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень) \_\_\_\_\_

Блок-схема роботи схеми клієнтської частини

Принципова електрична схема

Функціональна схема

6. Консультанти розділів дипломного проекту (роботи)


Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Нормоконтроль	Засорнова І.О., доцент кафедри КПС		
Антиплагиат	Нічепорук А.О., доцент кафедри КПС		

7. Дата видачі завдання « 25 » 02 2024 р.

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№з/п	Назва етапів (розділів) дипломного проекту (роботи)	Термін виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Вибір напрямку дослідження та узгодження тематики кваліфікаційної роботи з керівником	10.01.2024	виконано
2	Ознайомлення з предметною областю; формулювання мети та задач дослідження; визначення об'єкта та предмета дослідження	01.02.2024	виконано
3	Робота над розділом 1 – дослідження предметної області та постановка задачі	01.03.2024	виконано
4	Робота над розділом 2 – моделювання IoT системи моніторингу індустриального обладнання	01.04.2024	виконано
5	Робота над розділом 3 – проектування IoT системи моніторингу індустриального обладнання	29.04.2024	виконано
6	Оформлення пояснювальної записки згідно вимог	25.05.2024	виконано
7	Попередній захист ВКР	26.05.2024	виконано
8	Захист ВКР на засіданні ЕК	Червень 2024 року	

Студент

  
Підпис

Ю. С. Марчук  
Ініціали, прізвище

Керівник роботи

  
Підпис

С. І. Саченко  
Ініціали, прізвище



## АНОТАЦІЯ

Тема кваліфікаційної роботи: «IoT система моніторингу індустріального обладнання».

Автор роботи: Марчук Юрій Сергійович.

Керівник роботи: Саченко С.І.

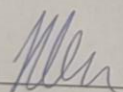
Пояснювальна записка: 58 с., 27 рис., 1 табл., 3 дод., 60 джерел.

Графічна частина: 3 креслення.

ІНТЕРНЕТ РЕЧЕЙ, ВІБРАЦІЙНА ДІАГНОСТИКА, МОНІТОРИНГ,  
ТРЕКІНГ.

Метою дипломної роботи є проектування IoT система моніторингу індустріального обладнання із реалізацією функцій контролю.





Об'єктом дослідження в IoT системах моніторингу індустріального обладнання є самі машини та пристрої, що використовуються у виробничих процесах. Це включає аналіз і контроль різних параметрів, таких як температура, вібрація, шум, тиск, швидкість та продуктивність обладнання. Вивчення цих параметрів дозволяє отримати інформацію про стан і роботу пристроїв, виявити потенційні несправності або відхилення від норми. Таким чином, IoT системи допомагають забезпечити безперебійну роботу, підвищити ефективність та продовжити термін служби обладнання, запобігаючи несподіваним аваріям та оптимізуючи технічне обслуговування.

  
Підпис студента

30.05.2024  
Дата

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
<b>1 ДОСЛІДЖЕННЯ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ ТА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ.....</b>	<b>7</b>
1.1 Аналіз елементів IoT-систем та їхнього застосування в індустріальному контексті, а також їх функціональні особливості .....	7
1.2 Відомі схемотехнічні рішення для реалізації IoT-системи для вібраційної діагностики промислового обладнання.....	14
1.3 Постановка задачі.....	20
1.4 Висновок.....	21
<b>2 МОДЕЛЮВАННЯ ІОТ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ІНДУСТРІАЛЬНОГО ОБЛАДНАННЯ ТА ВИБІР ЕЛЕМЕНТАРНОЇ БАЗИ .....</b>	<b>24</b>
2.1 Складання вимог до IoT-системи моніторингу промислового обладнання .....	24
2.2 Обмін інформацією в середовищі Інтернету речей.....	27
2.3 Структура IoT-системи для вібраційної діагностики промислового обладнання .....	34
2.4 Функціональне призначення основних модулів системи .....	37
2.5 Вибір елементів .....	38
2.6 Висновки .....	46
<b>3 ПРОГРАМНО-АПАРАТНА РЕАЛІЗАЦІЯ ІОТ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ІНДУСТРІАЛЬНОГО ОБЛАДНАННЯ.....</b>	<b>48</b>
3.1 Опис реалізації модулів апаратного та програмного забезпечення програмно-технічного засобу.....	48
3.1.1 Розроблення функціональної схеми мікроконтролерної системи. .	48
3.1.2 Розроблення принципової електричної схеми .....	52
3.2 Налаштування брокера EMQX та створення сценарію в Node-red.....	54
3.3 Створення клієнтської частини підсистеми керування.....	59

КвРКІ.190130.19.01.19 ПЗ								
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата	IoT система моніторингу індустріального обладнання	Літера	Арквш	Арквшів
Виконав	Марчук Ю. С.			24.06		у	2	58
Перевір.	Саченко С.І.			24.06				
Н.контр.	Засорнова І.О.			24.06				
Затвер.	Говорушенко Т.О.							
ХНУ КІ2-20-2								

3.6 Висновки .....	59
<b>ВИСНОВОК .....</b>	<b>61</b>
<b>ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ .....</b>	<b>63</b>
<b>ДОДАТОК А КОПІЯ КРЕСЛЕННЯ «ПРИНЦИПОВА ЕЛЕКТРИЧНА СХЕМА».....</b>	<b>68</b>
<b>ДОДАТОК Б КОПІЯ КРЕСЛЕННЯ «БЛОК СХЕМА РОБОТИ КЛІЄНТСЬКОЇ ЧАСТИНИ» .....</b>	<b>69</b>
<b>ДОДАТОК В КОПІЯ КРЕСЛЕННЯ «ФУНКЦІОНАЛЬНА СХЕМА» ...</b>	<b>70</b>

					КВРКІ.190186.19.01.08 ПЗ	Арк. 3
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ

MCU – Мікроконтролер

ШІ – Штучний інтелект

CoAP – Constrained Application Protocol

IoT – Internet of Things

IIoT – Industrial Internet of Things

MEMS – Мікроелектромеханічні системи

GPIO – General purpose input output

MQTT – Message queuing telemetry transport

					КВРКІ.190186.19.01.08 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		4

## ВСТУП

З світовим розвитком індустріалізації та автоматизації різноманітних виробничих процесів, все частіше з'являється потреба у більш дієвому обслуговуванні та відстеженні стану різноманітного індустріального обладнання. Нажаль, збої та несправності устаткування не залежать від їх використання в конкретних галузях, тож найчастіше, подібне призводить до значних фінансових витрат, простоїв у виробництві та, відповідно, зниженню якості продукції. Поширені та традиційні методи для моніторингу, наприклад, такі як постійні інспекції та планове технічне обслуговування, зазвичай є недостатньо ефективними, а також не завжди дозволяють своєчасно знаходити та запобігати створенню потенційних проблем.

Застосування технологій IoT відкриває нові можливості для створення нових розумних систем моніторингу індустріального устаткування. IoT-системи в режимі реального часу дозволяють збирати, аналізувати та обробляти великі обсяги інформації з розмаїтих сенсорів та усіляких датчиків, які встановлюються безпосередньо на самому обладнанні. Зокрема, динамічний моніторинг обладнання означає постійне та безперервне спостереження за станом і продуктивністю обладнання в режимі реального часу. Цей підхід забезпечує своєчасне виявлення несправностей та відхилень від необхідного функціонування, що дозволяє вчасно реагувати на потенційні проблеми та проводити профілактичне обслуговування до виникнення серйозних несправностей.

В цій кваліфікаційній роботі буде розглянуто реалізацію IoT-системи для діагностики індустріального обладнання за допомогою вібродіагностики. Це рішення дозволить автоматизувати контроль та моніторинг за устаткуванням, тим самим забезпечуючи вирішення завдання з пошуку несправностей, а також полегшить визначення об'єктивної оцінки технічного стану обладнання.

Метою дипломної роботи є моделювання та створення IoT-системи для вібродіагностики обладнання. Основним завданням є розробка ефективної системи, яка здатна забезпечити своєчасне виявлення і діагностику вібраційних

					КВРКІ.190186.19.01.08 ПЗ	Арк. 5
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

аномалій у промислових верстатах, що дозволить запобігати аварійним ситуаціям та знижувати витрати на ремонт і обслуговування.

Об'єктом дослідження є процес вібраційної діагностики промислових верстатів, який включає в себе аналіз коливань та вібрацій, що виникають під час роботи обладнання. Дослідження об'єкта спрямоване на виявлення закономірностей і особливостей вібраційних сигналів, які можуть свідчити про початок або розвиток несправностей.

Предметом дослідження є оцінка застосування моніторингових елементів для індустріального обладнання, зокрема, вибір та використання відповідних датчиків вібрації, мікроконтролерів, засобів передачі даних та програмного забезпечення для обробки і аналізу інформації. Особливу увагу приділено інтеграції цих елементів в єдину систему, яка забезпечить безперервний моніторинг та швидке реагування на виявлені відхилення.

					КВРКІ.190186.19.01.08 ПЗ	Арк.
						6
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

# 1 ДОСЛІДЖЕННЯ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ ТА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

1.1 Аналіз елементів IoT-систем та їхнього застосування в індустріальному контексті, а також їх функціональні особливості

Інтернет речей, або ж IoT, являє собою мережу взаємопов'язаних фізичних пристроїв, транспортних засобів, будівель та різних інших об'єктів, які оснащені електронікою, датчиками, програмним забезпеченням та підключенням до мережі для збору та обміну інформацією. IoT дозволяє віддалено керувати потрібними об'єктами та взаємодіяти між ними створюючи розумні системи, що здатні адаптуватися та реагувати на зміну умов навколишнього середовища [a)1].

Основними компонентами IoT є пристрої та сенсори, мережеве підключення, хмарні сервіси для збору та обробки даних, а також інтерфейси користувача. Датчики встановлюються на об'єктах для вимірювання необхідних параметрів, таких як вологість, швидкість, освітлення, тиск, температура, вібрація тощо. Усі дані, зібрані датчиками, передаються або на шлюз, або безпосередньо в хмару, використовуючи при цьому різноманітні протоколи зв'язку, такі як Wi-Fi, Bluetooth, Zigbee, LoRa, NB-IoT та інші [a)2]. Шлюзи виконують роль посередників, що використовуються для з'єднання датчиків з інтернетом, забезпечуючи надійну та захищену передачу даних.

Після того як інформація передається в хмару, вона піддається обробці та аналізу за допомогою багатьох аналітичних інструментів та алгоритмів машинного навчання. Саме цей етап дозволяє виявляти співпадіння та патерни в зібраних даних, завбачувати появу можливих несправностей, оптимізувати роботу устаткування та приймати обґрунтовані рішення на основі отриманих даних. Потім, через різноманітні інтерфейси, такі як мобільні та веб-додатки, що дають змогу моніторити стан прислادів, керувати ними та отримувати повідомлення про їх стан прямо в режимі реального часу (рисунок 1.1)

					КВРКІ.190186.19.01.08 ПЗ	Арк. 7
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

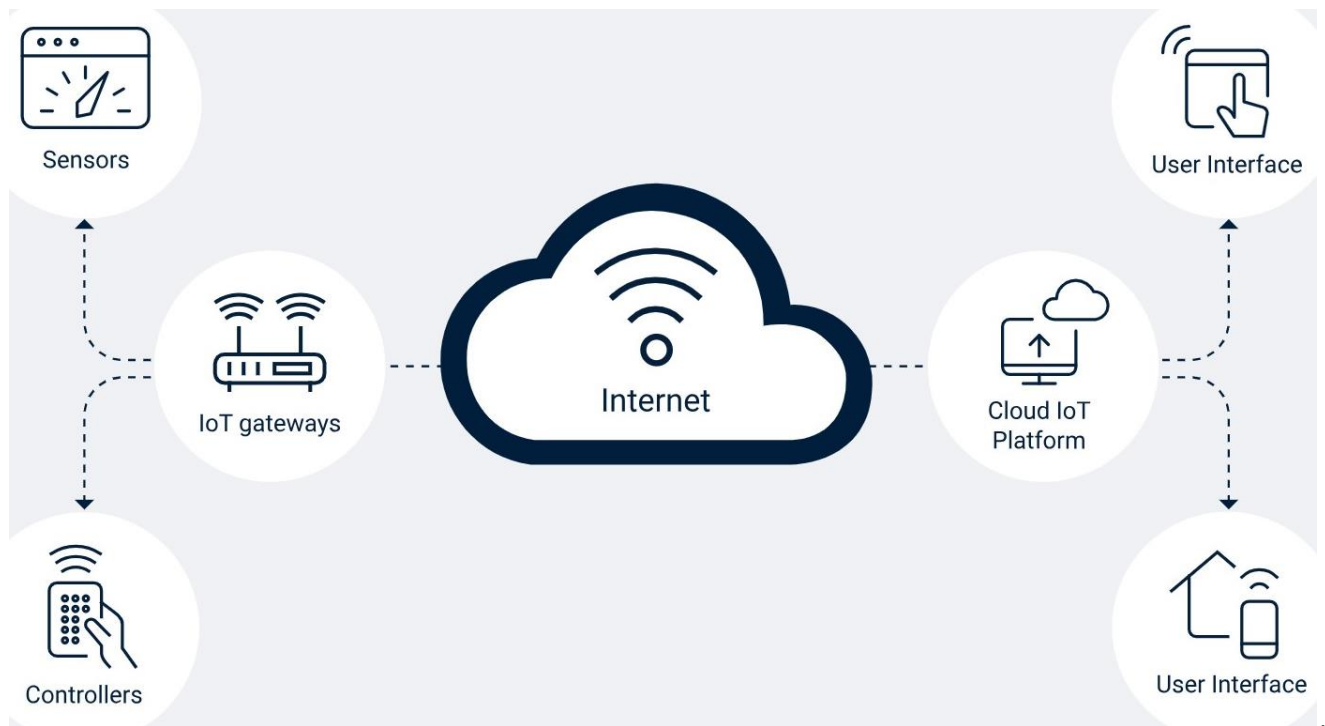


Рисунок 1.1 – З'єднання компонентів IoT

Інтернет речей [а)3] має широкий спектр застосувань у різних галузях промисловості, охоплюючи такі сфери, як розумні будинки, охорону здоров'я, транспортні засоби, енергетику, промислове виробництво та навіть сільське господарство. Наприклад, в індустріальному контексті IoT використовується для моніторингу стану обладнання, діагностики та прогнозування поломок, оптимізації виробничих процесів, керування ланцюгами постачання та покращення безпеки праці. Трекери вібрації, швидкості, температури та інші збирають дані про стан устаткування, які потім аналізуються для виявлення дефектів та прогнозування можливих поломок. Це дозволяє зарання планувати профілактичне обслуговування обладнання, знижуючи відсоток ризику незапланованих збоїв та підвищуючи надійність обладнання.

Оскільки давачі вібрації є одними з ключових компонентів для системи моніторингу стану промислового обладнання в рамках IoT, варто розібрати їх детальніше. Саме вони забезпечуватимуть збір інформації про вібраційні характеристики приладів та обладнання. Загалом можна виділити безліч типів таких

сенсорів, але варто зосередитися на найбільш розповсюджених. Найчастіше вони поділяються на такі сенсори як:

– П'єзоелектричні давачі вібрації – базуються на принципі п'єзоелектричного ефекту, де механічна деформація матеріалу генерує електричний сигнал. Ці давачі відрізняються високоточністю, широким діапазоном частот та високою чутливістю, що робить їх ідеальними для застосування саме в тих умовах, де потрібен детальний аналіз вібрацій [а)4]. На рисунку 1.2 показано приклад давача такого виду.



Рисунок 1.2 – Приклад п'єзоелектричного давача

– П'єзорезистивні давачі вібрації – у свою чергу, для вимірювання вібрацій використовують зміни опору матеріалу при механічному деформуванні. Вони, зазвичай, мають досить високу чутливість та здатні працювати в умовах дуже високих температур, що робить їх незамінними для моніторингу вібрацій в екстремальних умовах [а)5]. Такі дадавачі часто складаються з мікроелектромеханічних систем (MEMS), що робить їх компактними і чутливими. Вони часто використовуються в автомобільній промисловості для моніторингу стану двигунів і трансмісій, а також у промисловості для контролю стану обладнання. Приклад такого давача зображено на рисунку 1.3.

					КВРКІ.190186.19.01.08 ПЗ	Арк.
						9
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

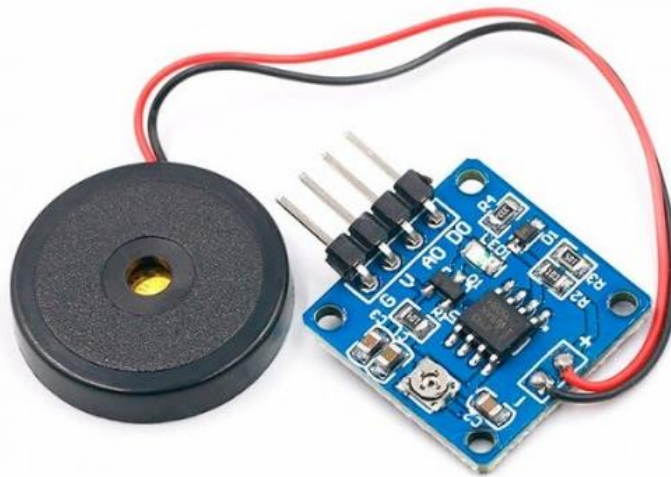


Рисунок 1.3 – П'єзоелектричний давач

– Ємнісні давачі вібрації – вимірюють зміни ємності між електродами, що відбуваються при вібрації. Вони забезпечують високу точність вимірювань та зазвичай використовуються в різноманітних промислових застосуваннях, у яких необхідно вести моніторинг низькочастотних вібрацій.

– Індуктивні давачі вібрації – працюють на принципі зміни індуктивності котушки під впливом вібрації. Вони досить широко використовуються для вимірювання низькочастотних вібрацій, а також мають високу стійкість до різного виду забруднень і пилу, що дозволяє використовувати їх в досить жорстких промислових умовах.

– Оптичні давачі вібрації – наприклад, як той, що зображено на рисунку 1.4, використовують світлові хвилі для вимірювання вібрацій. Ці сенсори забезпечують достатньо високу точність та чутливість, особливо при вимірюванні саме високочастотних вібрацій. Такі давачі можуть бути застосовані в умовах, де важливо уникати різного виду електромагнітних хвиль [а)б] Основний принцип роботи таких давачів полягає у використанні світла для виявлення змін в положенні або русі об'єкта. Один із методів, інтерферометрія, вимірює зміни у фазі світла, відбитого від віброуючої поверхні, що дозволяє визначати малі зміщення з високою точністю.



Рисунок 1.4 – Оптичний давач вібрації

– Лазерні доплерівські віброметри – використовують доплерівський ефект для вимірювання швидкості та переміщення вібрацій, забезпечують високу точність та здатні вимірювати вібрації на відстані, що перетворює їх на незамінні пристрої для безконтактного моніторингу приладів. (Рисунок 1.5)



Рисунок 1.5 – Лазерний доплерівський віброметр

– Мембранні давачі – використовують гнучку мембрану, яка деформується під впливом вібрацій. Зазвичай вони мають доволі просту конструкцію та є доволі економічно вигідними, адже в порівнянні з іншими, мають невелику вартість.



Рисунок 1.6 – Мембранний давач

– Магнітострикційні давачі – є важливими в індустріальних застосуваннях завдяки своїй високій чутливості і точності вимірювань. Основним принципом їх дії є зміна магнітних властивостей матеріалу при деформації.

– Прикладом матеріалу, який використовується в таких давачах, є сплави з високим вмістом кобальту або жалю. Ці матеріали демонструють магнітні властивості, що змінюються при розтягуванні або стисканні, що відбувається під впливом механічного напруження.

Однією з особливостей магнітострикційних давачів є їхні високі технічні характеристики, які дозволяють вимірювати навіть дрібні зміни у магнітних властивостях матеріалів. Це особливо важливо в умовах високих температур, де інші типи давачів можуть втрачати свою ефективність.

Магнітострикційні давачі забезпечують стабільність і надійність вимірювань навіть при екстремальних умовах, таких як висока температура, і є незамінними для багатьох вимогливих технічних застосувань, де необхідно точно вимірювати деформацію або напруження в матеріалах. Приклад таких давачів можна побачити на рисунку 1.7.



Рисунок 1.7 – Магнітострикційний давач

– Акселерометри – є одним з найросповсюдженіших видів давачів вібрації. Вони вимірюють прискорення, викликане вібрацією, та можуть бути одно-, дво- або тривісними, що дозволяє проводити комплексний, тривимірний аналіз вібраційних характеристик устаткування. Акселерометри нерідко встановлюються для систем моніторингу стану та діагностики несправностей автомобілів [а)7]. Вони зазвичай розміщуються в різних частинах автомобіля, наприклад, в салоні, на кузові або на ходовій частині, щоб вимірювати різні аспекти його руху та взаємодії з дорожнім покриттям. Не слід ще забувати, що вони грають ключову роль у системах подушок безпеки, забезпечуючи швидке спрацьовування при аварії. Вони також використовуються в системах контролю стабільності та антиблокувальних системах, допомагаючи утримувати автомобіль на дорозі під час різких маневрів або гальмування (рисунок 1.8). У промислових умовах їх використовують для діагностики та прогнозування зносу обладнання, що допомагає запобігати аварійним ситуаціям і підвищувати ефективність виробничих процесів. У сфері побутової електроніки акселерометри встановлюються в смартфонах, планшетах та інших портативних пристроях для вимірювання положення та руху



Рисунок 1.8 – Автомобільний акселерометр (давач прискорення)

## 1.2 Відомі схемотехнічні рішення для реалізації IoT-системи для вібраційної діагностики промислового обладнання

На теперішній час існує чималий спектр створених технологічних засобів для створення вібраційної діагностики.

У [а]8] автор представляє варіант розробки IoT-системи з використанням акселерометрів мікроелектромеханічних систем, або ж скорочено – MEMS (принцип роботи MEMS акселерометрів базується на використанні маси, яка закріплена на пружині і може зміщуватися під дією зовнішнього прискорення. Зміщення маси відображається в зміні одного з параметрів, таких як ємність, п'єзоелектрична напруга або опір. Це забезпечує вимірювання прискорення з високою точністю і чутливістю.

Типи MEMS акселерометрів можуть включати капацитивні, п'єзоелектричні та п'єзорезистивні давачі. Капацитивні акселерометри вимірюють зміну ємності між двома електродами, що зміщуються відносно один одного під впливом прискорення. П'єзоелектричні акселерометри генерують електричну напругу при зміщенні п'єзокерамічного елемента, що реагує на прискорення). Такі акселерометри є заманливою альтернативою п'єзоелектричним акселерометрам,

					КВРКІ.190186.19.01.08 ПЗ	Арк. 14
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

зокрема через їх невеличкий розмір, досить низьку вартість і мале енергоспоживання, що робить МЕМС-акселерометри ідеальними кандидатами для систем вимірювання руху. Завдяки цим характеристикам було розроблено Memsio. Memsio – це система вимірювання з допомогою акселерометра МЕМС, а також з можливістю підтримки Інтернету речей. Він має портативний формат, здатний працювати від акумулятора та має безпроводний формат, що дозволяє аналізувати рух у більш широкому діапазоні. Основними компонентами Memsio є трьохосьовий акселерометр МЕМС, блок мікроконтролера, системи на кристалі, карта пам'яті, акумулятор і червоно-зелено-синій світлодіод. Інформація з МЕМС-акселерометра потрапляє MCU, який заносить дані на карту пам'яті. Доступ до цих збережених даних вимірювань можна отримати шляхом зчитування карти за допомогою комп'ютера або через графічний інтерфейс користувача на основі браузера. Також графічний інтерфейс дозволяє дистанційно керувати Memsio, що включає в себе ініціювання вимірювань і визначення параметрів вимірювання. Перезаряджуваний літій-іонний акумулятор живить систему, а світлодіод вказує на стан програми (Рисунок 1.9).

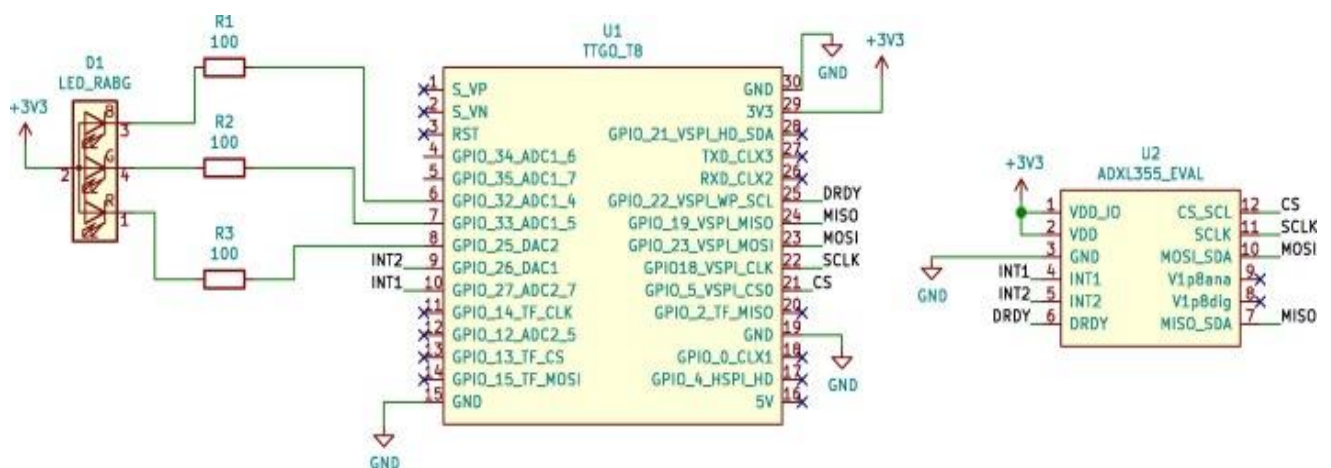


Рисунок 1.9 – Принципова схема схеми Memsio

Ще одне технічне рішення представлено авторами у [а]9]. В якості давача було використано п'єзоелектричний давач ICP 353B17, оскільки він пропонує високу чутливість, низьку вартість і малі розміри, що робить його придатним для

моніторингу вібрації і не створює хвилювань у використанні, адже у разі поломки його можна легко замінити новішою моделю. Цей акселерометр реалізує технологію п'єзоелектричної інтегральної схеми, яка включає вбудовані підсилювачі заряду. Він має чутливість 10 мВ/г ( $\pm 10\%$ ), діапазон вимірювання  $\pm 500$  g пік і діапазон частот 10 кГц з відносною похибкою у 5%. Також автори використовують активний згладжуючий фільтр, побудований на інструментальному підсилювачі, який забезпечує високий коефіцієнт викиду синфазного сигналу, а також діодну схему обрізання, що обмежує діапазон напруги вихідного сигналу формувача відповідно до діапазону вхідної напруги аналого-цифрового перетворювача (від 0 до 3,3 В) на блок мікроконтролера. Загалом, технічна частина цієї системи складається з (Рисунок 1.10):

- плати (оскільки саме вона запускає процеси збору та передачі даних);
- карти пам'яті
- інтернет кабелю (забезпечує дротовий зв'язок між платою та користувацьким обладнанням);
- ноутбук (запускає програму для візуалізації та обробки даних).

На рисунку 1.10 зображено загальну принципову схему розробленої системи, яку можна розділити на дві основні частини: аналогову та цифрову. Перша має три основні цілі: перетворення вібраційного сигналу, виконання обробки та мінімізація накладання сигналів. Друга частина має чотири цілі:

- перетворити аналоговий сигнал у цифровий і закодувати його;
- інкапсулювати дані в TCP-сегмент, щоб зробити їх придатними для передачі через мережу та Інтернет;
- обробити дані;
- відобразити результат.

Для пояснення, TCP є високонадійним протоколом хост-хост у комп'ютерних мережах з комутацією пакетів, частиною Internet Protocol Suite, також відомого як TCP/IP.

					КВРКІ.190186.19.01.08 ПЗ	Арк. 16
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

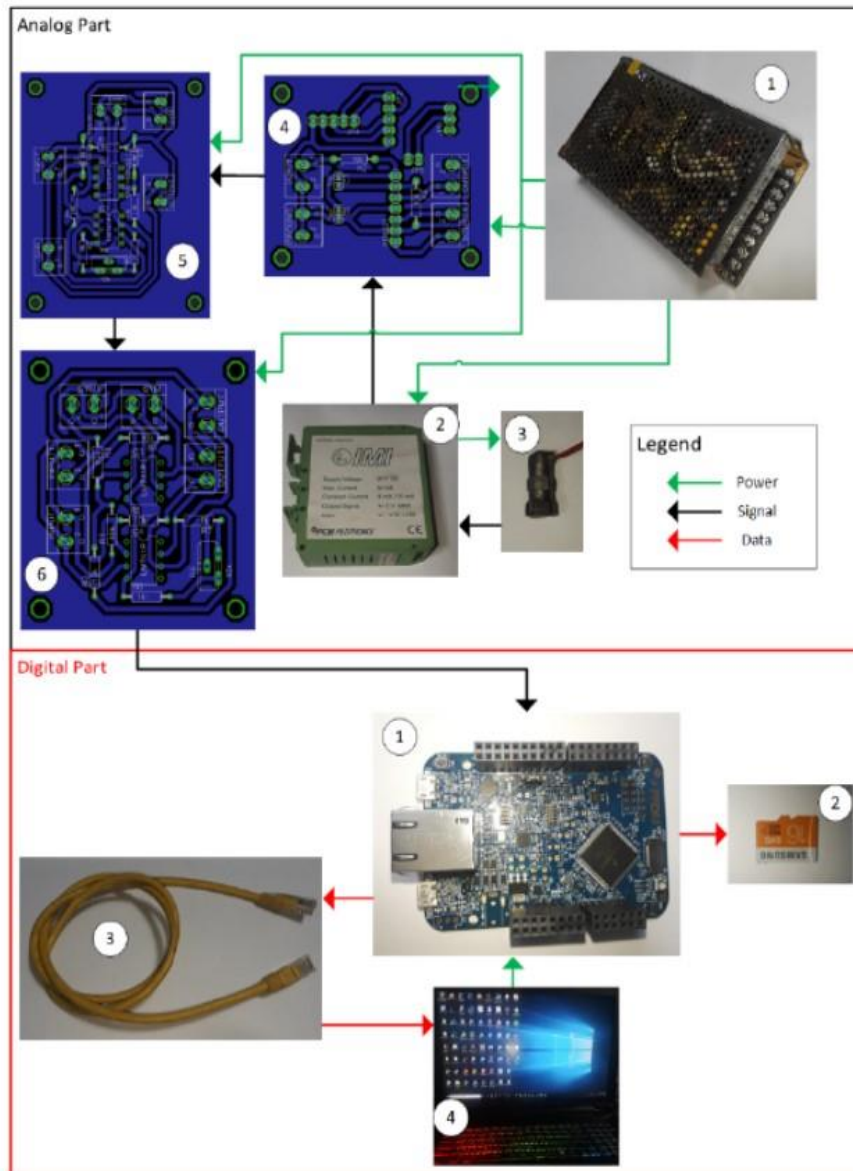


Рисунок 1.10 – Загальна принципова схема розробленої системи вимірювання вібрації [а)9]

Також ще одна із систем моніторингу була представлена у іншому дослідженні [а)10]. Автор пропонує використовувати цифровий MEMS-акселерометр ADXL355, розроблений компанією Analog Devices, а також систему Reconfigurable Input-Output (RIO), а точніше з допомогою платформи myRIO. Акселерометри ADXL355 вимірюють вібрацію з високою роздільною здатністю та дуже низьким рівнем шуму, щоб дозволити раннє виявлення структурних пошкоджень за допомогою

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

бездротових мереж давачів. Також, кожен пристрій myRIO синхронно збирає дані з приєднаних давачів ADXL355 і аналогових входів і надсилає їх на ПК.

Один із myRIO може генерувати кілька типів сигналів, щоб використовувати їх як сигнали збудження: один тон фіксованої частоти, білий шум у межах обмеженої смуги частот або тонову розгортку між двома частотами.

Якщо в систему одночасно включено кілька платформ myRIO, необхідно використовувати механізм синхронізації, щоб забезпечити одночасне отримання даних з усіх акселерометрів. Один із них має бути головним, щоб генерувати сигнал синхронізації, який використовується підлеглими пристроями myRIO для синхронного початку збору даних (Рисунок 1.11).

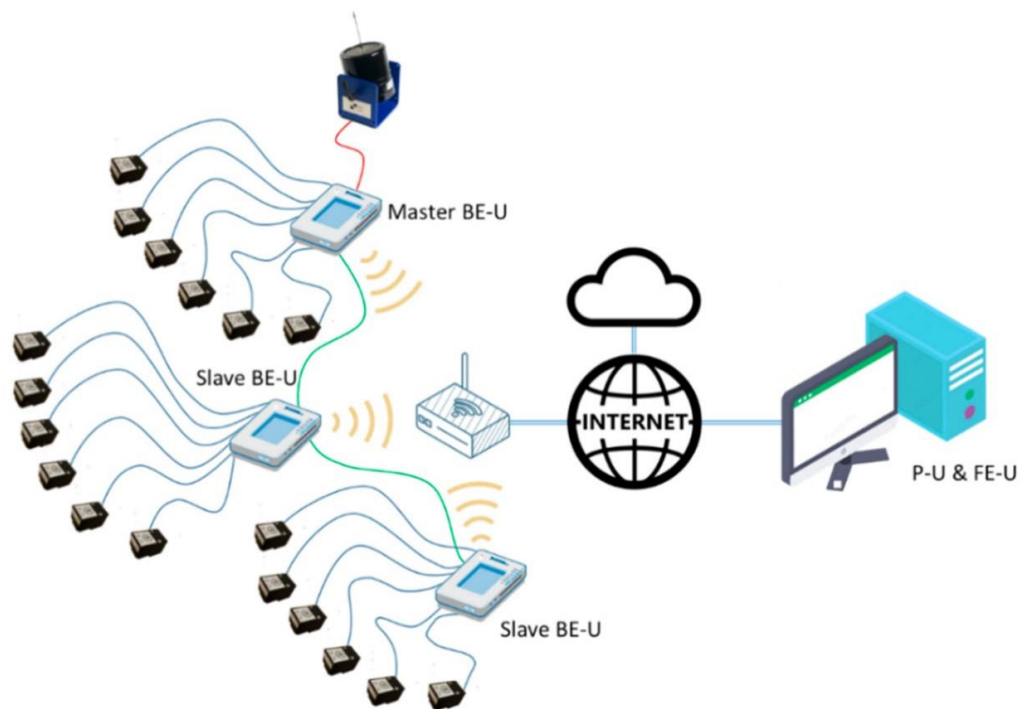


Рисунок 1.11 – Конфігурація розподільної системи [a)10]

Також, на сьогоднішній день, одним із популярних напрямків аналізу та діагностики також є використання штучного інтелекту. Одна з таких реалізацій передбачає використання розумних давачів для постійного збору даних про вібрацію з промислового обладнання. Потім ці дані передаються в центральний хаб, як правило, у надійний одноплатний комп'ютер, як от Raspberry Pi, який обробляє дані

за допомогою алгоритмів ШІ. Моделі штучного інтелекту, які часто базуються на глибокому навчанні, аналізують шаблони вібрації, щоб виявити аномалії та передбачити потенційні збої обладнання до їх виникнення. Цей проактивний підхід до технічного обслуговування, відомий як прогнозне технічне обслуговування, значно скорочує незаплановані простої та витрати на обслуговування, одночасно подовжуючи термін служби обладнання. Наприклад, дослідження підкреслило використання орієнтованих на IoT рішень із розумними давачами для моніторингу вібраційних характеристик промислового обладнання [a)11]. Архітектура системи складалася з трьох рівнів: автономні давачі, центр обробки та серверна платформа. Давачі фіксували дані про прискорення вібрації, які по бездротовому зв'язку передавалися на хаб. Центр використовував алгоритми штучного інтелекту для аналізу даних, а серверна платформа виконувала діагностичні та прогнозні завдання.

### 1.3 Постановка задачі

Виконання даного завдання передбачає реалізацію наступних кроків:

1. здійснити дослідження предметної області IoT-систем;
2. здійснити аналізи відомих програмно-технічних рішень для реалізації;
3. вібраційної діагностики промислового обладнання;
4. визначити вимоги до IoT-системи для вібраційної діагностики промислового обладнання;
5. розробити структуру IoT-системи для вібраційної діагностики промислового обладнання;
6. реалізувати апаратну та програмну складові підсистеми керування;
7. протестувати та перевірити ефективність спроектованого рішення.

### 1.4 Висновок

Інтернет речей став невід'ємною частиною сучасної індустріалізації, забезпечуючи нові можливості для моніторингу, управління та оптимізації

					КВРКІ.190186.19.01.08 ПЗ	Арк. 19
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

виробничих процесів. Основні елементи IoT-систем включають у себе давачі, обробні хаби та серверні платформи, кожен з яких виконує певні специфічні функції для забезпечення правельної та ефективної роботи системи.

Давачі є ключовими компонентами IoT-систем, що відповідають за збір інформації з фізичних об'єктів. У контексті промислового застосування, сесонри вимірюють різні параметри, такі як температура, тиск, вологість і, найчастіше, вібрації. Вібраційні давачі, наприклад акселерометри та п'єзоелектричні давачі, забезпечують точне вимірювання коливань, що є критично важливим для діагностики стану обладнання та попередження його поломок.

Використання вібраційних давачів у IoT-системах дозволяє реалізувати концепцію передиктивного обслуговування, коли несправності обладнання можна передбачити ще до їх виникнення. Це знижує витрати на ремонт і простої, підвищуючи ефективність і надійність виробничих процесів. Крім того, дані, отримані від вібраційних давачів, можуть аналізуватися в режимі реального часу з використанням технологій машинного навчання та штучного інтелекту, що дозволяє швидко реагувати на зміни в умовах експлуатації обладнання та приймати обґрунтовані рішення для оптимізації роботи систем.

Обробні хаби є важливою складовою в системах збору та обробки даних IoT, оскільки вони дозволяють здійснювати первинну обробку даних ще на рівні давачів або на місці їхнього знаходження. Це підвищує ефективність системи, зменшуючи обсяг передаваної інформації і споживання енергії, оскільки лише необхідна інформація передається на вищі рівні обробки. Крім того, обробні хаби можуть виконувати розумні аналітичні операції в реальному часі, що дозволяє виявляти невідповідності або критичні події миттєво і реагувати на них без затримок, що може бути критично в умовах промислового виробництва або інших складних технічних середовищ.

Серверні платформи служать для зберігання та глибокого аналізу зібраних даних. Вони забезпечують централізоване управління, візуалізацію та доступ до даних через веб-інтерфейси або мобільні додатки. Завдяки серверним платформам, інженери та технічний персонал можуть отримувати детальну інформацію про стан

					КВРКІ.190186.19.01.08 ПЗ	Арк. 20
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

обладнання, здійснювати довгостроковий аналіз та планувати технічне обслуговування.

Ці платформи відіграють ключову роль у забезпеченні надійності та ефективності інфраструктури. Вони дозволяють оперативно реагувати на відхилення в роботі обладнання, попереджаючи можливі аварійні ситуації. Крім того, завдяки аналізу накопичених даних, можна виявляти тенденції у споживанні ресурсів, що дозволяє оптимізувати роботу системи та зменшувати витрати. Інтеграція з іншими інформаційними системами дозволяє забезпечити єдність управління інфраструктурою підприємства, що є важливим фактором для його стабільної роботи та розвитку.

Загалом, застосування IoT-систем в індустріальному контексті має безліч переваг. Вони дозволяють проводити постійний моніторинг без участі людини, що підвищує точність, надійність та об'єктивність даних. Це сприяє підвищенню ефективності виробничих процесів, зменшенню витрат на технічне обслуговування та запобіганню різноманітним поломкам та аваріям.

Додатково до цих переваг, застосування IoT-систем в індустріальному середовищі сприяє збору великих обсягів даних, які можуть аналізуватися для отримання цінної інформації щодо ефективності виробничих процесів, споживання ресурсів та управління виробничими потоками. Аналітика на основі цих даних дозволяє підприємствам приймати обґрунтовані рішення щодо оптимізації виробничих процесів, прогнозування технічного стану обладнання та вчасного планування технічного обслуговування. Це сприяє підвищенню конкурентоспроможності підприємства і забезпечує його стійкість на ринку в умовах швидкої технологічної зміни і зростаючих вимог до якості і ефективності виробництва.

Виходячи з цього, можна зрозуміти, що IoT-системи забезпечують всебічний контроль і управління промисловим обладнанням, а це, в свою чергу, веде до значних економічних та операційних переваг у різних галузях промисловості.

					КВРКІ.190186.19.01.08 ПЗ	Арк. 21
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 2 МОДЕЛЮВАННЯ ІОТ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ІНДУСТРІАЛЬНОГО ОБЛАДНАННЯ ТА ВИБІР ЕЛЕМЕНТАРНОЇ БАЗИ

### 2.1 Складання вимог до ІоТ-системи моніторингу промислового обладнання

Відзначаючи вимоги до ІоТ-системи моніторингу, з'являється чітке розуміння того, як ця система повинна функціонувати та які саме задачі їй необхідно буде вирішувати. Створення системи відповідно до цих самих вимог, зможе дозволити забезпечити створення ефективної та надійної системи моніторингу, що підвищує ефективність виробництва, зменшує витрати на технічне обслуговування та забезпечує безпеку промислових процесів. Окрім того, цей опис допомагає у формулюванні потреб користувачів, створенні технічних специфікацій та побудові системи, що відповідає заданим вимогам та очікуванням. Наведені нижче вимоги, загалом будуть охоплювати лише два аспекти – функційні та нефункційні. В контексті ІоТ-системи моніторингу промислового обладнання, функційні вимоги визначатимуть, що система повинна робити для досягнення своїх цілей. Вони охоплюють конкретні функції, завдання і процеси, які система повинна виконувати, такі як збір, передача, обробка та зберігання даних. У той час нефункційні вимоги визначатимуть як система повинна виконувати свої функції, включаючи аспекти, що впливають на якість роботи системи. Вони охоплюють вимоги до продуктивності, безпеки, надійності, масштабованості та підтримки.

Для початку почнемо з функційних вимог до ІоТ-системи моніторингу промислового обладнання. Вони повинні складатися з таких пунктів:

- збір даних – система для моніторингу промислового обладнання повинна забезпечувати точний і безперервний збір даних з різних датчиків. Це включає в себе використання насамперед вібраційних датчиків. Датчики повинні мати високу чутливість та точність, щоб забезпечити надійний моніторинг стану обладнання. Наприклад, сенсори мають бути здатними виявляти навіть незначні відхилення від

					КВРКІ.190186.19.01.08 ПЗ	Арк. 22
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

нормальних умов роботи, що може свідчити про початок зносу чи несправності обладнання;

– передача даних – для ефективного функціонування IoT-система повинна забезпечувати надійну передачу даних від давачів до обробного хабу. Важливо, щоб система підтримувала різні протоколи бездротового зв'язку, такі як Wi-Fi, Bluetooth, або LoRaWAN. Це дозволить гнучко підходити до вибору технологій зв'язку, враховуючи усі специфічні вимоги промислового середовища. Передача самих даних повинна здійснюватися в режимі реального часу, задля того, щоб забезпечити оперативний відгук на будь-які зміни в стані приладів;

– обробка даних – на етапі обробки даних система повинна виконувати первинну обробку на самому місці збору інформації, що допоможе зменшити обсяг даних, які передаються до центральної серверної платформи. Цей момент включає у себе фільтрацію, агрегацію та аналіз даних. Первинна обробка дозволить виявляти різні аномалії та критичні події в режимі реального часу, що стане необхідною причиною для негайного реагування. Обробний хаб повинен бути достатньо потужним, щоб виконувати ці завдання швидко і ефективно;

– зберігання та візуалізація даних – центральна серверна платформа відіграє досить важливу роль у довгостроковому зберіганні даних, їх аналізі та візуалізації. Така платформа повинна забезпечувати зручний доступ до своїх даних через зручний веб-інтерфейс або мобільний додаток, дозволяючи користувачеві, отримувати важливу і необхідну інформацію в будь-який момент часу. Важливо, щоб платформа могла підтримувати різні форми візуалізації даних, такі як графіки, діаграми та звіти, що допоможе краще зрозуміти стан обладнання і вчасно приймати обґрунтовані рішення;

– інтеграція з іншими системами – для повноцінного функціонування IoT-система повинна мати можливість інтеграції з іншими системами управління виробництвом, такими як, наприклад, SCADA, ERP та CMMS. Це забезпечить централізоване управління всіма аспектами виробничого процесу та дозволить отримувати комплексні дані про обладнання та виробничу ефективність процесів.

Також інтеграція з іншими системами дозволить спростити обмін даними та забезпечить один підхід до управління цілим виробництвом.

А тепер зачепимо, нефункційні вимоги до IoT-систем. Для моніторингу дороговартісного індустріального обладнання необхідно враховувати аспекти, такі як надійність, безпеку даних, швидкодію, масштабованість, сумісність з різноманітними протоколами зв'язку, простота в управлінні і підтримці, а також витрати на енергію та сумісність з виробничим середовищем. Сюди насамперед відносяться:

- надійність системи – означає її можливість працювати без відмов у будь-який момент дня чи ночі, в умовах, де відказ може мати серйозні наслідки. Вона вимагає від системи механізмів відновлення, резервного копіювання та правильного управління помилками;

- безпека даних – є критичною з точки зору захисту від несанкціонованого доступу, забезпечуючи тим самим конфіденційність, цілісність та доступність інформації. Це включає використання новітніх методів шифрування, аутентифікації і безпечного збереження даних;

- швидкодія – передбачає мінімізацію затримок у виконанні операцій зі збору, передачі, обробки та зберігання даних. Це є необхідним для вчасного реагування на якісь зміни з обладнанням;

- масштабованість – передбачає можливість системи ефективно та безперебойно працювати при зростанні обсягів даних і кількості підключених пристроїв;

- сумісність з різними протоколами зв'язку – дозволяє системі зливатися з різними пристроями і мережами, що, в свою чергу, спрощує розгортання і розширення функціональності;

- легкість управління і підтримки – забезпечується зрозумілим і ефективним інтерфейсом користувача для адміністраторів системи, що також дає змогу моніторити стан системи і вчасно реагувати на проблеми;

					КВРКІ.190186.19.01.08 ПЗ	Арк. 24
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

– витрати на енергію важливі для довгострокової роботи батарейних давачів. Це забезпечуватиме їх ефективне використання і підтримку тривалості служби;

– сумісність з виробничим середовищем вимагає від системи витримки до екстремальних температур, вологості, вібрацій та інших фізичних впливів, що характерні для промислових умов.

Дотримання зазначених функціональних і нефункційних вимог дозволить створити розумну й інтегровану систему моніторингу, що працює в режимі реального часу. Це забезпечить оптимальні умови для комфорту, ефективне використання ресурсів, а також гарантуватиме безпеку та зручність.

## 2.2 Обмін інформацією в середовищі Інтернету речей

Обмін інформацією в середовищі IoT відіграє одну з ключових ролей у забезпеченні правильного функціонування систем. IoT передбачає взаємодію між комп'ютерними та апаратними забезпеченнями, зв'язок давачів і систем через інтернет або інші мережі передачі даних. Ключовими аспектами обміну інформацією в цьому середовищі є збір даних, їх передача, обробка та використання для прийняття рішень [а)12].

Загалом, передача інформації між декількома пристроями можна охарактеризувати за допомогою декількох етапів. На першому етапі інформація, яка надсилається з пристрою, повинна бути представлена в об'єктах даних, що представляють їх семантику. На наступному етапі ці об'єкти даних перетворюються в форму, яка може бути передана через вибраний канал зв'язку. Цей процес включає кодування даних для забезпечення сумісності з протоколом передачі, що використовується. Далі дані передаються через мережу, використовуючи фізичні та логічні канали зв'язку. Під час передачі дані можуть бути розбиті на пакети, які передаються окремо та можуть проходити через кілька проміжних вузлів. На приймальному кінці дані збираються та декодуються, щоб відновити оригінальні об'єкти даних. Нарешті, ці об'єкти даних передаються на

					КВРКІ.190186.19.01.08 ПЗ	Арк. 25
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

приймаючий пристрій, де вони можуть бути інтерпретовані та використані для подальших дій або обробки. Для забезпечення надійності передачі можуть бути застосовані різні методи корекції помилок та перевірки цілісності даних, такі як контрольні суми, CRC, та інші алгоритми [a)13].

Кінцевим моментом є відсилання інформації через відповідне середовище зв'язку. Тут надається інформація про різні середовища зв'язку, які використовуються в Інтернеті речей, а також про можливості серіалізації даних.

Серіалізація – це та річ, яку потрібно найперше зробити з даними перш ніж їх можна буде відсилати між пристроями [a)14]. Загалом, це процес перетворення структурованих даних, таких як об'єкти програми або структури даних, у формат, що може бути зручно передано або збережено. Для Інтернету речей існує декілька таких типів:

– `protobuf` – це потужний механізм серіалізації структурованих даних, розроблений компанією Google. Він призначений для ефективного обміну даними між різними системами, включаючи IoT пристрої з обмеженими ресурсами. Він використовує бінарний формат для серіалізації даних. Це означає, що дані зберігаються в компактному бінарному представленні, що зменшує обсяг даних, необхідний для передачі, та полегшує швидкість обробки. Інарний формат `Protocol Buffers` дозволяє швидко серіалізувати та десеріалізувати дані. Це особливо важливо для IoT пристроїв з обмеженими обчислювальними ресурсами та/або мережевою пропускнуою здатністю [a)15].

– XML (`eXtensible Markup Language`) – є розширюваною мовою, що дозволяє визначати власні теги та структуру даних за допомогою XML-схем (`XSD`) або `Document Type Definitions (DTD)`. Він підтримує різні стандарти кодування тексту, такі як UTF-8 та UTF-16, що дозволяє обмінюватися даними між системами, що використовують різні мови та алфавіти. Також за допомогою XML-схем (`XSD`) або `DTD` можна визначити правила валідації для документів XML, що дозволяє перевіряти їх на відповідність заданій структурі та типам даних [a)16].

– JSON (`JavaScript Object Notation`) підтримує прості типи даних, такі як рядки, числа, булеві значення, масиви та об'єкти. Це дозволяє представляти

різноманітні дані, включаючи структуровані дані з давачів і контрольних пристроїв IoT. Але цей спосіб також має і вагомні мінуси. При обробці великої кількості даних JSON може мати високу обчислювальну накладну, особливо на вбудованих пристроях з обмеженими ресурсами. Також JSON, порівняно з бінарними форматами, такими як Protocol Buffers або MessagePack, може використовувати більше мережесих ресурсів та займати більший об'єм пам'яті [a)17].

– CBOR представляє з себе компактний бінарний формат серіалізації даних, який призначений для ефективного обміну даними між різними пристроями і платформами. Він створений для мінімізації розміру даних у бінарному представленні, але саме через цей бінарний формат, CBOR може бути складним для відладки та перегляду вручну, що ускладнює аналіз даних в режимі реального часу без відповідних інструментів [a)18].

Вище вже було згадано про процес передачі даних у мережах і те, що транспортний рівень відповідає за керування цим процесом. Саме цей конкретний рівень мережі забезпечує, коректне передання даних між кінцевими точками, де це може бути досягнуто за допомогою різних протоколів, таких як TCP і UDP [a)19]. Сам вибір між цими протоколами залежить від поставленої задачі. До прикладу, TCP гарантує надійну доставку даних. Він використовує механізми підтвердження доставки, повторної передачі в разі втрати, контролю потоку та контролю помилок для забезпечення того, що дані будуть доставлені без помилок і в правильному порядку. З іншого боку, UDP не гарантує надійну доставку даних. Він не має механізмів для підтвердження доставки або повторної передачі в разі втрати пакетів. Також TCP гарантує, що дані будуть доставлені в тому порядку, в якому вони були відправлені. Це досягається за рахунок нумерації пакетів і очікування підтвердження їх прийняття. UDP ж не гарантує порядок доставки пакетів (він забезпечує набагато простіші способи передачі інформації – дані надсилаються у вигляді дейтаграм). Призначенням пакетів може відбуватися в будь-якому порядку, навіть якщо вони були відправлені у певному порядку.

Заголовок TCP має фіксований розмір 20 байт, а також може включати додаткові опціональні поля, які можуть збільшити загальний розмір заголовка до

					КВРКІ.190186.19.01.08 ПЗ	Арк. 27
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Продовження таблиці 2. 1 – Різниця протоколів UDP та TCP

	Характеристика	UDP	TCP
4	Порядок доставки	Не гарантується.	Гарантується. Дані будуть доставлені в правильному порядку завдяки номерації пакетів.
5	Затримки	Нижчі.	Вищі.
6	Використання	Часто використовується для реального часу і додатків, де швидкість передачі даних важлива, але деякі втрати даних є прийнятними	Широко використовується в додатках, де важлива надійність і точність передачі даних, таких як веб-сайти, FTP, електронна пошта, передача файлів тощо.
7	Розмір заголовка	Фіксований, 8 байт.	Від 20 до 60 байт, в залежності від наявності додаткових опцій.

Протоколи які відповідають за прикладній рівень в комп'ютерних мережах використовуються для організації обміну даними між програмами та пристроями, які працюють в мережі. Організація комунікації відбувається за допомогою декількох підходів – івент-орієнтованого Publish/Subscribe, пристрої взаємодіють асинхронно. Один або більше відправників (видавці) публікують повідомлення (події) в тему або канал, і інші пристрої (підписники), які цікавляться цими подіями, підписуються на цю тему. Коли відбувається подія, всі підписані пристрої отримують повідомлення; а також моделі клієнт/сервер, де клієнт (ініціатор) звертається до сервера (провайдера послуг) з запитом, і сервер надає відповідь. Це синхронний процес, де клієнт очікує на відповідь від сервера.

У системах IoT, де пристрої мають обмежені ресурси (наприклад, обсяг пам'яті, обчислювальну потужність, енергетичні ресурси), часто використовуються спеціалізовані протоколи додатків, Такі як LwM2M, MQTT, CoAP, HTTP.

LwM2M (Lightweight Machine-to-Machine) [a)22] є протоколом комунікації, який розроблений спеціально для мереж Інтернету речей (IoT) з метою управління пристроями та збору даних з обмеженими ресурсами. Протокол LwM2M базується на архітектурі клієнт-сервер, де IoT пристрої (клієнти) здійснюють взаємодію зі спеціальними серверами (LwM2M серверами). Ці сервери відповідають за управління, конфігурацію, моніторинг та збір даних з пристроїв. Протоколи і стек: LwM2M використовує власні протоколи для комунікації:

- CoAP (Constrained Application Protocol) [a)23] для передачі даних між клієнтами та серверами.
- DTLS (Datagram Transport Layer Security) [a)24] для забезпечення безпеки комунікацій.
- SenML (Sensor Measurement Lists) [a)25] для структуризації та передачі даних вимірювань.

MQTT (Message Queuing Telemetry Transport) [a)26] є легким протоколом комунікації, який був спеціально розроблений для передачі даних у мережах з обмеженими ресурсами, таких як IoT. Він працює за принципом публікація-підписка (publish-subscribe), що робить його особливо підходящим для використання в IoT. Це означає, що пристрої публікують повідомлення в теми (topics), а інші пристрої можуть підписатися на ці теми для отримання повідомлень. MQTT [a)27] працює поверх TCP/IP, що забезпечує надійне з'єднання і доставку повідомлень. Також може використовуватися з TLS/SSL [a)28] для захищеної комунікації. Принцип публікація-підписка в MQTT передбачає використання брокера, який відповідає за розповсюдження повідомлень між клієнтами. Клієнти можуть бути як видавцями (publishers), так і підписниками (subscribers). Видавець відправляє повідомлення до певної теми, а підписники отримують ці повідомлення, підписавшись на відповідну тему. Це забезпечує високий рівень гнучкості та масштабованості, дозволяючи легко додавати нові пристрої та теми без

необхідності змінювати існуючу інфраструктуру. Однією з переваг MQTT є його здатність працювати в умовах обмеженого пропускового каналу, що дозволяє використовувати його в середовищах з низькою пропусковою здатністю або високою латентністю. Це робить його відмінним вибором для застосувань, де важлива економія ресурсів, наприклад, у сільському господарстві, де давачі можуть бути розташовані у віддалених місцях і передавати дані через мобільні мережі або супутниковий зв'язок.

CoAP (Constrained Application Protocol) є протоколом призначеним для мереж Internet of Things (IoT), який спеціально розроблений для пристроїв з обмеженими ресурсами, таких як сенсори і малий IoT обладнання. Його головна мета - забезпечити ефективну комунікацію в умовах обмежених мережевих ресурсів, таких як обсяг пам'яті, ширина каналу та енергоспоживання. CoAP базується на принципах веб-архітектури і використовує модель клієнт-сервер для взаємодії. Клієнти CoAP ініціюють запити до серверів, які відповідають на ці запити. Це подібно до HTTP, але з урахуванням особливостей IoT. Наприклад, CoAP використовує UDP як транспортний протокол за замовчуванням з можливістю використання TCP для надійної доставки, що робить його особливо підходящим для розумних об'єктів, які можуть працювати в різних умовах мережі. Протокол використовує простий формат запитів і відповідей, що дозволяє ефективно використовувати обмежені ресурси. Кожен запит або відповідь може містити метод (GET, POST, PUT, DELETE), URI, варіанти взаємодії (наприклад, негайна відповідь), коди відповіді і дані.

HTTP (Hypertext Transfer Protocol) [a]29] є фундаментальним протоколом для передачі даних в Інтернеті. Його основна функція полягає в тому, щоб забезпечити зв'язок між веб-клієнтами (наприклад, веб-браузерами) і веб-серверами, тобто працює по моделі клієнт-сервер. HTTP працює за принципом запит-відповідь: клієнт надсилає запит до сервера, який, у свою чергу, надсилає відповідь з необхідними даними або повідомленням про помилку. Основною характеристикою HTTP є його безстанний характер. Це означає, що кожен запит від клієнта до сервера розглядається незалежно від попередніх запитів; сервер не зберігає ніякої

					КВРКІ.190186.19.01.08 ПЗ	Арк. 31
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

інформації про попередні взаємодії з клієнтом. Це спрощує обробку запитів, але вимагає від клієнта або сервера додаткових зусиль для збереження контексту або стану, коли це необхідно, наприклад, при роботі з сесіями користувачів.

Розширення HTTP, такі як HTTPS (HTTP Secure), додають рівень безпеки шляхом шифрування переданих даних за допомогою протоколів SSL/TLS. Це дозволяє захистити дані від перехоплення і маніпуляцій, що особливо важливо для веб-сайтів, які обробляють конфіденційну інформацію, таку як особисті дані користувачів, платіжна інформація тощо. Використання HTTPS стає стандартом для більшості веб-сайтів, що сприяє підвищенню загального рівня безпеки в Інтернеті.

HTTP/2, наступна версія протоколу, приносить значні покращення у продуктивності і ефективності передачі даних. HTTP/2 підтримує мультиплексування запитів, що дозволяє одночасно надсилати декілька запитів через одне з'єднання, зменшуючи затримки і збільшуючи швидкість завантаження веб-сторінок. Крім того, HTTP/2 використовує стиснення заголовків, що знижує обсяг передаваних даних і додатково покращує продуктивність.

### 2.3 Структура IoT-системи для вібраційної діагностики промислового обладнання

Для цього пункту розглянемо систему вібраційної діагностики для моніторингу стану електромоторів на промисловому підприємстві. Основною метою цієї системи є постійний моніторинг вібрацій, виявлення аномалій і попередження про можливі збої або необхідність технічного обслуговування. Це дозволяє оперативно реагувати на потенційні проблеми, зменшуючи ризик аварій та витрат на непланові ремонти, а також оптимізує планування технічного обслуговування для підтримання ефективної роботи виробничих процесів. Інтеграція з централізованою серверною платформою дозволяє збирати дані в реальному часі, а також проводити детальний аналіз для прогнозування потреб у

					КВРКІ.190186.19.01.08 ПЗ	Арк. 32
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

технічному обслуговуванні та запобігання витратам, пов'язаним з непередбаченими зупинками обладнання.

Розгляньмо детальну структуру системи, включаючи всі компоненти та їх взаємозв'язки (Рисунок 2.1).

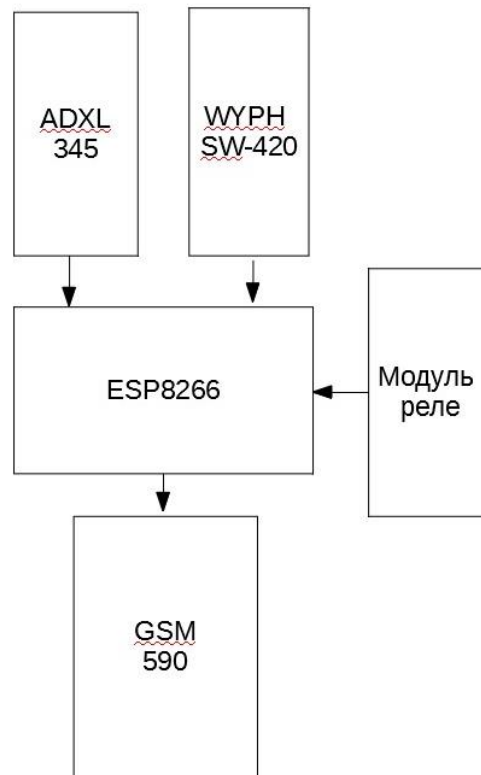


Рисунок 2.1 – Структурна схема мікроконтролерної системи

Така система буде складатися з таких компонентів:

- Акселерометри встановлені на корпусі промислового обладнання, такого як електромотори, для вимірювання вібраційних сигналів. Вони фіксують прискорення в трьох осях: X, Y, Z, що дозволяє отримати повну картину вібраційного стану об'єкта.
- Мікроконтролер ESP8266: виконує обробку даних з акселерометрів та на основі отриманих даних приймає рішення щодо активації сповіщення [a)30].
- Модуль комунікації: забезпечує передачу сповіщень про пожежу на мобільні пристрої користувачів через GSM мережу або Wi-Fi [a)31].

– Модуль реле: відповідає за активацію сирени або вимикачів, які можуть включати систему пожежного оповіщення або вимикати прилад.

Готову функціональну схему мікроконтролерної системи можна побачити на рисунку 2.2.

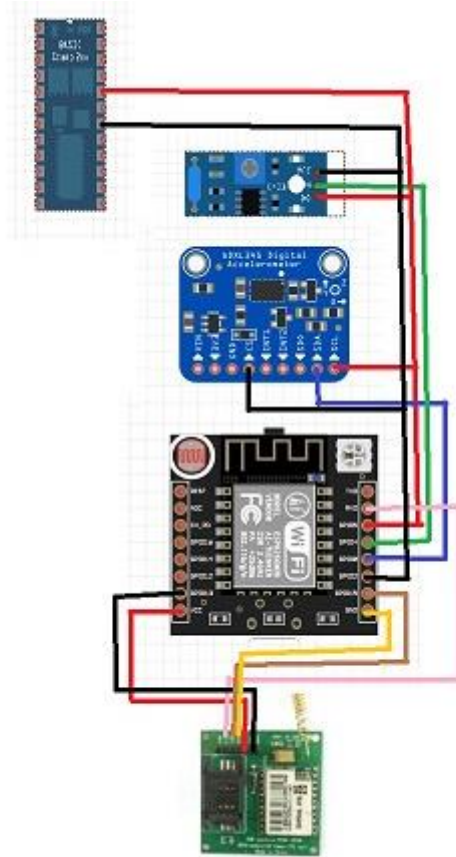


Рисунок 2.2 — Функціональна схема мікроконтролерної системи

Мікроконтролерна система для вібраційної діагностики обладнання на базі ESP8266 складається з декількох основних компонентів, які спільно працюють для виявлення потенційних ознак несправностей у промисловому обладнанні і своєчасного сповіщення про них. Основні компоненти системи включають в себе мікроконтролер ESP8266, різні датчики вібрації для моніторингу стану обладнання, модульне реле для управління зовнішніми пристроями та модуль GSM для відправлення сповіщень [а)32].

ESP8266 – це головний елемент системи, який збирає інформацію з датчиків, обробляє їх і виконує необхідні дії, наприклад, такі як сповіщення через GSM модуль або активація реле [а)33-35].

ADXL345 вимірює прискорення по трьох осях: X, Y і Z. Це дозволяє забезпечити повну інформацію про напрямок та величину прискорення об'єкта або системи. При виявленні певних «аномалій», він передає сигнал на мікроконтролер.

Модуль GSM M590 призначений для надсилання повідомлень на мобільний телефон в разі виникнення пожежі.

## 2.4 Функціональне призначення основних модулів системи

Для створення мікроконтролерної системи було використано такі елементи:

– ESP8266 – це мікроконтролер із вбудованим модулем Wi-Fi, розроблений компанією Espressif Systems. Основні функціональні можливості ESP8266 включають у себе підтримку Wi-Fi (контролер володіє вбудованим Wi-Fi модулем, що дозволяє йому підключатися до бездротових мереж і взаємодіяти з Інтернетом), вбудований процесор ESP8266 забезпечує можливість програмування для виконання різноманітних завдань, від управління сенсорами до обробки даних.

Включаючи GPIO (загального призначення входи-виходи), SPI (Serial Peripheral Interface), I2C (Inter-Integrated Circuit), UART (Universal Asynchronous Receiver-Transmitter) і інші, ESP8266 легко інтегрується з різними пристроями і сенсорами.

– Датчик ADXL345 є трьохосібним цифровим акселерометром, призначеним для точного вимірювання прискорення по осях X, Y і Z. Він має високу чутливість і роздільну здатність до 13 біт, що забезпечує точне вимірювання великих і малих значень прискорення. ADXL345 підтримує різні цифрові інтерфейси, такі як I2C і SPI, що робить його легким у використанні з різними мікроконтролерами та іншими електронними пристроями. Цей датчик ідеально підходить для застосувань, де важлива висока точність і ефективність вимірювання прискорення, таких як в

					КВРКІ.190186.19.01.08 ПЗ	Арк. 35
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

мобільних пристроях, VR системах, моніторингу активності і вібраційному аналізі [а)36-39].

– WYRN SW-420 є типом вібраційного давача, розробленим для виявлення і реагування на рухи та вібрації. У моніторингових системах цей давач може використовуватися для контролю за станом обладнання чи структур, що піддаються вібраціям. Він допомагає виявляти аномальні зміни у рівнях вібрацій, що може свідчити про потенційні проблеми чи несправності у виробничому обладнанні або інфраструктурі [а)40-44].

– Модульне реле використовується для керування вимиканням або увімкненням електричних схем, пристроїв або обладнання з великими електричними навантаженнями. Воно дозволяє регулювати потік електричного струму, що проходить через схему, в залежності від вхідного сигналу. Воно забезпечує електричну ізоляцію між керуючим сигналом і великим електричним навантаженням, що забезпечує безпеку в електричних схемах.

– Модуль GSM M590 є важливим компонентом для реалізації мобільного зв'язку в електронних пристроях і системах. Він забезпечує можливість взаємодії з мережею мобільного зв'язку GSM, що включає надсилання та приймання SMS-повідомлень, здійснення голосових викликів і передачу даних через GPRS. Цей модуль може бути використаний для створення систем сповіщення, моніторингу, управління віддаленими пристроями та інших IoT-застосувань, де необхідний дистанційний доступ і комунікація через мобільну мережу. Його інтеграція здійснюється за допомогою UART інтерфейсу, що спрощує процес взаємодії з мікроконтролерами і програмування. Мікроконтролер керує цим модулем для того, щоб надсилати необхідні повідомлення або сповіщення [а)45-48].

## 2.5 Вибір елементів

При виборі елементарної бази можна зосередитись на таких складових як вибір мікроконтролера, давачів та реле.

					КВРКІ.190186.19.01.08 ПЗ	Арк. 36
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для мікроконтролера був вибраний ESP8266, що зображений на рисунку 2.3 завдяки своїм характеристикам став популярним інструментом для розробки різноманітних IoT-проектів і забезпечує потужні можливості у сфері бездротового зв'язку і вбудованих систем. Він дозволяє реалізовувати різноманітні IoT-проекти, від малих рішень домашнього автоматизації до складних систем моніторингу та керування виробничими процесами. Він підтримує програмування з використанням Arduino IDE та інших популярних середовищ розробки, що робить його досить доступним для багатьох розробників. На рисунку 2.4, зображено призначення виводів NodeMcu. Основні його характеристики включають у себе:

- ESP8266 вбудовує у себе мікропроцесор Tensilica L106 з тактовою частотою до 160 МГц.

- Вбудований 802.11 b/g/n Wi-Fi модуль з підтримкою WPA/WPA2 захисту. Це дозволяє пристроям підключатися до бездротових мереж і здійснювати обмін даними по Wi-Fi.

- ESP8266 підтримує різні інтерфейси зв'язку, включаючи UART, SPI, I2C, ADC, PWM і GPIO, що робить його універсальним для різних застосувань і легко інтегрованим з різними периферійними пристроями.

- Вбудована флеш-пам'ять до 4 МБ для зберігання програмного забезпечення і даних.

- Мікроконтролер працює на низькій потужності, що робить його ідеальним для мобільних і IoT-проектів, де важлива автономна робота від батарейного живлення.

- ESP8266 можна програмувати за допомогою Arduino IDE, MicroPython, Lua і інших платформ, що забезпечує широкі можливості розробки програмного забезпечення.

- Використовується для створення IoT-пристроїв, домашніх автоматизаційних систем, моніторингу, сенсорних мереж, Wi-Fi маяків і багатьох інших проектів, що потребують здатності до бездротового зв'язку і обробки даних.



Рисунок 2.3 – Контролер ESP8266

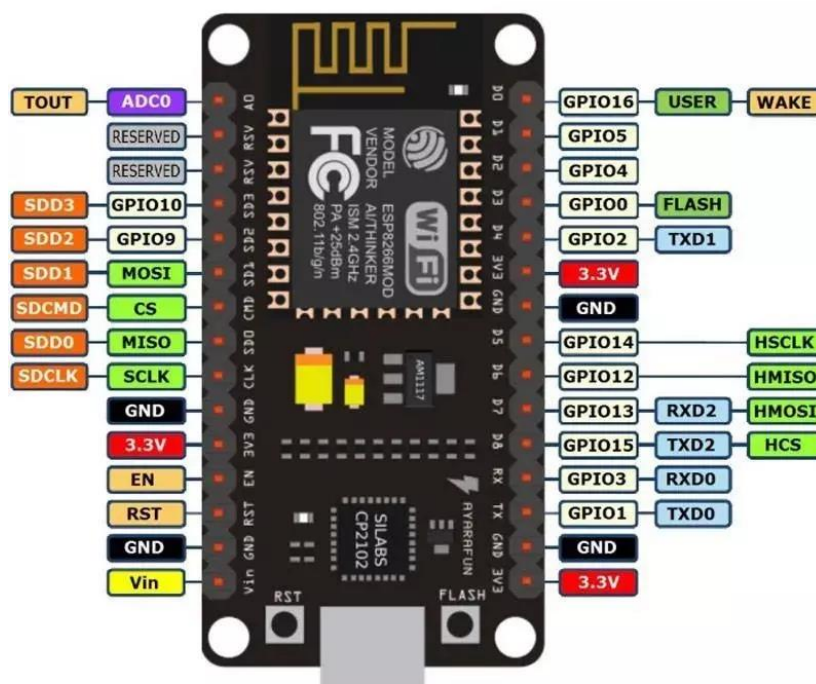


Рисунок 2.4 – Призначення виводів NodeMcu

Давач ADXL345, що зображений на рисунку 2.5, є цифровим трьохосібним акселерометром, розробленим компанією Analog Devices. Його головні характеристики складаються з:

- здатності вимірювати прискорення в трьох взаємно перпендикулярних вимірах по осях X, Y і Z;
- давач підтримує декілька діапазонів вимірювання прискорення:  $\pm 2g$ ,  $\pm 4g$ ,  $\pm 8g$  і  $\pm 16g$ , що дає можливість використовувати його в різних умовах;
- він забезпечує високу роздільну здатність до 13 біт, що дозволяє точно вимірювати і виявляти навіть невеликі зміни у прискоренні;



– Зазвичай підключається за допомогою простого цифрового інтерфейсу, що спрощує його інтеграцію з будь-якими мікроконтролерами або іншими електронними пристроями.

– SW-420 широко використовується в системах безпеки для виявлення вторгнень, моніторингу стану обладнання, вібраційних тестах у промисловості, а також в домашніх проектах для виявлення руху та активації автоматичних систем.

– Давач відзначається високою стійкістю до зовнішніх впливів і шуму, що робить його ефективним інструментом для довготривалого використання в різних умовах.



Рисунок 2.6 – Давач WYRH SW-420

Модуль GSM M590, зображений на рисунку 2.7, є надійним і універсальним рішенням для впровадження мобільного зв'язку в різноманітних електронних проектах і системах, що потребують дистанційного зв'язку і передачі даних через мережу GSM/GPRS. Його основні характеристики складаються з:

– M590 підтримує стандарти GSM (2G) і GPRS (General Packet Radio Service), що дозволяє взаємодіяти з мобільними мережами для передачі голосової і даних, відправлення SMS і доступу до Інтернету.

– Він підтримує різні частотні діапазони для роботи з GSM мережами (зазвичай 850/900/1800/1900 МГц), що робить його сумісним зі стандартами мобільного зв'язку у більшості регіонів світу.

					КВРКІ.190186.19.01.08 ПЗ	Арк. 40
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Взаємодія з мікроконтролерами або іншими пристроями здійснюється через інтерфейс універсальний асинхронного приймача, що спрощує інтеграцію в різноманітні проекти.
  - Можливість надсилати і приймати SMS-повідомлення, а також здійснювати голосові виклики, що робить його корисним для реалізації систем сповіщення, моніторингу або дистанційного керування.
  - Здатність використовувати GPRS для передачі даних через Інтернет, що дозволяє впроваджувати рішення Інтернету речей і моніторингу через мобільний зв'язок.
  - Модуль має економічну споживану потужність, що важливо для мобільних і батарейних пристроїв.
  - Використовується в різних сферах, включаючи автоматизацію, системи моніторингу, безпеки, GPS-трекінгу, домашню автоматизацію і багато інших.
- Загалом, завдяки широким можливостям і простоті використання, цей модуль користується популярністю серед розробників IoT-проектів та пристроїв для дистанційного керування.

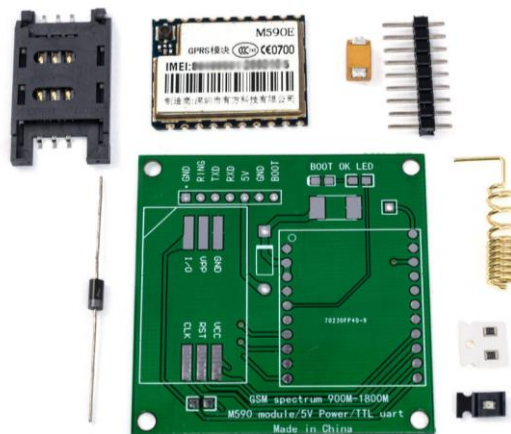


Рисунок 2.7 – Модуль GSM M590

Модуль реле, зокрема і той, що зображений на рисунку 2.8, є електронним компонентом, що дозволяє управляти високовольтними та високострумowymi навантаженнями за допомогою низьковольтних сигналів [а)49-53]. Основне

					КВРКІ.190186.19.01.08 ПЗ	Арк. 41
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

призначення модуля реле полягає в тому, щоб забезпечити безпечне та надійне перемикання електричних ланцюгів. Він служить як посередник між мікроконтролерами або іншими цифровими пристроями керування і високовольтними пристроями, такими як електродвигуни, освітлення або опалювальні системи. Модулі реле також відомі своєю універсальністю та широким спектром застосувань. Вони можуть бути використані для автоматизації процесів в розумних будинках, промислових системах контролю, системах безпеки та багатьох інших галузях. Наприклад, у розумному будинку реле може використовуватися для автоматичного включення або вимкнення освітлення, керування побутовою технікою, контролю систем опалення та кондиціонування. У промисловості реле можуть використовуватися для керування виробничими процесами, включенням або вимкненням машин та обладнання, моніторингу стану систем та забезпечення їхньої безпеки. Основні характеристики такого модуля, це:

- Більшість модулів реле працюють при низькій напрузі керування, зазвичай 3.3V або 5V, що робить їх сумісними з багатьма мікроконтролерами та іншими низьковольтними пристроями.
- Модулі реле можуть керувати високовольтними навантаженнями, наприклад, 220V AC або 30V DC, з максимальним струмом до 10A або більше, залежно від конкретної моделі реле.
- Підключення до мікроконтролера або іншого керуючого пристрою здійснюється через цифрові входи, які активують реле при подачі сигналу низької напруги.
- Оптична ізоляція забезпечує електричну ізоляцію між низьковольтними керуючими сигналами та високовольтними комутованими навантаженнями, підвищуючи безпеку та надійність системи.
- Реле може бути одно- або багатоканальним, що дозволяє керувати декількома навантаженнями одночасно. Одноканальні реле використовуються для простих задач, тоді як багатоканальні підходять для складніших систем автоматизації.

					КВРКІ.190186.19.01.08 ПЗ	Арк. 42
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

– Багато модулів реле оснащені світлодіодними індикаторами, які показують стан кожного реле (включене чи вимкнене), що полегшує діагностику та налагодження.

– Використовуються в системах автоматизації, розумних будинках, промисловому обладнанні, а також для керування освітленням, електроприладами, моторами та іншими пристроями з великим електричним навантаженням.

Такі характеристики роблять модулі реле незамінними в багатьох проектах, де необхідне надійне та безпечне керування високовольтними і високострумowymi навантаженнями.

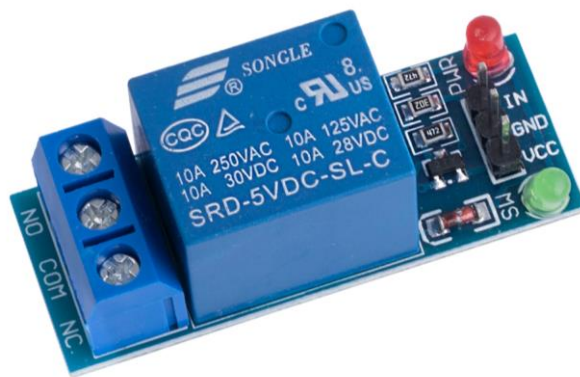


Рисунок 2.8 – Приклад модуля реле

Програмна частина у проєктованій системі керування буде створюватися у середовищі створення сценаріїв Node red [a)54-57]. Node-RED – це візуальне середовище для розробки програмного забезпечення, яке було створене для полегшення створення систем IoT. Вона дозволяє легко з'єднувати різні апаратні та програмні компоненти за допомогою зручного інтерфейсу. Вона використовує підхід візуального програмування, даючи можливість створювати програми шляхом поєднання блоків або ж так званних «вузлів» на графічному інтерфейсі. Це робить процес розробки нативно зрозумілим і доступним навіть для тих, хто майже не має навичок програмування. Вузли представляють з себе функціональні блоки, які здатні виконувати різноманітні завдання, такі як зчитування даних з сенсорів, обробка цих даних, відправка повідомлень або взаємодія з іншими сервісами.

Платформа Node-RED підтримує велику кількість різних вузлів для інтеграції з різноманітними сервісами, протоколами а також пристроями. Сюди входить робота з API, базами даних, хмарними сервісами, протоколами передачі даних, наприклад, MQTT [a)58-60], HTTP, WebSockets, а також різними апаратними платформами, такими як Raspberry Pi та Arduino. Така масштабованість дозволяє використовувати Node-RED в різних проектах, від простих домашніх автоматизаційних систем до складних промислових IoT-рішень.

Для створення схеми з'єднання компонентів системи буде використовуватися середовище Fritzing. Це інструмент для створення схем і друкованих плат, призначений для розробників, інженерів а також ентузіастів електроніки. Він дозволяє дсить швидко і легко проектувати електронні схеми та створювати друковані плати. Однією з основних особливостей Fritzing є його інтуїтивно зрозумілий графічний інтерфейс, який дозволяє користувачам перетягувати компоненти на робоче поле і з'єднувати їх дротами, як у реальному житті. Це робить процес розробки схеми максимально простим і зрозумілим навіть для новачків.

## 2.6 Висновки

Розглянувши вищеперераховані теми, можна дійти висновку, що створення ефективної IoT-системи для моніторингу промислового обладнання вимагає комплексного підходу, що включає чітке визначення вимог, належну організацію обміну даними, продуману структуру системи, розуміння функціонального призначення її модулів і ретельний вибір відповідних компонентів. Лише так можна забезпечити надійність, точність і ефективність роботи такої системи в промислових умовах.

Вибрані компоненти задовольняють вимоги до ефективності, надійності та швидкодії системи. Вибір здійснювався з урахуванням їх технічних характеристик, можливостей та здатності до інтеграції в загальну систему. Крім того, особливу

					КВРКІ.190186.19.01.08 ПЗ	Арк.
						44
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

увагу було приділено економічній ефективності, що дозволило створити вигідну систему без шкоди для її функціональних можливостей.

Застосування мікроконтролерів, таких як ESP8266, з їхніми вбудованими можливостями Wi-Fi, дозволяє забезпечити бездротове підключення до мережі Інтернет і передачу даних в реальному часі. Вони також забезпечують підтримку різних протоколів зв'язку, що важливо для інтеграції з існуючими інформаційними системами підприємства.

Проведений аналіз і обґрунтований вибір компонентів забезпечать надійну основу для подальшої розробки IoT-системи моніторингу індустріального обладнання. Важливим аспектом є також можливість масштабування системи, що дозволить легко додавати нові функції або розширювати її в разі потреби. Використання стандартних протоколів зв'язку, таких як MQTT, сприяє стабільній роботі системи в умовах великих обсягів даних і забезпечує безперебійний обмін інформацією між різними елементами системи.

Таким чином, комплексний підхід до проектування і розробки IoT-системи для моніторингу промислового обладнання, враховуючи всі вищезазначені фактори, дозволить створити надійну, точну та ефективну систему, яка відповідатиме вимогам сучасних промислових стандартів і сприятиме підвищенню продуктивності та безпеки на підприємствах. На завершення, варто додати, що створення ефективної IoT-системи моніторингу промислового обладнання є складним, але дуже важливим завданням, яке вимагає всебічного підходу. Успішна реалізація такої системи дозволяє значно підвищити ефективність і безпеку виробничих процесів, зменшити витрати на обслуговування обладнання та забезпечити високу якість продукції. Інтеграція сучасних технологій, таких як IoT, у виробничі процеси відкриває нові можливості для розвитку промислових підприємств і підвищення їх конкурентоспроможності на ринку.

					КВРКІ.190186.19.01.08 ПЗ	Арк. 45
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

### 3 ПРОГРАМНО-АПАРАТНА РЕАЛІЗАЦІЯ ІОТ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ІНДУСТРІАЛЬНОГО ОБЛАДНАННЯ.

3.1 Опис реалізації модулів апаратного та програмного забезпечення програмно-технічного засобу

Апаратна реалізація клієнтської частини ІоТ система моніторингу індустриального обладнання включала в себе розробку функціональної та макетної схем. Під час проектування функціональної схеми визначалися основні компоненти та їх взаємозв'язки для забезпечення вимог щодо збору даних від сенсорів, їх обробки та передачі через бездротові канали зв'язку. Кожен елемент системи, від сенсорів до мікроконтролерів чи інших обчислювальних пристроїв, обирався з урахуванням вимог до надійності, швидкодії та енергоефективності.

Макетна схема включала в себе фізичне розташування компонентів на платі, що дозволяло перевірити їх взаємодію в реальних умовах та виявити потенційні проблеми до виготовлення прототипу. Важливою частиною цього етапу було визначення оптимального розташування елементів для забезпечення максимального покриття зони моніторингу бездротового зв'язку.

#### 3.1.1 Розроблення функціональної схеми мікроконтролерної системи

Створення функціональної схеми мікроконтролерної системи є важливим етапом у розробці будь-якого електронного проекту. Цей процес включає кілька кроків, починаючи з визначення вимог до системи і закінчуючи створенням детальної схеми, яка описує взаємодію всіх компонентів. Основні етапи, що необхідно виконати для створення функціональної схеми:

– Після визначення вимог необхідно вибрати відповідні компоненти для системи. Це включає вибір мікроконтролера, сенсорів, модулів зв'язку, виконавчих пристроїв та інших необхідних компонентів. Важливо враховувати сумісність компонентів між собою та їх відповідність вимогам системи.

					КВРКІ.190186.19.01.08 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

– Розробка схеми з'єднань. На цьому етапі створюється схема з'єднань між компонентами системи. Це включає в себе визначення, які пінні мікроконтролера будуть підключені до яких компонентів. Важливо правильно підключити живлення (VCC і GND), а також сигнальні лінії (наприклад, I2C, SPI, UART).

– Створення принципової електричної схеми. Принципова електрична схема показує всі електричні з'єднання між компонентами системи. Ця схема включає в себе всі резистори, конденсатори, діоди, транзистори і інші електронні компоненти, які необхідні для правильної роботи системи.

Функціональна схема IoT система моніторингу індустріального обладнання може бути складеною з таких основних компонентів:

– два акселерометри – ці датчики відповідають за виявлення і реагування на рухи та вібрації;

– мікроконтролер ESP8266 – головний контролер, який відповідає за обробку отриманих даних від сенсорів, також відповідальний за прийняття рішень та керування іншими компонентами системи;

– модуль GSM M590 – відповідає за передачу сповіщень на мобільні пристрої користувачів через мобільну мережу;

– модуль реле – використовується для керування активними елементами системи, такими як сигнальні лампи чи;

– індикатори стану і світлодіоди – це допоміжні компоненти, які використовуються для того, аби вказувати на поточний стан системи або інформують про виявлену загрозу.

Підключення елементів відбувалось таким чином:

а) Для підключення модульного реле до мікроконтролера ESP8266 необхідно:

– VCC (Живлення реле): підключити до 3.3V або 5V ESP8266, залежно від специфікацій вашого модульного реле. Зазвичай модулі реле працюють від 5V, тому можливо, знадобиться зовнішнє живлення.

					КВРКІ.190186.19.01.08 ПЗ	Арк. 47
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- GND (Заземлення): Підключити його до одного з роз'ємів GND на ESP8266.
- IN (Сигнальний вхід реле): Необхідно підключитись до одного з GPIO-пінів ESP8266, який буде використовуватися для управління реле. Наприклад, можна використовувати GPIO0, GPIO2, або інший доступний пін.

б) Для підключення акселерометра ADXL345 до мікроконтролера ESP8266 знадобиться виконати наступні кроки:

- Живлення (VCC і GND): Треба підключити пін VCC акселерометра ADXL345 до відповідного джерела живлення. ADXL345 працює від напруги 3.3V до 5V, тому його можна безпечно живити від 3.3V ESP8266. Далі необхідно підключити пін GND акселерометра ADXL345 до заземлення (GND) ESP8266.
- Інтерфейс зв'язку (I2C): ADXL345 використовує інтерфейс зв'язку I2C для передачі даних. ESP8266 також підтримує цей інтерфейс. Підключаємо пін SDA (даних) акселерометра ADXL345 до GPIO-піна ESP8266, наприклад, GPIO4 (D2 на платі NodeMCU). З'єднуємо пін SCL (години) акселерометра ADXL345 до іншого GPIO-піна ESP8266, наприклад, GPIO5 (D1 на платі NodeMCU).

с) Для підключення модуля GSM M590 до мікроконтролера ESP8266 знадобиться виконати наступні кроки:

- Живлення (VCC і GND): Підключаємо пін VCC модуля GSM M590 до відповідного джерела живлення. GSM модуль зазвичай працює від напруги 3.4V до 4.5V, тому його можна живити від 3.3V на ESP8266 або окремим джерелом живлення. Підключаємо пін GND модуля GSM M590 до заземлення (GND) ESP8266.
- Серійний інтерфейс (Rx і Tx): Модуль GSM M590 використовує UART для обміну даними з мікроконтролером. Підключимо пін Rx (приймач) модуля GSM M590 до GPIO-піна ESP8266, який відповідає за вихідний (Tx) сигнал ESP8266. Наприклад, GPIO3 (Rx) на

					КВРКІ.190186.19.01.08 ПЗ	Арк. 48
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ESP8266 може бути підключений до Tx на модулі GSM. Підключимо пін Tx (передавач) модуля GSM M590 до GPIO-піна ESP8266, який відповідає за вхідний (Rx) сигнал ESP8266. Наприклад, GPIO1 (Tx) на ESP8266 може бути підключений до Rx на модулі GSM.

- Керування (пін стану): Деякі модулі GSM, включаючи M590, можуть мати пін стану (наприклад, пін PWRKEY або CH\_PD), який потрібно встановити в певний стан для активації модуля. Цей пін може підключатися до іншого GPIO-піна ESP8266 для керування.

У кінці функціональна схема мікроконтролерної системи, матиме вигляд як на рисунку 3.1.

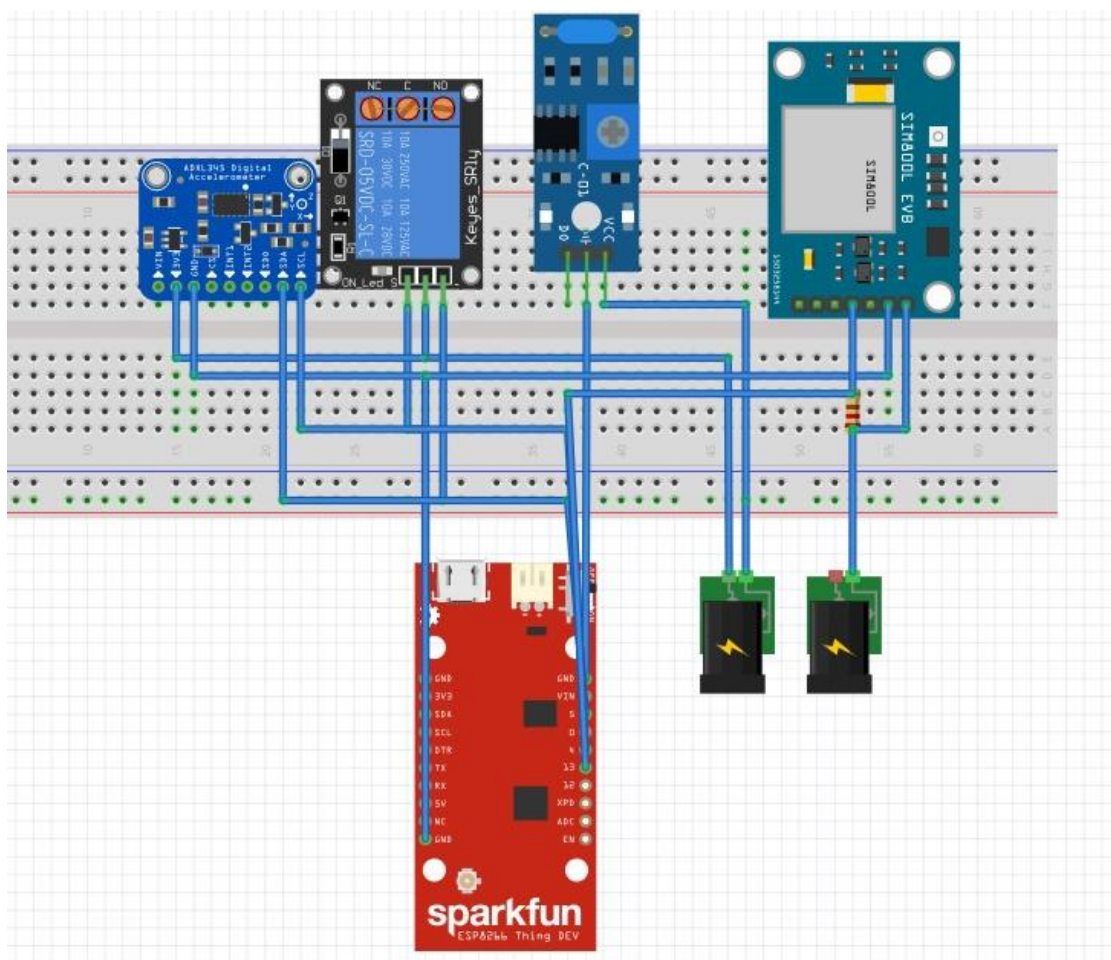


Рисунок 3.1 – Функціональна схема

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

### 3.1.2 Розроблення принципової електричної схеми

Принципова електрична схема (PES) — це графічне зображення електричних зв'язків між різними компонентами в системі. Ця схема є ключовим документом в електронному проектуванні, що дозволяє розробникам і інженерам зрозуміти, як компоненти з'єднані між собою і як вони взаємодіють.

При створенні принципової електричної схеми, першим кроком є визначення всіх компонентів, які будуть використовуватися в системі. Це можуть бути мікроконтролери, резистори, конденсатори, діоди, транзистори, реле, сенсори, модулі зв'язку (GSM, Wi-Fi) тощо. Компоненти розміщуються на схемі так, щоб їх з'єднання було максимально логічним і зрозумілим. Після визначення компонентів і їх розміщення на принциповій електричній схемі, наступним кроком є встановлення параметрів кожного компонента. Це включає вибір оптимальних значень резисторів і конденсаторів з урахуванням електричних характеристик схеми, напругових рівнів і токів, що циркулюють через систему. Крім того, необхідно розглянути вимоги до швидкодії та точності сенсорів, а також сумісність модулів зв'язку з обраною мікроконтролерною платформою. Встановлення правильних параметрів компонентів є ключовим етапом перед переходом до наступних фаз розробки, таких як розміщення компонентів на платі і проектування корпусу системи.

Також важливо правильно підключити всі компоненти до джерела живлення (VCC) і заземлення (GND). Це забезпечує стабільну роботу всіх частин системи. Для цього часто використовуються спеціальні символи для живлення і заземлення, які спрощують читання схеми.

Вони спрощують читання та розуміння схеми і дозволяють швидше виявляти потенційні помилки підключення. Також допомагають уникнути перекреслення з'єднань і забезпечують чіткість схеми, що є важливим під час подальшого проектування плати і виготовлення прототипу системи.

					КВРКІ.190186.19.01.08 ПЗ	Арк. 50
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Правильне підключення до живлення і заземлення також допомагає знижувати електромагнітні перешкоди і підвищує загальну надійність імовірність безперебійної роботи системи, що особливо важливо в умовах промислового використання.

Компоненти з'єднуються між собою сигнальними лініями відповідно до функціональних вимог системи. Наприклад, мікроконтролер може бути підключений до сенсорів через лінії I2C або SPI, а до модулів зв'язку через UART. На схемі ці з'єднання відображаються у вигляді ліній, що з'єднують відповідні піни компонентів. Якщо система має інтерфейси для підключення зовнішніх пристроїв (наприклад, роз'єми для програмування або підключення живлення), вони також повинні бути відображені на схемі. Це можуть бути роз'єми типу UART, USB, GPIO-порти тощо. У разі наявності зовнішніх пристроїв або інтерфейсів, таких як роз'єми для програмування чи живлення, вони також мають бути чітко відображені на принциповій схемі. Це дозволяє легко ідентифікувати всі точки підключення та забезпечити правильну інтеграцію з усіма компонентами системи.

Пасивні компоненти, такі як резистори, конденсатори і діоди, додаються до схеми для забезпечення правильного функціонування активних компонентів. Наприклад, резистори можуть використовуватися для обмеження струму, а конденсатори — для фільтрації сигналів.

Приклад принципової електричної схеми для мікроконтролерної системи, зображеної на рисунку 3.2, може виглядати так:

- Мікроконтролер, наприклад, ESP8266 з підключеними до нього сенсорами ADXL345 через I2C, модулем зв'язку GSM модуль M590 через UART, і реле для управління зовнішніми пристроями.
- Живлення мікроконтролера і всіх компонентів забезпечується через відповідні лінії VCC і GND.
- Підключення сигнальних ліній між компонентами для забезпечення їх взаємодії.

					КВРКІ.190186.19.01.08 ПЗ	Арк. 51
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

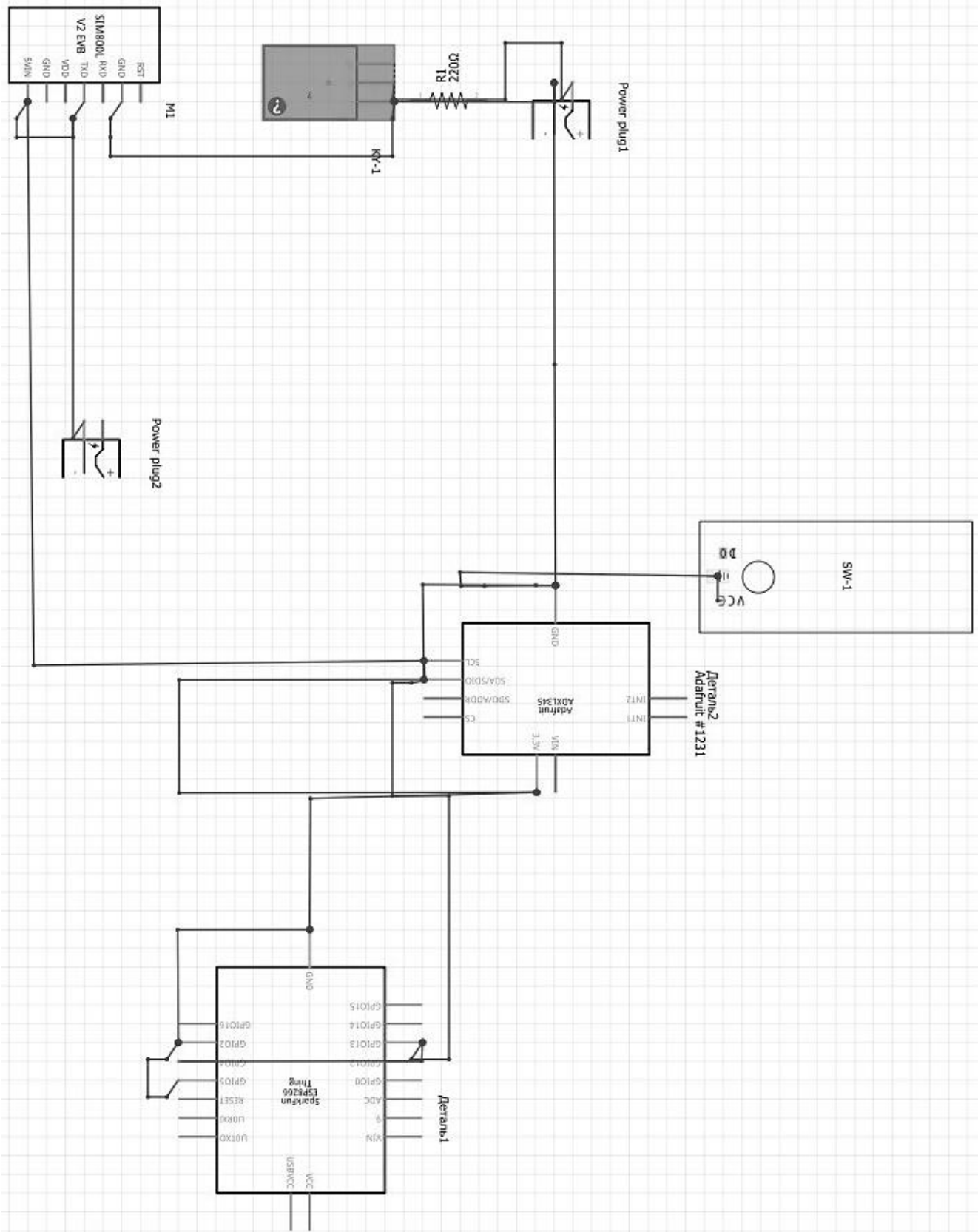


Рисунок 3.2 – Принципова електрична схема

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
-----	------	----------	--------	------

### 3.2 Налаштування брокера EMQX та створення сценарію в Node-red

EMQX — це потужний брокер MQTT з відкритим кодом, який широко використовується для обміну повідомленнями в середовищі IoT. EMQX можна встановити на різні операційні системи, такі як Ubuntu, CentOS, macOS і Windows. Найбільш поширений спосіб встановлення — використання Docker або встановлення безпосередньо з пакетів.

При встановленні за допомогою Docker необхідно ввести команду:

```
docker run -d --name emqx -p 1883:1883 -p 8083:8083  
emqx/emqx:latest
```

Після встановлення брокера EMQX необхідно внести зміни до конфігураційних файлів – для налаштування системи відповідно до ваших вимог. Конфігураційні файли знаходяться в каталозі `/etc/emqx/`.

Основні файли конфігурації включають у себе:

- `emqx.conf`: – основні налаштування брокера;
- `acl.conf`: – налаштування списків контролю доступу;
- `plugins`: – конфігурація плагінів.

Щоб розпочати роботу слід здійснити початкове налаштування цього брокера. Його встановлення може бути виконано як на локальній машині або хмарному сервісі. Для даного проєкту виконувати встановлення EMQX будемо на локальній системі. Після успішного встановлення адміністративна панель EMQX буде доступна за адресою `http://127.0.0.1:18083/`.

Щоб налаштувати порти, адреси і параметри безпеки, необхідно відредагувати файл `emqx.conf`

EMQX підтримує різні методи аутентифікації, включаючи аутентифікацію на основі файлів, баз даних і зовнішніх сервісів (LDAP, HTTP). У файлі `emqx_auth_username.conf` необхідно додати користувачів і паролі.

ACL визначають, які користувачі мають доступ до яких тем. Відредагуйте файл `acl.conf` для налаштування правил доступу. Приклад їх налаштування виглядає так:

					КВРКІ.190186.19.01.08 ПЗ	Арк. 53
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

```
{allow, {user, "user1"}, subscribe, ["#"]}
```

```
{deny, all, subscribe, ["restricted/#"]}
```

Також EMQX надає веб-інтерфейс для управління і моніторингу, доступний за адресою <http://localhost:18083>. За замовчуванням логін і пароль позначаються як `admin` і `public`, відповідно. На рисунку 3.3 зображена інформаційна панель EMQX за допомогою якої було здійснено опцію автентифікації.



Рисунок 3.3 – Панель EMQX

Після створення опції автентифікації, у робочій області було вибрано розділ «На основі пароля»

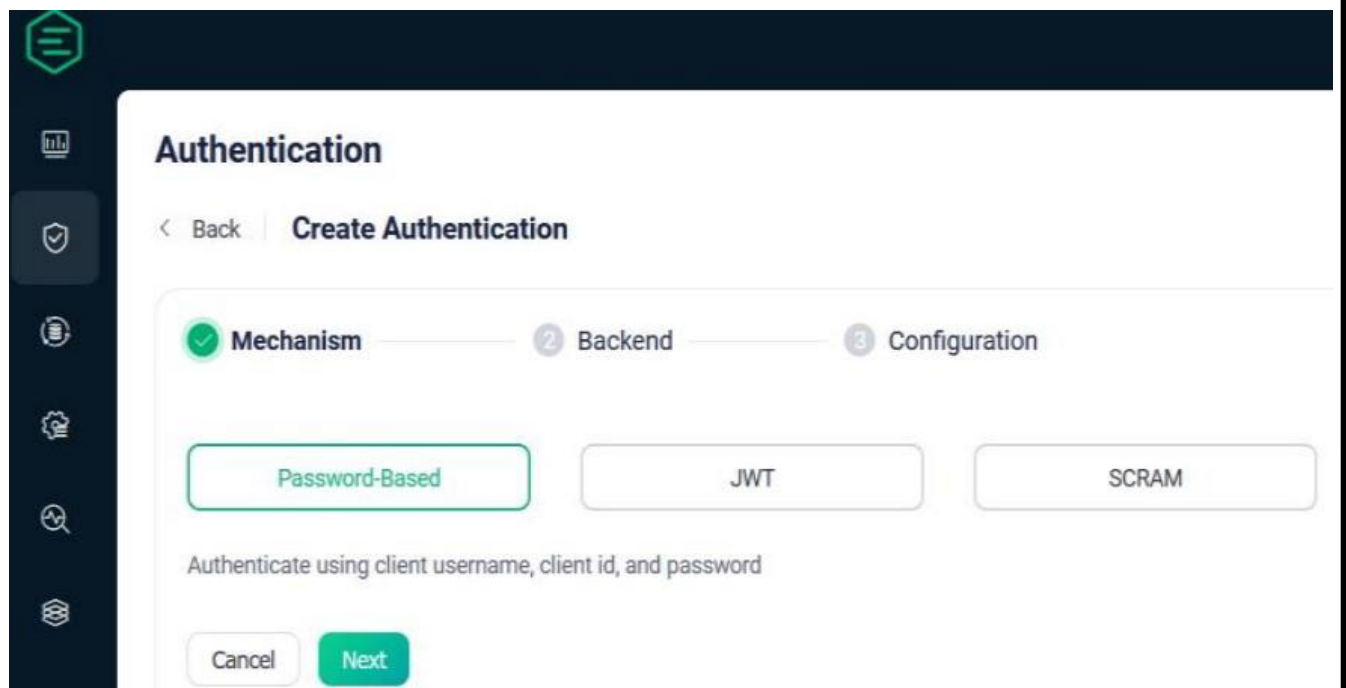


Рисунок 3.4 – Метод автентифікації

Створення сценарію моніторингу індустріального обладнання у Node-RED полягає в розробці коду у вигляді потоку, який автоматизує контроль та моніторинг рівня вібрації на обладнанні за певними умовами. Цей сценарій включає в себе зчитування інформації про вібрації промислових верстатів з датчиків, встановлення порогових значень яких, і визначають допустимий рівень аномальних вібрацій. Саме це дозволить створити достатньо ефективну систему автоматичного моніторингу індустріального обладнання.

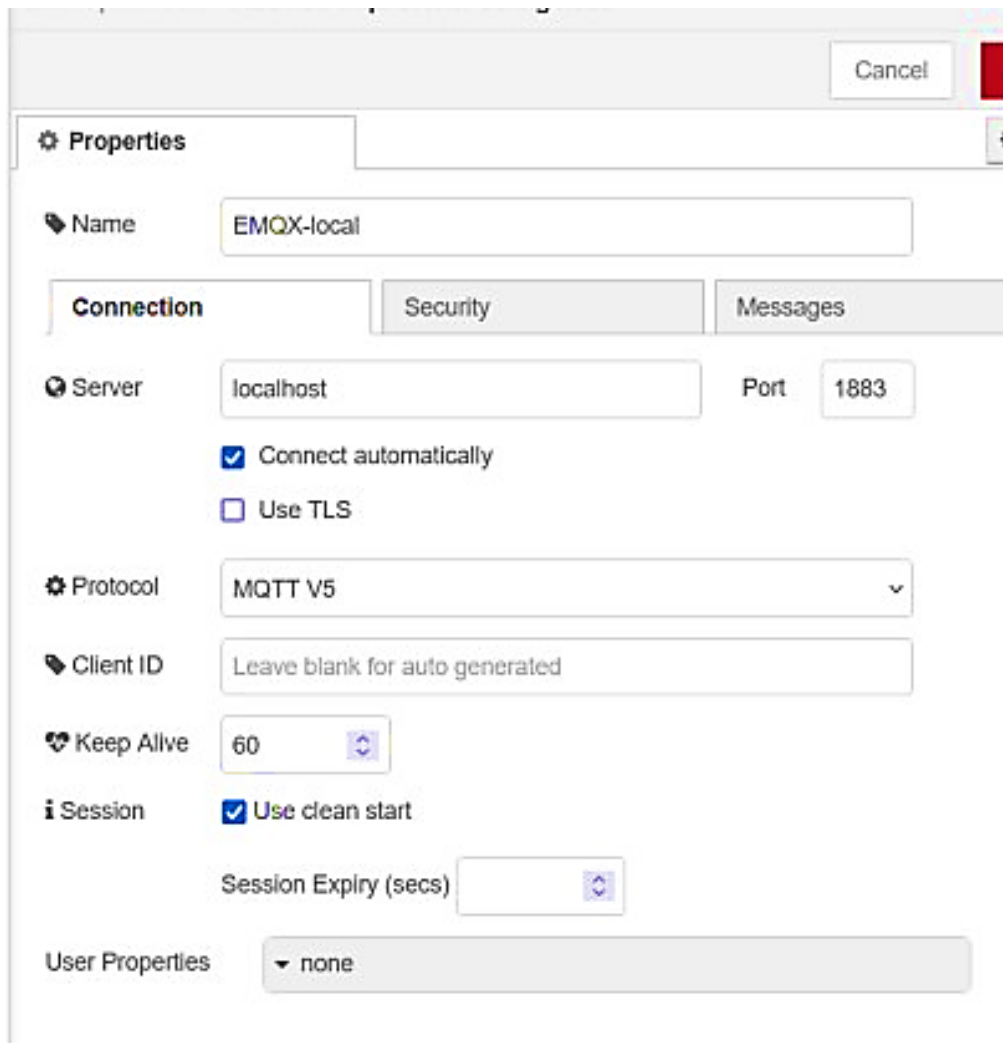


Рисунок 3.5 – Налаштування з'єднання

Для встановлення порогового значення в Node-RED можна використати різні методи залежно від вимог вашої системи. Один із найпоширеніших способів — використання вузла function, де ви можете написати JavaScript код для обробки

даних та перевірки порогового значення. Також можна використовувати вузли change або switch.

Використання вузла function дозволяє створювати складні умови для перевірки та обробки даних. Наприклад, ми можемо написати скрипт, який буде перевіряти, чи перевищує значення параметра певний рівень, і далі на основі цього виконувати відповідні дії, такі як відправка повідомлення чи активація реле. Це дає вам велику гнучкість у налаштуванні логіки нашої системи.

Іншим методом є використання вузла switch, який дозволяє створювати умовні розгалуження на основі значень вхідних даних. Вузол switch дозволяє легко перевіряти, чи знаходиться значення параметра в межах певного діапазону або чи перевищує воно заданий поріг. Це зручно для швидкого налаштування простих умов без необхідності писати додатковий код.

Вузол change може бути використаний для зміни або встановлення значень на основі певних умов. Ми можемо налаштувати цей вузол таким чином, щоб він перевіряв значення параметра і, якщо воно перевищує поріг, змінював його або встановлював інше значення. Це особливо корисно для підготовки даних перед їх відправкою до інших частин системи або для відображення.

Вузол function дозволяє писати власний JavaScript код для обробки повідомлень. Ми зможемо встановити порогове значення всередині цього вузла та виконувати відповідні дії залежно від даних, що надходять.

```
var threshold = 100;
var vibrationData = msg.payload;
if (vibrationData > threshold) {
    msg.payload = "Висока вібрація!";
} else {
    msg.payload = "Вібрація в нормі.";
}
return msg;
```

Вищеописаний код створений для обробки даних і перевірки порогового значення.

					КВРКІ.190186.19.01.08 ПЗ	Арк. 56
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Використовуючи при цьому slider (основна функція цього вузла полягає в інтерактивному управлінні параметрами, що значно спрощує налаштування та контроль за системою.

Наприклад, у системі розумного будинку вузол slider може використовуватися для регулювання температури або рівня освітлення.

Користувач просто пересуває повзунок на відповідний рівень, і значення автоматично передається в систему для подальшої обробки.) і function, ми отримуємо схематичне зображення вузла, для отримання порогового значення

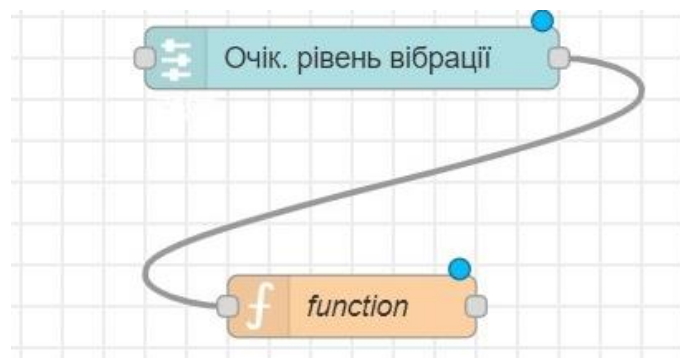


Рисунок 3.6 – Встановлення порогового значення

Далі було створено нову розмітку та додано сторінку для відображення параметрів моніторингу та контролю.

Потім додано два вузли типу chart для візуалізації рівня вібрації верстату.

Такі графічні елементи дозволяють користувачеві легко відстежувати зміни шуму та отримувати візуальну інформацію про поточний стан верстата. Основний проєктований сценарій вібраційної діагностики зображено на рисунку 3.7.

### 3.3 Створення клієнтської частини підсистеми керування

Створення клієнтської частини IoT системи моніторингу індустриального обладнання передбачала програмування мікроконтролера ESP826, що було виконано у попередніх розділах.

Блок схема роботи клієнтської частини подана на рисунку 3.8.

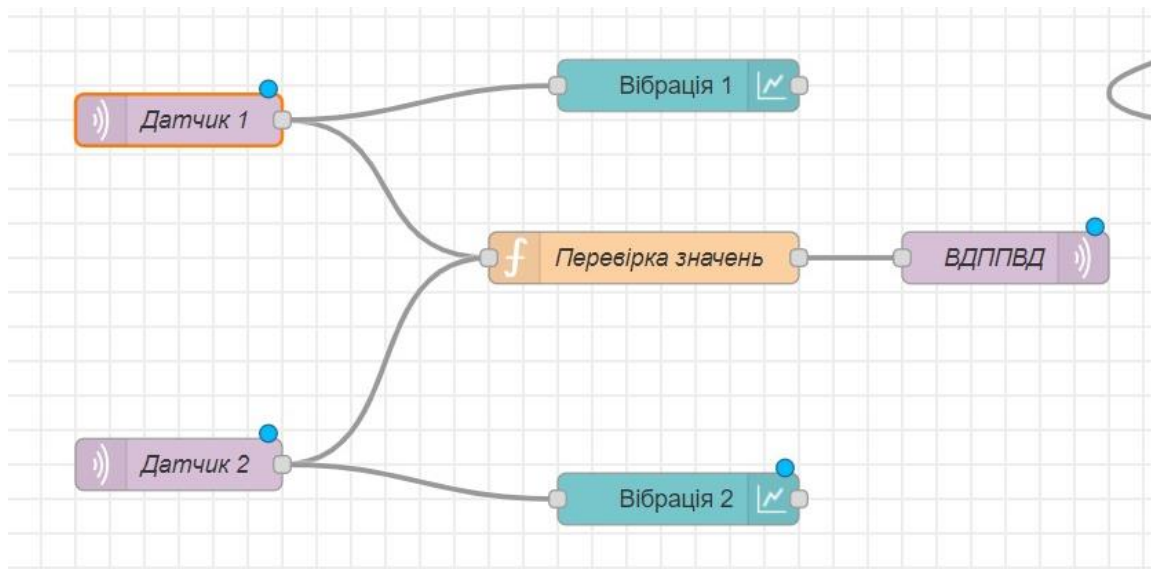


Рисунок 3.7 – Основний проектований сценарій вібраційної діагностики

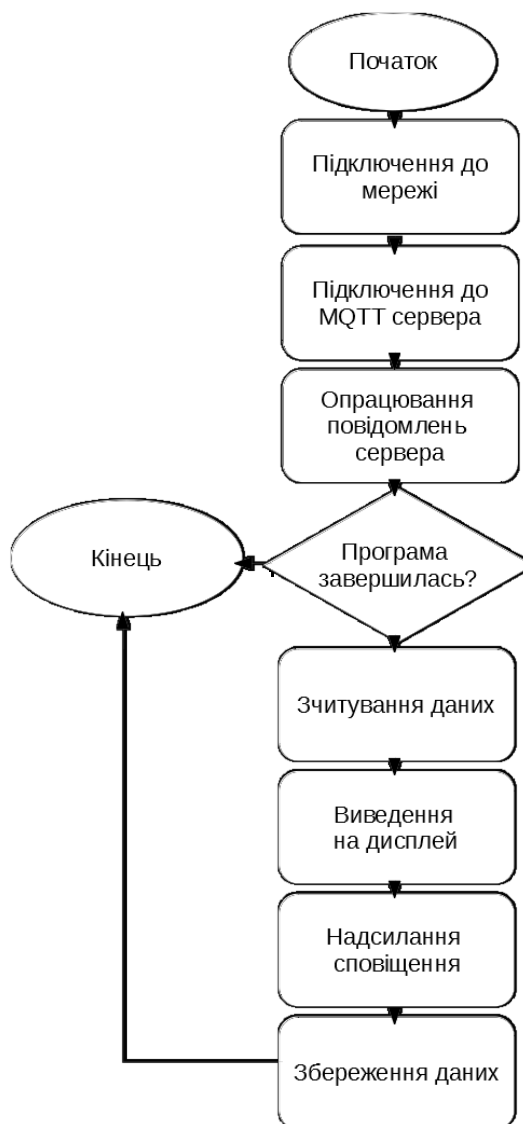


Рисунок 3.8 – Блок схема роботи

### 3.6 Висновки

Розглянувши теми усі вищеописані теми, можна дійти висновку, що створення ефективної IoT-системи для моніторингу промислового обладнання вимагає комплексного підходу. Реалізація модулів апаратного та програмного забезпечення є ключовим етапом у створенні IoT-системи. Вибір правильних компонентів, таких як датчики, мікроконтролери, реле та комунікаційні модулі, забезпечує точність і надійність збирання даних.

Програмне забезпечення, що включає прошивки для мікроконтролерів та розробку інтерфейсу користувача, забезпечує обробку та візуалізацію даних у зручному форматі. Цей етап також охоплює інтеграцію всіх модулів у єдину систему, що працює стабільно та ефективно.

Функціональна схема мікроконтролерної системи визначає основні елементи та їх взаємозв'язки. Це включає датчики для збирання даних, мікроконтролери для обробки даних, комунікаційні модулі для передачі даних та інтерфейси для взаємодії з користувачем. Створення функціональної схеми дозволяє зрозуміти, як система функціонує в цілому, та забезпечити логічну послідовність передачі і обробки даних. На функціональній схемі чітко показано, як сенсори підключаються до мікроконтролера, що дозволяє визначити типи необхідних інтерфейсів (наприклад, I2C, SPI, або аналогові входи). Мікроконтролер, в свою чергу, обробляє ці дані і може приймати рішення на основі запрограмованих алгоритмів. Зібрані та оброблені дані можуть передаватися далі за допомогою комунікаційних модулів, таких як Wi-Fi, GSM або Bluetooth, до центральної системи моніторингу або безпосередньо до користувача через інтерфейси, такі як дисплеї або індикатори. Крім того, функціональна схема допомагає виявити можливі місця для оптимізації системи, такі як зменшення споживання енергії або підвищення надійності передачі даних.

Принципова електрична схема деталізує електричні з'єднання між компонентами системи. Вона включає схему підключення живлення, з'єднання між датчиками та мікроконтролерами, а також схему підключення комунікаційних

модулів. Принципова електрична схема є основою для монтажу апаратної частини системи та забезпечує правильне функціонування всіх компонентів. На ній чітко вказуються всі підключення, включаючи лінії живлення (VCC), заземлення (GND), сигнальні лінії та інтерфейси зв'язку. Це допомагає гарантувати, що всі компоненти отримують належне живлення і можуть коректно взаємодіяти один з одним. Зокрема, слід ретельно спланувати розташування конденсаторів для фільтрації шумів і стабілізації живлення, а також використання резисторів для обмеження струму, де це необхідно. Також схема включає підключення захисних елементів, таких як діоди для захисту від зворотної напруги, і запобіжників для захисту від перенапруги та коротких замикань. Правильне розташування цих компонентів є важливим для забезпечення надійності і довговічності системи.

Налаштування брокера EMQX дозволяє організувати надійний та ефективний обмін даними між різними частинами IoT-системи за допомогою протоколу MQTT. EMQX забезпечує стабільну передачу даних з датчиків до сервера та зворотний зв'язок.

Node-red, у свою чергу, використовується для створення сценаріїв обробки та візуалізації даних. Додавання вузлів для роботи з MQTT, налаштування порогових значень та створення інтерфейсу користувача в Node-red дозволяють автоматизувати процеси моніторингу та управління.

Загалом, комплексний підхід до проектування та розробки, що враховує всі зазначені аспекти, дозволить створити надійну, точну та ефективну систему моніторингу, яка відповідатиме сучасним стандартам та потребам індустріальних підприємств.

					КВРКІ.190186.19.01.08 ПЗ	Арк. 60
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## ВИСНОВОК

Моніторинг за допомогою вібраційної діагностики є дуже важливим у наш час з кількох ключових причин. Вібраційна діагностика дозволяє виявляти аномалії в роботі машин і обладнання на ранніх стадіях. Це дає змогу попередити серйозні поломки, що можуть призвести до зупинки виробництва, значних витрат на ремонт або навіть небезпечних аварій. Це допомагає уникнути непотрібних ремонтів та оптимізувати використання ресурсів. Виявлення і усунення дисбалансів та інших проблем допомагає знизити енергоспоживання обладнання, що позитивно впливає на економічні показники підприємства і екологію.

У першому розділі проведено аналіз застосування IoT-систем в індустріальному контексті, що загалом має безліч переваг. Вони дозволяють проводити постійний моніторинг без участі людини, що підвищує точність, надійність та об'єктивність даних. Це сприяє підвищенню ефективності виробничих процесів, зменшенню витрат на технічне обслуговування та запобіганню різноманітним поломкам та аваріям.

Також у ході роботи стало зрозуміло, що IoT-системи використовуються не лише в певних локальних випадках, а повсюдно.

У другому розділі проведено аналіз і обґрунтований вибір компонентів забезпечать надійну основу для подальшої розробки IoT-системи моніторингу індустріального обладнання. Важливим аспектом стало те, що можливість масштабування системи, дозволить легко додавати нові функції або розширювати її в разі потреби. Використання стандартних протоколів зв'язку, таких як MQTT, посприяє стабільній роботі системи в умовах великих обсягів даних і забезпечить безперебійний обмін інформацією між різними елементами системи.

Також було враховано необхідність інтеграції з існуючими системами та протоколами, що вже використовуються в для подібних цілей. Таким чином, це дозволить не тільки знизити витрати на впровадження нових технологій, але й забезпечить сумісність з поточними процесами і обладнанням. Система, побудована на основі обраних компонентів, зможе легко інтегруватися в існуючу

					КВРКІ.190186.19.01.08 ПЗ	Арк. 61
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

інфраструктуру, забезпечуючи плавний перехід до нових методів моніторингу та управління. Особлива увага була приділена вибору датчиків та інших пристроїв, що забезпечують високоточне зчитування і обробку даних. Це включає в себе використання сучасних акселерометрів, температурних датчиків та інших сенсорів, які можуть працювати в жорстких промислових умовах. Висока точність та надійність цих компонентів гарантує, що система буде надавати достовірну інформацію про стан обладнання, що є критично важливим для своєчасного виявлення та усунення потенційних проблем.

В розділі третьому описано апаратне втілення клієнтської частини IoT-системи моніторингу. Програмна реалізація клієнтської частини IoT-системи моніторингу базується на мікроконтролері ESP8266, а серверна частина представлена сценарієм у Node-RED, який зокрема функціонував на одноплатній комп'ютерній системі. Серверна частина, реалізована на платформі Node-RED, забезпечувала візуалізацію отриманих даних та їх аналіз. Інтерфейс користувача був розроблений таким чином, щоб забезпечити максимальну зручність та інформативність. Графічні елементи дозволяли легко відслідковувати зміни в параметрах та приймати оперативні рішення у разі потреби.

					КВРКІ.190186.19.01.08 ПЗ	Арк. 62
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Jamil Y., Mehmet R. Internet of Things (IoT) Systems and Applications, 2019. 5 с.
2. Georgios K., Nikolaos V., Michael H. Components and Services for IoT Platforms, 2017. 15 с.
3. Revathi V., Annie U., Vijayan S., R. I. Minu, Pethuru R. C. Internet of Things *Third International Conference, ICIoT 2022*, 2023. 10 с.
4. Sajid R. Piezoelectric Vibration Energy Harvesting, 2018. 35 с.
5. Felix L. Piezoelectric Accelerometers with Integral Electronics, 2014. 58 с.
6. Bastien Ch., Eric S. Sensors, Algorithms and Applications for Structural Health Monitoring, 2015. 48 с.
7. Jiadi Y., Yingying Ch., Xiangyu X. Sensing Vehicle Conditions for Detecting Driving Behaviors, 2018. 55 с.
8. IoT connected device for vibration analysis and measurement, URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2468067220300171> (дата звернення: 21.06.2024).
9. Development of a Low-Cost Vibration Measurement System for Industrial Applications, URL: [https://www.researchgate.net/publication/330819392\\_Development\\_of\\_a\\_Low-Cost\\_Vibration\\_Measurement\\_System\\_for\\_Industrial\\_Applications](https://www.researchgate.net/publication/330819392_Development_of_a_Low-Cost_Vibration_Measurement_System_for_Industrial_Applications) (дата звернення: 21.06.2024).
10. Design and Validation of a Scalable, Reconfigurable and Low-Cost Structural Health Monitoring System, URL: <https://www.mdpi.com/1424-8220/21/2/648> (дата звернення: 21.06.2024).
11. Juan C. A. Jauregui C., Alejandro A. Lozano G. Mechanical Vibrations and Condition Monitoring, 2020. 143 с.
12. Cristian G. IoT Protocols and Applications for Improving Industry, Environment, and Society, 2021. 222-228 с.
13. George V. Network Algorithmics, 2022. 345 с.

					КВРКІ.190186.19.01.08 ПЗ	Арк. 63
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

14. Chuang W., Jiang B. Cleaner Treatment Technologies and Productions in The Energy Industry, 2nd edition, 2023. 134-145 с.
15. Clément J. Protocol Buffers Handbook, 2024. 178-179 с.
16. Gerard B. Extensible Markup Language XML, 2017. 88-90 с.
17. Lindsay B. Introduction to JavaScript Object Notation, 2015. 46 с.
18. M S Hariharan IoT Data Analytics using Python, 2023. 146-153 с.
19. Mohammed M. A. Guide to OSI and TCP/IP Models, 2014. 25 с.
20. Todd L. TCP / IP, 2017. 74 с.
21. User Datagram Protocol, URL: <https://www.geeksforgeeks.org/user-datagram-protocol-udp/> (дата звернення: 21.06.2024).
22. Implementing LWM2M in constrained IoT devices, URL: [https://www.researchgate.net/publication/281524900\\_Implementing\\_LWM2M\\_in\\_constrained\\_IoT\\_devices](https://www.researchgate.net/publication/281524900_Implementing_LWM2M_in_constrained_IoT_devices) (дата звернення: 21.06.2024).
23. The Constrained Application Protocol (CoAP) , URL: <https://www.rfc-editor.org/rfc/rfc7252.html> (дата звернення: 21.06.2024).
24. DTLS (Datagram Transport Layer Security) , URL: <https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Glossary/DTLS> (дата звернення: 21.06.2024).
25. Simone C., Gianluigi F., Marco P. Internet of Things Architectures, Protocols and Standards, 2018. 315 с.
26. Gastón C. MQTT Essentials - A Lightweight IoT Protocol, 2017. 132 с.
27. Tim P. Build Connected IoT Devices with Arduino and MQ Telemetry Transport (MQTT), 2019. 214-218 с.
28. alasdair g. The Concise Guide to SSL/TLS for DevOps, 2015. 24 с.
29. Stephen L., Javier G. Learning HTTP/2 A Practical Guide for Beginners, 2017. 43 с.
30. Neil C. Electronics Projects with the ESP8266 and ESP32 Building Web Pages, Applications, and WiFi Enabled Devices, 2020. 547-550 с.
31. Alexander K. Introduction to Mobile Network Engineering: GSM, 3G-WCDMA, LTE and the Road to 5G, 2018. 312 с.

					КВРКІ.190186.19.01.08 ПЗ	Арк. 64
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

32. Jeff W. Vibration Analysis and Control - New Trends and Developments, 2016. 54 с.
33. Agus K. MicroPython for ESP8266 Development Workshop, 2015. 13 с.
34. Manoj R. Thakur Zero to Hero: ESP8266 Get started with Internet of things with ESP8266 and Arduino IDE, 2016. 100-104 с.
35. Catalin B. ESP8266 Home Automation Projects Leverage the Power of this Tiny WiFi Chip to Build Exciting Smart Home Projects, 2017. 67 с.
36. Derek M. Exploring BeagleBone Tools and Techniques for Building with Embedded Linux, 2014. 336-340 с.
37. Derek M. Exploring Raspberry Pi Interfacing to the Real World with Embedded Linux, 2016. 665-667 с.
38. Ali A., Habib F. Wireless Sensor Systems for Extreme Environments Space, Underwater, Underground, and Industrial, 2017. 435-436 с.
39. J. Paulo Davim Soft Computing in Smart Manufacturing Solutions Toward Industry 5.0, 2021. 134-137 с.
40. SW-420 Vibration Sensor Module, URL: <https://components101.com/sensors/sw-420-vibration-sensor-module> (дата звернення: 21.06.2024).
41. Grove - Vibration Sensor, URL: [https://wiki.seeedstudio.com/Grove-Vibration\\_Sensor\\_SW-420/](https://wiki.seeedstudio.com/Grove-Vibration_Sensor_SW-420/) (дата звернення: 21.06.2024).
42. Hiletgo 5pcs SW-420 Vibration Sensor Module, URL: <https://www.amazon.com/Hiletgo-SW-420-Vibration-Sensor-Arduino/dp/B00HJ6ACY2> (дата звернення: 21.06.2024).
43. Модуль SW-420, URL: <https://radiok.com.ua/ua/p1137787446-modul-420-datchik.html> (дата звернення: 21.06.2024).
44. SW-420 Arduino, URL: <https://arduinka.biz.ua/modul-datchika-vibratsi-sW-420-arduino-p348c74.html> (дата звернення: 21.06.2024).
45. Irena H. Mobile Web and Intelligent Information Systems 14th International Conference, MobiWIS 2017, Prague, Czech Republic, August 21-23, 2017, Proceedings, 2017. 225 с.

					КВРКІ.190186.19.01.08 ПЗ	Арк. 65
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

46. K. Karthikeyan IoT and Analytics in Renewable Energy Systems (Volume2) AI, ML and IoT Deployment in Sustainable Smart Cities, 2023. 123-132 с.
47. Vo Van Toi 5th International Conference on Biomedical Engineering in Vietnam, 2014. 134 с.
48. Hardware Design Manual, URL: <https://g1fef.co.uk/wp-content/uploads/2019/11/neoway-m590-hardware-design-manual-v1.pdf> (дата звернення: 21.06.2024).
49. Sara S. 20 Easy Raspberry Pi Projects Toys, Tools, Gadgets, and More!, 2018. 134-138 с.
50. David D. Electronics and Microprocessing for Research You Can Make It, 2019. 232 с.
51. Simon M. Make: Action Movement, Light, and Sound with Arduino and Raspberry Pi, 2016. 222 с.
52. Albena Dimitrova Mihovska Examining the Impact of Deep Learning and IoT on Multi-Industry Applications, 2021. 145-146 с.
53. Aboul-Ella H. Proceedings of the International Conference on Artificial Intelligence and Computer Vision (AICV2020), 2020. 667-668 с.
54. Taiji H. Practical Node-RED Programming Learn Powerful Visual Programming Techniques and Best Practices for the Web and IoT, 2021. 300 с.
55. Bernardo R. Learn IoT Programming Using Node-RED Begin to Code Full Stack IoT Apps and Edge Devices with Raspberry Pi, NodeJS, and Grafana, 2022. 130 с.
56. International Science Group MODERN SCIENCE AND PRACTICE, 2020. 190 с.
57. Aniello C., Guangquan X. Algorithms and Architectures for Parallel Processing 21st International Conference, ICA3PP 2021, Virtual Event, December 3–5, 2021, Proceedings, Part II, 2022. 623-625 с.
58. What Is MQTT (MQ Telemetry Transport)? Working, Types, Importance, and Applications, URL: <https://www.spiceworks.com/tech/iot/articles/what-is-mqtt/> (дата звернення: 21.06.2024).

					КВРКІ.190186.19.01.08 ПЗ	Арк. 66
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

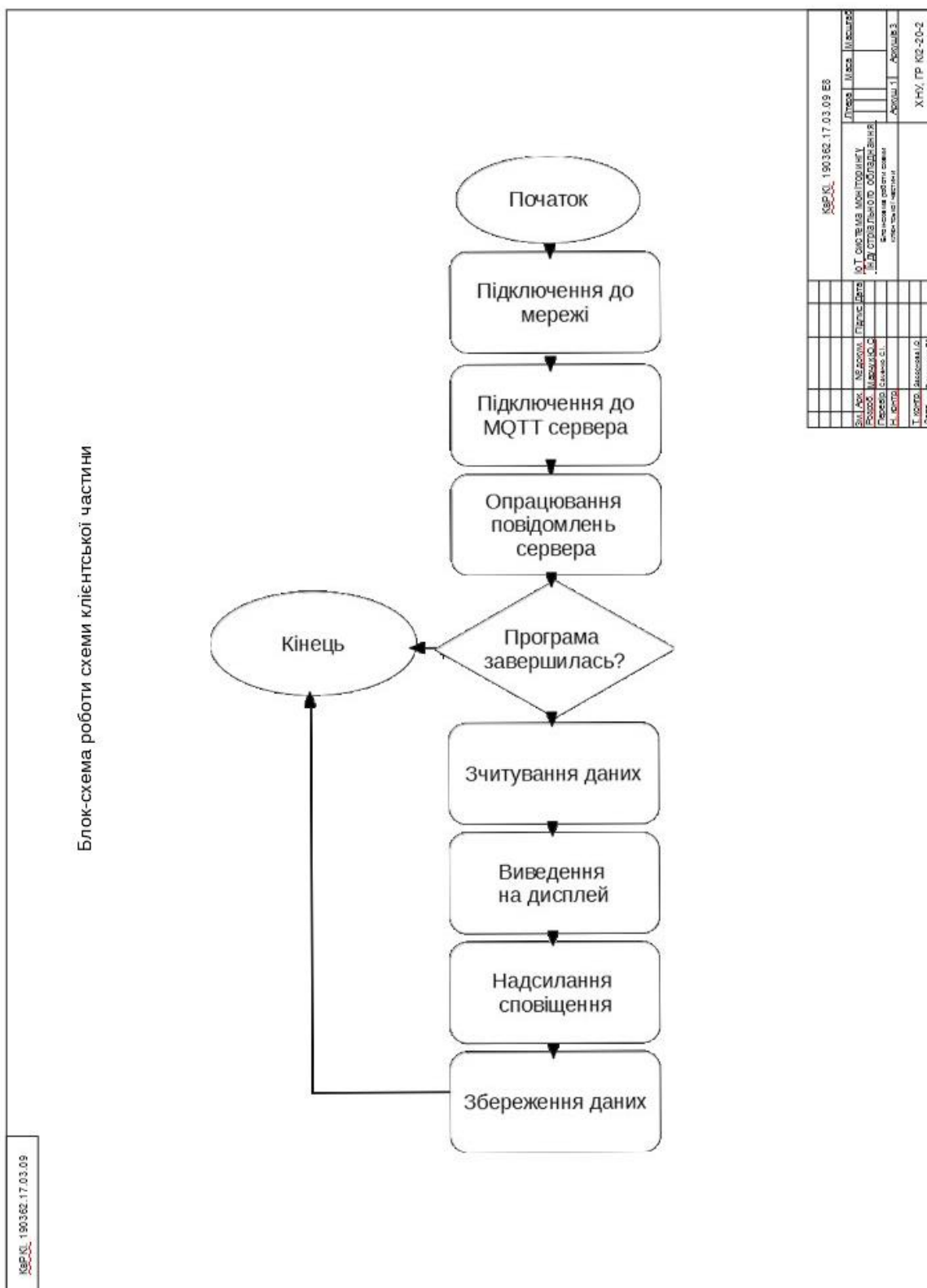
59. MQTT Protocol Description, URL: <https://support.smart-maic.com/en/knowledge-bases/2/articles/41-mqtt-protocol-description> (дата звернення: 21.06.2024).

60. MQTT (aka MQ Telemetry Transport) , URL: <https://www.home-assistant.io/integrations/mqtt/>

					КВРКІ.190186.19.01.08 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		67

## Додаток А (обов'язковий)

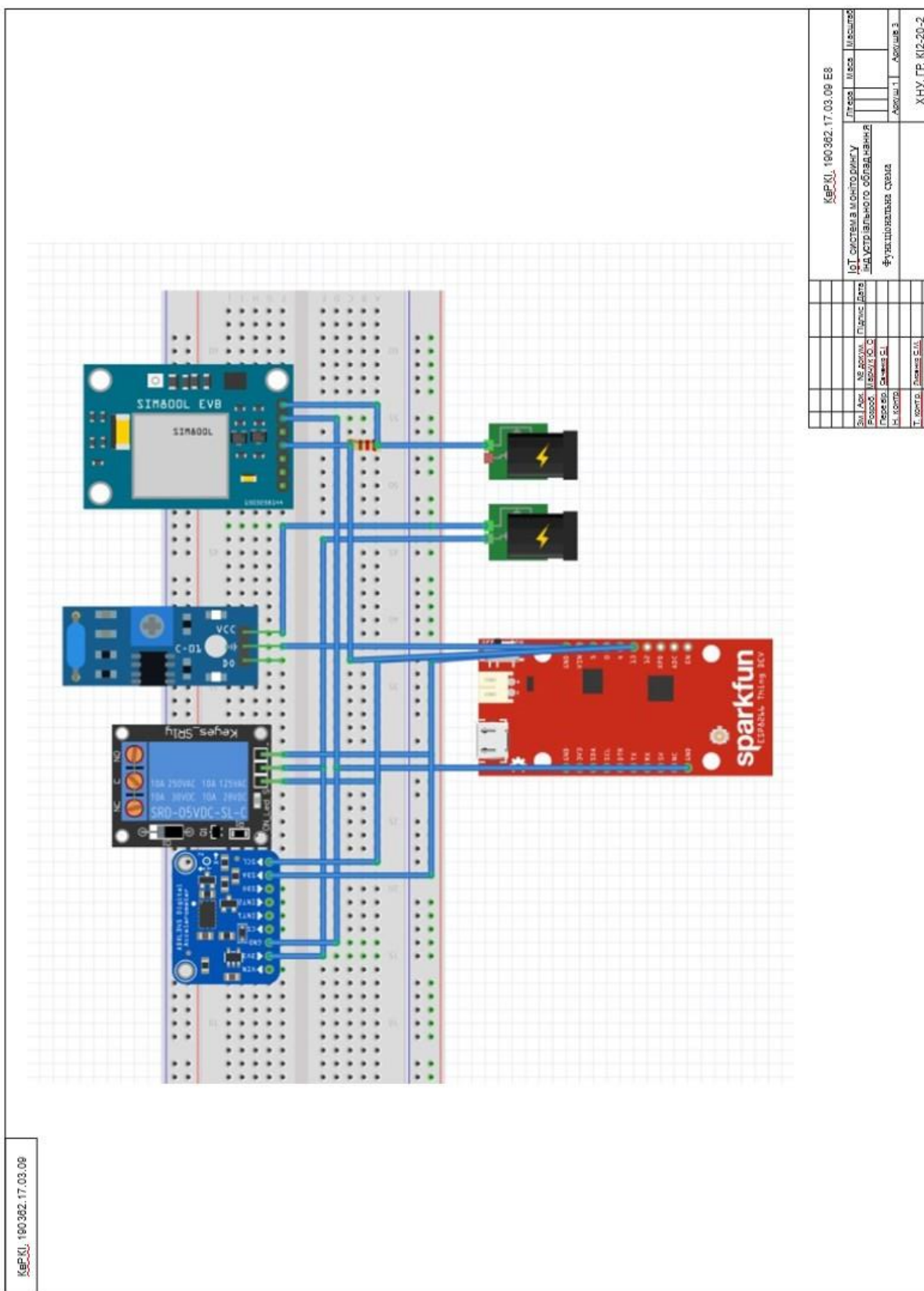
Копія креслення «Блок-схема роботи клієнтської частини»





## Додаток В (обов'язковий)

Копія креслення «Функціональна схема»



КЕР.КЛ. 190382.17.03.09

КЕР.КЛ. 190382.17.03.09 E8	
ІТ Система Моніторингу	Гітес
Видатально-го обладнання	Місяць
Функціональна схема	Автори 1
	Автори 2
	ХНУ, ГР. КІЗ-20-2

Ім'я користувача:  
Кафедра КІ

Дата перевірки:  
23.06.2024 09:12:07 EEST

Дата звіту:  
23.06.2024 09:13:01 EEST

ID перевірки:  
1016383143

Тип перевірки:  
Doc vs Internet + Library

ID користувача:  
100005591

Назва документа: Марчук IoT система моніторингу індустріального обладнання

Кількість сторінок: 65 Кількість слів: 11241 Кількість символів: 87578 Розмір файлу: 4.33 MB ID файлу: 1016193404

## 3.58% Схожість

Найбільша схожість: 1.29% з джерелом з Бібліотеки (ID файлу: 1016155641)

1.68% Джерела з Інтернету 53 ..... Сторінка 67

3.22% Джерела з Бібліотеки 171 ..... Сторінка 67

## 0.28% Цитат

Цитати 3 ..... Сторінка 68

Посилання 1 ..... Сторінка 68

## 0% Вилучень

Немає вилучених джерел

## Модифікації

Виявлено модифікації тексту. Детальна інформація доступна в онлайн-звіті.

Замінені символи 1

## Anti-Plagiarism v-15.257

**Максимальне співпадіння з одним документом 1.0%**

Словники перевірки: en\_US, ru\_RU, ua\_UA. **Помилки в документах: 10%**

ID: 132219 Назва: БКР IoT система моніторингу індустриального обладнання Додано в БД: 2024-06-23 Автора: Ю.С.Марчук Керівники: С.І. Саченко Консультанти: Опоненти:	Документ		Сумарний збіг по Базі Даних	
	Символи	Лексеми	Символи	Лексеми
	78847	612	1441 (2%)	18 (3%)

### Джерело плагіату

ID	Опис	Наявність плагіату в документі	
		Символи	Лексеми

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

РЕЦЕНЗІЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Дипломник: Марчук Юрій Сергійович

Тема: IoT система моніторингу промислового обладнання

Спеціальність: 123 «Комп'ютерна інженерія»

Обсяг кваліфікаційної роботи:

Кількість листів креслень 3 Кількість сторінок записки 64

1. Короткий зміст роботи та прийнятих рішень: У роботі запропоновано IoT система моніторингу промислового обладнання.

2. Висновок про відповідність роботи дипломному завданню: Робота відповідає поставленому завданню.

3. Характеристика виконання кожного розділу, ступінь використання останніх досягнень науки і техніки і передових методів роботи: В першому розділі кваліфікаційної роботи проведено Аналіз елементів IoT-систем та їхнього застосування в промисловому контексті, а також їх функціональні особливості. В другому розділі кваліфікаційної роботи виконано моделювання IoT системи моніторингу промислового обладнання та здійснено вибір елементарної бази. В третьому розділі кваліфікаційної роботи виконано програмно-апаратну реалізацію IoT системи моніторингу промислового обладнання.

4. Позитивні сторони роботи: практична цінність роботи.

5. Негативні сторони роботи: віділено недостатню увагу практичному моделюванню IoT системи.

6. Оцінка графічного оформлення та пояснювальної записки роботи:  
Пояснювальна записка оформлена коректно, згідно діючих стандартів оформлення документації.

7. Відгук про роботу в цілому: Робота виконана на належному технічному рівні.

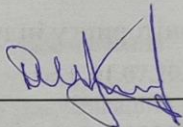
8. Інші зауваження: \_\_\_\_\_

9. Оцінка дипломної роботи: задовільно (3)

Рецензент (прізвище, ім'я, по батькові, посада, місце роботи) \_\_\_\_\_

к.т.н., доцент каф. АКІТ та Р Макаришкін Р.А.

“21” 06 2024 р.

 (підпис)

Завідувачу кафедри КПС  
д-р.техн.наук, проф. Говорущенко Т. О.

Марчук Юрій Сергійович

ПІБ здобувача вищої освіти

ФІТ, 4 курсу, групи КІ2-20-2


### ЗАЯВА

З правилами чинного Положення «Про систему забезпечення академічної доброчесності у Хмельницькому національному університеті» від 01.07.2022, згідно з яким виявлення плагіату є підставою для відмови в допуску кваліфікаційної роботи до захисту та застосування заходів дисциплінарної та академічної відповідальності, ознайомлений (а). Про використання програмно-технічних засобів для перевірки кваліфікаційних робіт здобувачів вищої освіти на плагіат оповіщений(а) та надаю свою згоду на обробку та збереження університетом моєї роботи в інституційному репозитарії університету.

Також надаю університету право на передачу моєї роботи для обробки та збереження в базах даних програмно-технічних засобів (Unicheck та Anti-Plagiarism) та використання роботи для виявлення плагіату в інших роботах, які перевіряються програмно-технічними засобами та користувачами, що мають доступ до цих програмно-технічних засобів, виключно в обмежених цілях для виявлення плагіату в текстах робіт.

Робота для перевірки університетом надається в друкованому та електронному варіанті. Електронна версія моєї роботи збігається (ідентична) з друкованою.

20 червня 2024 року

  
\_\_\_\_\_

РІШЕННЯ ЕКСПЕРТНОЇ КОМІСІЇ  
КАФЕДРИ КОМП'ЮТЕРНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ  
ПРО ДОПУСК КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ ДО ЗАХИСТУ

Підтверджуємо ознайомлення з результатом звіту подібності щодо роботи, генерованого системою виявлення текстових збігів/ідентичності/схожості:

Назва: IoT система моніторингу індустріального обладнання

Автор: Марчук Юрій Сергійович

Спеціальність: 123– Комп'ютерна інженерія

Освітня програма: освітньо-професійна

Науковий керівник: Саченко Світлана Іванівна, к.т.н, доцент

Після аналізу звіту подібності зроблено такий висновок:

№	Висновок	Позначка про відповідність
1	Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є плагіатом. Робота приймається до захисту.	відповідає
2	Виявлені запозичення не є плагіатом, розміщені в розділах, які не описують безпосередньо авторське дослідження, але кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи. Робота приймається до захисту, але має бути відкоригована. Відкоригований варіант має бути поданий на кафедру за 2 дні до захисту, разом із заявою щодо самостійності виконання письмової роботи та ідентичності друкованої та електронної версії роботи	
3	Виявлені запозичення не є плагіатом, але частково розміщені в розділах, які описують безпосередньо авторське дослідження, а кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи. В зв'язку з цим мета роботи та поставлені завдання не були досягнені. Робота може бути допущена до захисту (наступного року) після того як буде відкоригована та допрацьована і успішно пройде повторну перевірку на академічний плагіат.	
4	Робота містить навмисні текстові спотворення, передбачувані спроби укриття запозичень або інші прояви академічного плагіату. Робота містить фабрикацію або фальсифікацію даних. Робота не допускається до захисту.	

Підтвердження:

Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є плагіатом, оскільки:

- 1) запозичення розміщені в розділах аналізу існуючих аналогів та прототипів, які не описують безпосередньо авторське дослідження і не стосуються результатів роботи;
- 2) усі запозичення фрагментарні, або мають належним чином оформленні посилання;

Сумарний обсяг всіх запозичень, визначений системою виявлення збігів/ідентичності/схожості, складає 3,58% і адресується до 224 першоджерела, що, з урахуванням наведених обґрунтувань, відповідає характеру наукового дослідження і свідчить на користь кваліфікаційної роботи.

Керівник роботи

Гарант ОП

Завідувач кафедри КПС

С. І. Саченко

С.М. Лисенко

Т. О. Говорущенко