

**ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІНФОРМАЦІЙНО-
КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ
ІНСТИТУТ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ КАФЕДРА
КОМП'ЮТЕРНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ**

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему: «ІНТЕГРОВАНІ МЕРЕЖЕВІ ТЕХНОЛОГІЇ ДЛЯ БЕЗПЕРЕБІЙНОЇ
РОБОТИ ПРОМИСЛОВИХ ОБ'ЄКТІВ»

на здобуття освітнього ступеня магістра
зі спеціальності 123 Комп'ютерної інженерії
освітньо-професійної програми Комп'ютерні системи та мережі

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

_____ Олександр ІВАНОВ
(підпис)

Виконав: здобувач(ка) вищої освіти гр. КСДМ-62
Олександр ІВАНОВ

Керівник: Віталій ВОЛОХІН
к.т.н. доцент

Рецензент: _____
*науковий ступінь,
вчене звання* Ім'я, ПРИЗВИЩЕ

Київ – 2025

**ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ**
Навчально-науковий інститут Інформаційних технологій

Кафедра Комп'ютерної інженерії

Ступінь вищої освіти Магістр

Спеціальність 123 «Комп'ютерна інженерія»

Освітньо-професійна програма Комп'ютерні системи та мережі

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувачка кафедрою

Комп'ютерної інженерії

Наталія ЛАЩЕВСЬКА

«_____» _____ 2024р.

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

Іванову Олександрю Павловичу

1. Тема кваліфікаційної роботи: «Інтегровані мережеві технології для безперебійної роботи промислових об'єктів»
керівник кваліфікаційної роботи Віталій ВОЛОХІН, канд.техн.наук, доцент,
затверджені наказом Державного університету інформаційно-комунікаційних технологій від «15» жовтня 2024р. №320,
2. Строк подання кваліфікаційної роботи «29» грудня 2024р.
3. Вихідні дані до кваліфікаційної роботи: Науково-технічна література, технологічні рамки та протоколи, дизайн і архітектура системи, технічні характеристики пристрою та вимоги, інтеграція та функціональність, оцінка та бенчмаркінг.
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)
 1. Застосування мережевих технологій для моніторингу та автоматизації сироварного підприємства
 2. Налаштування та підтримка мереж на промислових об'єктах
 3. Підтримка безпеки та вирішення проблем мережі
 4. Інтеграція IoT на промислових об'єктах
 5. Оцінка ефективності впроваджених рішень
5. Перелік ілюстративного матеріалу: презентація
 1. Мета, об'єкт, предмет дослідження
 2. Актуальність роботи
 3. Діаграма автоматизації чана варки
 4. Raspberry Pi як основний вузол управління та моніторингу
 5. Датчики
 6. Супутниковий інтернет та хмари у промисловості
 7. RAID система
 8. Резервне енергопостачання та UPS
 9. Висновки

6. Дата видачі завдання «01» вересня 2024р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Збір даних	10.10-12.10.2024	
2	Обробка вихідного матеріалу	12.10-15.10.2024	
3	Розробка теоретичної частини	15.10-18.10.2024	
4	Налаштування та підтримка мереж на промислових об'єктах	20.10-23.10.2024	
5	Підтримка безпеки та вирішення проблем мережі	25.10-29.10.2024	
6	Інтеграція IoT на промислових об'єктах	30.10-15.11.2024	
7	Оцінка ефективності впроваджених рішень	26.11-30.11.2024	
8	Висновки за результатами роботи	30.11-02.12.2024	
9	Розробка презентаційних матеріалів	02.12-08.12.2024	
10	Попередній захист роботи	09.12-11.12.2024	

Здобувач вищої освіти

(підпис)

Олександр ІВАНОВ

Керівник кваліфікаційної роботи

(підпис)

Віталій ВОЛОХІН

Реферат

Текстова частина кваліфікаційної роботи на здобуття освітнього ступеня магістр: 138 стор., 37 рис., 2 табл., 14 джерел.

Мета роботи – підвищення ефективності та безперебійності роботи промислових об’єктів шляхом автоматизації виробничих процесів, інтеграції IoT-рішень для моніторингу та збору даних, впровадження надійних систем зберігання даних (RAID), а також забезпечення комплексного захисту мережі та відновлення роботи у разі аварій.

Об’єкт дослідження – є процес інтеграції сучасних мережевих технологій для забезпечення стабільної роботи промислових підприємств.

Предмет дослідження – методи підвищення надійності, продуктивності та безпеки виробничих процесів на основі сучасних мережевих технологій, інтеграції IoT-пристроїв, використання систем зберігання RAID та додаткових джерел живлення.

Короткий зміст роботи: Дослідження присвячене вирішенню проблем забезпечення стабільної роботи промисловості на прикладі сироварні, шляхом впровадження сучасних мережевих технологій та автоматизації процесів. У роботі розглядається застосування Raspberry Pi для збору даних з датчиків та управління технологічними процесами. Особлива увага приділена методам захисту мережі (брандмауери, IDS/IPS, VPN) та забезпеченню зберігання даних на основі RAID-масивів. Проведено оцінка собівартості впроваджених рішень. Розроблені рекомендації спрямовані на підвищення безперебійності, надійності та продуктивності підприємств.

Ключові слова: автоматизація, сироварна промисловість, мережеві технології, IoT, Raspberry Pi, RAID, безперебійність, безпека мережі.

Abstract

Text part of the qualification work for the degree of Master: 138 pages, 37 pictures, 2 tables, 14 sources.

The purpose of the work is to increase the efficiency and uninterrupted operation of industrial facilities by automating production processes, integrating IoT solutions for monitoring and data collection, implementing a reliable data storage system (RAID), as well as ensuring comprehensive network protection and recovery in the event of an accident.

The object of the study is the process of integrating modern network technologies to ensure stable operation of industrial enterprises.

The subject of the study is methods for increasing the reliability, productivity and safety of production processes based on modern network technologies, integrating IoT devices, using a RAID storage system and an additional power source.

Summary of the work: Research is devoted to solving the problem of ensuring stable operation of industry on the example of a gray mill, by implementing modern network technologies and automation processes. The work considers the use of Raspberry Pi for collecting data from sensors and controlling technological processes. Particular attention is paid to network protection methods (firewalls, IDS/IPS, VPN) and data storage based on RAID arrays. The cost of implemented solutions was assessed. Recommendations were developed to improve the continuity, reliability and productivity of enterprises.

Keywords: automation, food industry, network technologies, IoT, Raspberry Pi, RAID, continuity, network security.

ЗМІСТ

	Стор.
ВСТУП.....	8
1.ЗАСТОСУВАННЯ МЕРЕЖЕВИХ ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ МОНІТОРИНГУ ТА АВТОМАТИЗАЦІЇ ПІДПРИЄМСТВА.....	10
1.1 Сучасний стан розвитку мережеских технологій у промисловості.....	10
1.2 Проблеми та виклики мережеских систем на промислових об'єктах.....	11
1.3 Технології та провайдери для підключення Інтернету на промислових об'єктах	14
1.4 Використання супутникового інтернету на промислових об'єктах.....	15
1.5 Переваги та недоліки сучасних підходів до забезпечення Інтернет-зв'язку на промислових об'єктах.....	22
1.6 Альтернативні рішення для забезпечення стабільного підключення інтернету до промисловості.....	28
2 . НАЛАШТУВАННЯ ТА ПІДТРИМКА МЕРЕЖ НА ПРОМИСЛОВИХ ОБ'ЄКТАХ.....	33
2.1 Вибір обладнання для промислових об'єктів.....	33
2.2 Налаштування безпеки мережі для захисту від кібератак.....	35
2.3 Вибір мережевого обладнання (маршрутизатори, комутатори, медіаконвертори).....	38
2.4 Використання SD-WAN для оптимізації мережевого управління.....	41
2.5 Використання технології 5G для підвищення швидкості та надійності підключення.....	45
2.6 Резервування каналів для безперебійної роботи підприємства.....	46
2.7.1 Вибір Raspberry Pi як рішення для моніторингу й обробки даних.....	48
2.7.2 Підключення датчиків до Raspberry Pi через GPIO-порти та інтерфейси.....	57
2.7.3 Роль Raspberry Pi як міні-сервера для зберігання та передачі даних.....	76
2.7.4 Реалізація аварійного сповіщення.....	77
2.7.5 Raspberry Pi OS.....	77
3.ПІДТРИМКА БЕЗПЕКИ ТА ВИРІШЕННЯ ПРОБЛЕМ МЕРЕЖІ.....	78
3.1 Основні проблеми безпеки мережі на промислових об'єктах.....	79
3.2 Методи захисту мережі.....	80
3.3 Забезпечення надійного зберігання та відновлення даних у разі аварій.....	83
3.4 Огляд та вибір програмного забезпечення для діагностики та виправлення помилок мережі.....	86
4.ІНТЕГРАЦІЯ ІОТ НА ПРОМИСЛОВИХ ОБ'ЄКТАХ.....	87
4.1 Використання IoT для моніторингу та управління виробничими процесами.....	89

4.2	Забезпечення стабільності та надійності мережі в умовах використання IoT.....	91
4.3	Впровадження сенсорних мереж для оптимізації операційної діяльності.....	93
4.4	Енергетична незалежність в інтегрованих мережах IoT.....	95
4.5	Вступ до автоматизації на основі сенсорних даних.....	105
4.6	Загальна архітектура системи моніторингу.....	108
4.6.1	Основні компоненти системи.....	109
4.6.2	Принцип роботи системи та Переваги архітектури.....	110
4.6.3	Переваги архітектури.....	112
5.	ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ВПРОВАДЖЕНИХ РІШЕНЬ.....	114
5.1	Порівняльний аналіз ефективності впроваджених рішень у сирній промисловості	114
5.2	Очікуваний вплив модернізації на безперебійність роботи підприємства.....	117
5.3	Економічну доцільність впроваджених рішень	109
	ВИСНОВКИ.....	123
	ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	125

Вступ

Актуальність теми. Сучасні промислові підприємства все більше залежать від стабільного підключення до Інтернету для забезпечення безперебійної роботи виробничих процесів, обміну даними та інтеграції з різними системами моніторингу й автоматизації. Після масштабних руйнувань інфраструктури через військову агресію росії проти України, багато промислових об'єктів, особливо у віддалених регіонах, стикаються з проблемами забезпечення надійного Інтернет-зв'язку. Відсутність стабільного підключення може призводити до збоїв у роботі підприємств, що в свою чергу впливає на економічну стабільність та продуктивність виробництва. Тому питання інтеграції сучасних мережевих технологій для забезпечення безперебійної роботи промислових об'єктів у віддалених місцевостях є надзвичайно актуальним.

Об'єкт дослідження. Об'єктом дослідження є процес інтеграції сучасних мережевих технологій для забезпечення стабільної роботи промислових підприємств.

Предмет дослідження. Предметом дослідження є можливості використання сучасних технологій для створення стабільної, захищеної та ефективної мережевої інфраструктури для промислових об'єктів.

Завдання дослідження.

1. Дослідити сучасні мережеві технології, що можуть бути використані для забезпечення безперебійної роботи промислових підприємств.
2. Проаналізувати виклики та особливості підключення Інтернету на промислових об'єктах у віддалених місцевостях.
3. Вивчити методи забезпечення безпеки мережі для захисту даних та безперебійної роботи підприємств.

4. Оцінити ефективність інтеграції мережевих технологій та розробити рекомендації для їх впровадження на промислових об'єктах.

Методи дослідження. Для досягнення поставлених завдань будуть використовуватись такі методи:

1. Аналіз літературних джерел та сучасних технологій з питань побудови надійних мережевих інфраструктур на промислових об'єктах.
2. Вивчення досвіду фахівців у сфері мережевих технологій, кібербезпеки та управління промисловими мережами.
3. Проведення опитування та дослідження досвіду промислових підприємств щодо використання сучасних мережевих технологій у віддалених регіонах.
4. Практичні експерименти з моделювання та тестування інтеграції мережевих рішень для забезпечення безперебійної роботи підприємств.

Отже, дане дослідження є важливим для промислових об'єктів, розташованих у віддалених місцевостях, які прагнуть забезпечити стабільну та безпечну роботу своєї інфраструктури. Результати дослідження сприятимуть розробці ефективних рішень для оптимізації мережевих ресурсів і забезпечення безперебійної роботи підприємств в умовах обмеженої доступності традиційних мережевих рішень.

РОЗДІЛ 1. ЗАСТОСУВАННЯ МЕРЕЖЕВИХ ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ МОНІТОРИНГУ ТА АВТОМАТИЗАЦІЇ ПІДПРИЄМСТВА

1.1 Сучасний стан розвитку мережевих технологій у промисловості

Модернізація мережевої інфраструктури компанії стає все більш важливою в контексті цифрової трансформації, яка впливає на всі сектори економіки.

Збільшення обсягів передачі даних, Інтернет речей (IoT), хмарні обчислення та інтенсивне впровадження технологій великих даних (big data) змушують бізнес переглядати свій підхід до побудови інфраструктури.

Традиційні мережеві архітектури вже недостатньо ефективні для підтримки потреб сучасного бізнесу, що збільшує потребу в модернізації.

Інтеграція промислових мереж з Інтернетом речей (IoT) та розвиток промислового Інтернету речей (IIoT) дозволяють підключати різноманітні пристрої та системи для покращення продуктивності та ефективності виробництва [4] [6]. Архітектура промислових мереж, таких як пасивні оптичні мережі (PON), забезпечує високу швидкість з'єднання та гнучкість, що дозволяє автоматизувати промислові процеси [1]. Водночас тема енергоефективності відіграє важливу роль у сталому розвитку компаній.

Витрати на енергоспоживання для мережевих компонентів продовжують зростати, а підвищення екологічних стандартів і правил також створює додатковий тиск на бізнес.

Зокрема, скорочення викидів вуглекислого газу та оптимізація енергоспоживання стали не лише важливими показниками соціальної відповідальності, а й мають значні економічні вигоди для компаній.

Тому дослідження модернізації мережевої інфраструктури підприємства з використанням енергоефективних технологій є актуальними з кількох причин:

- Необхідність покращити продуктивність і надійність корпоративних мереж, особливо потреба підтримувати роботу великих обсягів даних і критичних програм.
- Зменшення операційних витрати вашої компанії, зменшивши енергоспоживання вашої мережевої інфраструктури.
- Відповідність сучасним екологічним стандартам та вимогам сталого розвитку.
- Зміцніть конкурентоспроможність своєї компанії шляхом впровадження новітніх технологій та оптимізації ваших ІТ-ресурсів.

Таким чином, модернізація вашої мережевої інфраструктури з урахуванням енергоефективних технологій є обов'язковою для сучасних компаній, які хочуть підвищити ефективність своїх бізнес-процесів і зменшити витрати на енергоспоживання, залишаючись конкурентоспроможними на ринку.

1.2 Проблеми та виклики мережевих систем на промислових об'єктах

Мережеві системи відіграють важливу роль у сучасній промисловості, забезпечуючи безперебійну роботу, автоматизацію процесів, контроль і моніторинг обладнання. Однак впровадження та експлуатація таких систем стикаються з низкою проблем і викликів, які можуть суттєво вплинути на ефективність виробництва та його безпеку.

Одна з ключових проблем – це забезпечення безперебійності роботи мережі. Промислові об'єкти часто працюють у жорстких умовах, де можливі перебої електропостачання, фізичні пошкодження обладнання чи перешкоди

в передачі сигналу. Для підприємств, які покладаються на безперервний процес виробництва, як-от сироварні, подібні збої можуть призвести до серйозних фінансових втрат, оскільки продукція може зіпсуватися через порушення температурного чи технологічного режиму.

Ще один виклик – це захист даних та кібербезпека. З розвитком технологій і впровадженням Інтернету речей (IoT) промислові мережі стають потенційною мішенню для хакерів. Неавторизований доступ до систем може викликати порушення в роботі обладнання, злив конфіденційної інформації чи навіть саботаж. Зокрема, для харчової промисловості це може включати зміну параметрів технологічного процесу, що поставить під загрозу якість і безпеку продукції.

Неприспосованість застарілого обладнання до сучасних технологій також є серйозною проблемою. Багато промислових підприємств мають обладнання, яке було встановлене десятки років тому. Такі системи не завжди підтримують сучасні мережеві протоколи або не мають інтерфейсів для інтеграції з новими технологіями. Це значно ускладнює процес модернізації і вимагає значних фінансових витрат.

Масштабованість та гнучкість систем також викликають труднощі. Наприклад, розширення підприємства або впровадження нових виробничих ліній потребує адаптації існуючих мережевих рішень. Старі мережеві архітектури не завжди можуть ефективно підтримувати збільшену кількість пристроїв і датчиків, що призводить до їх перевантаження або втрати продуктивності.

Також слід зазначити високу вартість впровадження та підтримки сучасних мережевих систем. Промислові об'єкти вимагають надійного обладнання, сертифікованого для роботи в умовах високих температур, пилу чи вібрації. Крім того, потрібні спеціалісти для обслуговування та налаштування мереж, що створює додаткове фінансове навантаження.

Не менш важливою є проблема відсутності єдиних стандартів у мережесих технологіях. Різні виробники використовують власні протоколи, що ускладнює інтеграцію систем від різних постачальників. Наприклад, при створенні автоматизованої системи для сироварні може виникнути ситуація, коли датчики температури й вологості одного виробника не можуть коректно взаємодіяти з контролерами іншого.

Ще одним важливим викликом є обмеження в навчанні персоналу. Інженери та технічні фахівці не завжди мають достатній рівень знань для роботи з новими технологіями. Це призводить до помилок у налаштуванні чи обслуговуванні мереж, що також може викликати простої або аварії.

У підсумку, хоча мережеві системи здатні значно покращити ефективність промислових об'єктів, їх впровадження та експлуатація стикаються з численними труднощами. Для подолання цих викликів необхідно ретельно планувати модернізацію, забезпечувати безпеку даних, використовувати сучасні стандарти та інвестувати в навчання персоналу. Лише таким чином можна досягти оптимальної продуктивності та мінімізувати ризики.

1.3 Технології та провайдери для підключення Інтернету на промислових об'єктах

Промислові об'єкти, особливо розташовані у віддалених або важкодоступних районах, потребують надійного високошвидкісного підключення до Інтернету для ефективного функціонування критичних бізнес-процесів.

Вибір найкращої технології підключення є критичним фактором, який впливає на стабільність вашої мережевої інфраструктури та здатність вашої компанії реагувати на збої в мережі та інциденти.

В даний час існує кілька основних технологій підключення до Інтернету на промислових об'єктах.

- Оптиковолоконні мережі є найпоширенішим і надійним варіантом для промислових об'єктів, що забезпечує високу швидкість з'єднання з малою затримкою. Однак встановлення оптичного волокна у віддалених районах може бути економічно невигідним через високу вартість будівництва інфраструктури.
- Супутниковий Інтернет — ідеальне рішення для віддалених промислових об'єктів, які не можуть підключитися до кабельної мережі. Хоча ця технологія охоплює майже будь-яку точку світу, вона має такі обмеження як збільшена затримка сигналу та вартість пристрою.
- Радіорелейні лінії зв'язку — підходить для місць, де доступ до традиційних передових технологій обмежений, і забезпечує стабільне з'єднання на відстані до десятків кілометрів. Використання цієї техніки залежить від місцевої топографії та наявності прямої видимості між передавачем і приймачем.
- Мобільна мережа (4G/5G) — забезпечує гнучке та швидке підключення до Інтернету без прокладання кабелів. Це особливо актуально для тимчасових об'єктів і ситуацій, коли потрібне швидке розгортання мережі. Впровадження 5G відкриває нові можливості для галузі, особливо завдяки низькій затримці та високій пропускну здатності.
- Технологія малопотужної глобальної мережі (LPWAN) використовується для підключення великої кількості малопотужних пристроїв, таких як датчики та пристрої IoT. Важливо для промислових об'єктів, де здійснюється моніторинг виробничих процесів.

Огляд постачальника Ринок промислових Інтернет-послуг включає різноманітність постачальників, які спеціалізуються на певних типах технологій підключення.

- Глобальні постачальники супутникового Інтернету, такі як Starlink, Viasat і HughesNet, забезпечують надійне підключення в середовищах, де традиційні кабельні рішення недоступні.
- Місцеві постачальники оптоволоконних мереж, які працюють у регіоні чи країні, пропонують високу якість і високу швидкість передачі даних, але вони залежать від фізичної доступності в цьому регіоні.
- Мобільні оператори, такі як Vodafone, Kyivstar тощо, які пропонують підключення до Інтернету на основі 4G/5G, зосереджені на високій мобільності та гнучкості.

Правильний вибір технології підключення та правильного провайдера є основою ефективної модернізації мережевої інфраструктури та забезпечує безперебійну роботу промислових підприємств навіть у віддалених місцях.

1.4 Використання супутникового Інтернету на промислових об'єктах

Використання супутникового Інтернету на промислових об'єктах є ефективним рішенням для забезпечення стабільного підключення до мережі, що дозволяє реалізувати комплексну автоматизацію та віддалене управління технологічними процесами. В рамках цієї роботи супутниковий Інтернет використовується для зв'язку одноплатного комп'ютера Raspberry Pi, який керує системою моніторингу і автоматизації, з хмарними сервісами та централізованою системою управління підприємством.

Супутниковий Інтернет є особливо зручним для промислових підприємств, де необхідно забезпечити безперервний доступ до даних, швидкий обмін інформацією та можливість оперативного реагування на зміни в процесі. Така архітектура дозволяє організувати централізоване управління всіма підключеними вузлами, навіть якщо вони фізично розташовані в різних частинах виробничої лінії.

Архітектура підключення супутникового Інтернету. Система зв'язку базується на наступних компонентах:

1. Супутниковий модем - Модем виступає ключовою точкою підключення до супутникової мережі. Він приймає сигнал із супутника через антену та забезпечує з'єднання з локальними пристроями через Ethernet або Wi-Fi.
2. Raspberry Pi підключається до модему для передачі даних, отриманих із сенсорів, на сервери чи хмарні платформи. У зворотному напрямку, Raspberry Pi може отримувати команди від центральної системи управління через супутникову мережу.
3. Локальна мережа підприємства - Raspberry Pi може бути інтегрований у локальну мережу (LAN) підприємства для обміну даними з іншими вузлами. Це дозволяє об'єднати всі елементи автоматизації в єдину інформаційну систему.
4. Джерело безперебійного живлення - Для забезпечення стабільної роботи модему та Raspberry Pi у разі перебоїв з електропостачанням використовується UPS, який гарантує надійність роботи мережі.



Рисунок 1.1 – Прикладна схема супутникового інтернету

Принцип роботи мережі

- Передача даних - Система моніторингу, що працює на базі Raspberry Pi, генерує дані про виробничі процеси. Ці дані передаються через супутниковий Інтернет до центрального сервера для зберігання та аналізу.
- Оновлення програмного забезпечення - Супутниковий Інтернет забезпечує можливість віддаленого оновлення програмного забезпечення Raspberry Pi та інших компонентів системи автоматизації, що спрощує технічне обслуговування.
- Віддалене управління - Оператори або адміністратори мають доступ до всіх функцій системи в режимі реального часу. Вони можуть відправляти команди для регулювання параметрів, отримувати звіти та аварійні сповіщення через централізовану платформу управління.

Переваги супутникового Інтернету для промислових об'єктів

1. Стабільність і надійність - Завдяки прямому з'єднанню із супутником мережа не залежить від стану наземної інфраструктури, що забезпечує стабільний доступ до Інтернету.
2. Масштабованість - Супутниковий Інтернет дозволяє легко розширити мережу, підключаючи додаткові виробничі вузли або нові сегменти автоматизації.
3. Висока швидкість передачі даних - Сучасні супутникові провайдери, такі як Starlink, HughesNet або Viasat, пропонують високу швидкість з'єднання, що забезпечує ефективний обмін даними між системою управління та виробництвом.
4. Централізоване управління - Підключення до супутникового Інтернету дозволяє інтегрувати всі виробничі вузли в єдину систему управління, незалежно від їхнього фізичного розташування.
5. Мінімізація простоїв - У разі збоїв у роботі локальної мережі або наземних провайдерів супутниковий Інтернет забезпечує безперервний доступ до критично важливих функцій системи.

Основні провайдери та технології

Сучасний ринок пропонує різноманітні рішення для промислових компаній. Starlink, HughesNet і Viasat є найбільшими постачальниками супутникових послуг із широким географічним покриттям і здатністю підтримувати передачу великих обсягів даних.

Особливо перспективним рішенням є низькоорбітальна супутникова система, така як Starlink. Завдяки низькій орбітальній висоті ця система має значно менші затримки сигналу, ніж традиційні геостаціонарні супутники.

Таким чином, супутниковий Інтернет є стратегічним компонентом для забезпечення безперервної роботи промислових об'єктів у віддалених місцях. Промислові компанії можуть використовувати його як основне або резервне рішення для підтримки стабільності зв'язку, коли традиційні з'єднання пошкоджені або тимчасово недоступні.

Інтеграція супутникового Інтернету із системою автоматизації, побудованою на базі Raspberry Pi, значно підвищує ефективність управління виробничими процесами. Завдяки стабільності та гнучкості супутникового підключення підприємство отримує можливість забезпечувати централізований контроль, обмін даними в реальному часі та зниження ризиків, пов'язаних із простоєм мережі. Ця архітектура відповідає сучасним вимогам до автоматизації та цифровізації промислових об'єктів.

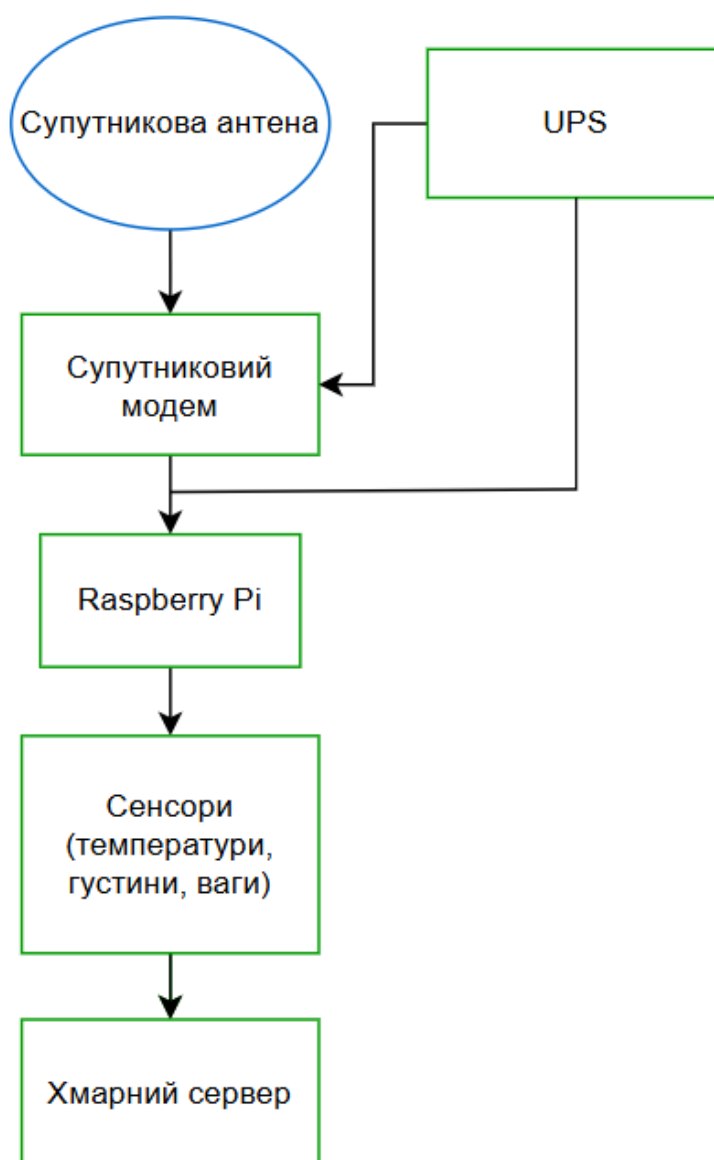


Рисунок 1.2 – схема підключення супутникового Інтернету до системи автоматизації на базі Raspberry Pi

Схема підключення супутникового Інтернету до системи автоматизації на базі Raspberry Pi включає кілька ключових елементів, кожен із яких виконує важливу роль у забезпеченні стабільного зв'язку, моніторингу та управління технологічними процесами. Основою системи є супутникова антена, яка приймає сигнал від супутника, розташованого на орбіті Землі. Цей сигнал потім передається до супутникового модему, який декодує інформацію та забезпечує доступ до Інтернету. Антена виготовляється зі стійких до погодних

умов матеріалів і повинна бути встановлена в місці з відкритим горизонтом для забезпечення якісного прийому сигналу.

Супутниковий модем виконує функцію шлюзу між супутниковою мережею та локальною системою автоматизації. Він забезпечує передачу даних до одноплатного комп'ютера Raspberry Pi через Ethernet-кабель або Wi-Fi. Ethernet-з'єднання зазвичай використовується для забезпечення максимальної стабільності та швидкості зв'язку. Модем також дозволяє інтегрувати систему автоматизації в глобальну мережу, що є важливим для передачі даних до центральної системи управління.

Raspberry Pi виступає центральним обчислювальним вузлом системи. Він збирає дані від підключених сенсорів, обробляє їх і передає на хмарний сервер або до локальної системи зберігання даних. Raspberry Pi підключається до сенсорів через GPIO-порти або спеціальні інтерфейси, такі як I2C, SPI чи UART. Це дозволяє інтегрувати в систему різні типи датчиків, зокрема датчики температури, густини та ваги, які забезпечують контроль критично важливих параметрів технологічного процесу. Наприклад, датчик температури DS18B20 вимірює температуру в чані варіння сиру, тоді як HX711 у парі з тензодатчиком фіксує вагу інгредієнтів. Вібраційний датчик густини контролює консистенцію сирної маси, що дозволяє автоматизувати подачу інгредієнтів і підтримувати стабільність виробничого процесу.

Для забезпечення стабільної роботи всієї системи у разі перебоїв з електропостачанням використовується джерело безперебійного живлення (UPS). Воно підключене до Raspberry Pi, супутникового модему та сенсорів, гарантуючи безперервну роботу навіть за відсутності основного живлення. Це забезпечує надійність виробничих процесів і запобігає втраті даних у критичних ситуаціях.

Отримані дані передаються Raspberry Pi на центральну систему управління або хмарний сервер через супутниковий Інтернет. Центральна

система забезпечує аналіз інформації, її архівування та можливість віддаленого управління. Це дозволяє операторам у реальному часі отримувати доступ до даних, реагувати на зміни в процесах і налаштовувати параметри системи.

Усі ці компоненти інтегруються в єдину архітектуру, яка забезпечує стабільний і надійний зв'язок між системою автоматизації та мережею. Супутниковий Інтернет гарантує доступ до даних і віддалене управління виробничими процесами, а Raspberry Pi виконує роль інтелектуального вузла, який забезпечує автоматизацію та гнучкість системи. Така архітектура дозволяє значно підвищити ефективність виробництва, знизити ризики простоїв та забезпечити відповідність сучасним вимогам до промислових систем.

1.5 Переваги та недоліки сучасних підходів до забезпечення Інтернет-зв'язку на промислових об'єктах.

У сучасних промислових умовах комунікація є не просто допоміжним, а стратегічним елементом, який безпосередньо впливає на виробничі процеси, можливості контролю та управління.

В даний час існує багато підходів до оснащення промислових об'єктів підключенням до мережі Інтернет, кожен з яких має свої особливості та обмеження, що зумовлюють його актуальність у різних умовах.

Далі ми розглянемо основні підходи з точки зору їх сильних і слабких сторін, щоб отримати загальне уявлення про потенціал кожного рішення для промислових систем.

Оптоволоконний зв'язок

Оптоволоконний зв'язок є одним із найдосконаліших рішень для підприємств, яким потрібна висока стабільність і швидкість передачі даних. Його особливості роблять його ідеальним для підтримки як основних бізнес-завдань, так і спеціалізованих завдань, таких як передача великої кількості інформації для відеоспостереження, дистанційного керування пристроями тощо.

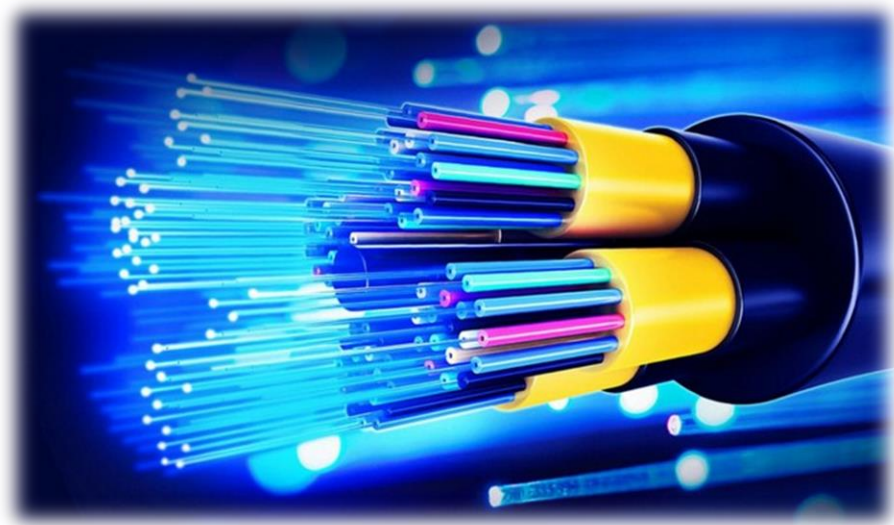


Рисунок 1.2 – оптоволоконний кабель

Сильні сторони:

1. Висока швидкість передачі даних: Оптоволоконний зв'язок пропонує одну з найвищих наразі доступних на ринку швидкостей передачі даних і є ідеальним вибором для підтримки високопродуктивних мережевих платформ.
2. Стійкість до перешкод : на сигнали, що передаються через оптоволоконні кабелі , не впливають електромагнітні поля чи радіочастотні перешкоди. Особливо це актуально для промислових об'єктів з великою кількістю технічного оснащення.

3. Довгий термін служби : оптоволокну надзвичайно довговічне та стійке до фізичних пошкоджень, що знижує ризик помилок зв'язку та забезпечує безперебійну роботу.

Слабкі сторони:

- Високі витрати на монтаж: Встановлення оптоволоконної лінії є значним фінансовим вкладенням для компаній, особливо враховуючи вартість прокладки кабелю у віддалених районах і складні географічні умови.
- Час встановлення: Через складність встановлення процес встановлення оптоволоконна може зайняти значну кількість часу та може вплинути на часові рамки для початку виробництва або оновлення.

Мобільні мережі (4G/5G)

З розвитком технологій мобільний зв'язок, особливо мережі 4G і 5G, стають популярними рішеннями для промислових об'єктів, оскільки вони пропонують високу швидкість з'єднання та швидкість розгортання мережі. Таке підключення ідеально підходить для підключення мобільних пристроїв або надання резервного каналу зв'язку.

Сильні сторони:

1. Мобільність і гнучкість: Мобільні мережі забезпечують високошвидкісний доступ до Інтернету без необхідності використання кабелів. Це дуже актуально для об'єктів, які знаходяться в складній ситуації або вимагають швидкого зв'язку.
2. Швидке розгортання: мережі 4G і 5G можна запуснути набагато швидше, ніж кабельні варіанти, що дозволяє компаніям миттєво інтегрувати комунікації у свої процеси.
3. Висока швидкість підключення: З впровадженням технології 5G тепер можна підтримувати не лише звичайні операції, але й

передачу великих обсягів даних для обчислень і аналізу в реальному часі.

Слабкі сторони:

- Залежність від покриття оператора: Навіть мережі 5G або 4G все ще не мають достатнього покриття в деяких віддалених районах, що може обмежити їх використання.
- Стабільність зв'язку : стабільність стільникового зв'язку залежить від рівнів покриття, погодних умов та інших зовнішніх факторів, які можуть спричинити збої в з'єднанні.
- Вразливість до кібератак: Використання публічних мобільних мереж створює ризик для безпеки даних, оскільки інформація передається через загальнодоступні канали.

Супутниковий Інтернет

Супутниковий Інтернет став необхідним для багатьох промислових компаній, оскільки він дає змогу спілкуватися навіть у найвіддаленіших і важкодоступних місцях. Це дозволяє підприємствам працювати незалежно від місцевої інфраструктури.



Рисунок 1.3 – Супутникова тарілка інтернет з'єднання

Сильні сторони:

- Наявність у віддалених районах: Супутниковий Інтернет доступний практично в усьому світі, тому його можна використовувати навіть у найвіддаленіших місцях.
- Гнучкість розташування: завдяки можливості швидкого підключення пристроїв супутниковий Інтернет можна використовувати навіть у мобільних об'єктах і підприємствах із нерегулярною інфраструктурою.
- Незалежність від місцевої інфраструктури: супутниковий зв'язок не залежить від локальних кабельних мереж і наземної інфраструктури, що підвищує стабільність у разі непередбачених інцидентів.

Слабкі сторони:

- Затримка сигналу: Для завдань, де передача даних у реальному часі є критичною, великі затримки можуть бути проблемою.
- Зростання вартості пристроїв: Незважаючи на те, що технологічний прогрес зменшує витрати, витрати на встановлення та обслуговування супутникового Інтернету залишаються високими і можуть вплинути на вибір цього рішення.
- Чутливість до погодних умов: Погана погода може вплинути на якість сигналу та викликати перебої в зв'язку.



Рисунок 1.4 – Супутник інтернет з'єднання

Локальні безпроводні мережі (Wi-Fi, WiMAX)

Локальні безпроводні мережі є ефективним засобом зв'язку в межах обмеженої території промислового об'єкта, такого як виробничий цех або склад. Це дозволяє швидко отримати доступ до вашої внутрішньої мережі та забезпечити приватне підключення у вашому закладі.

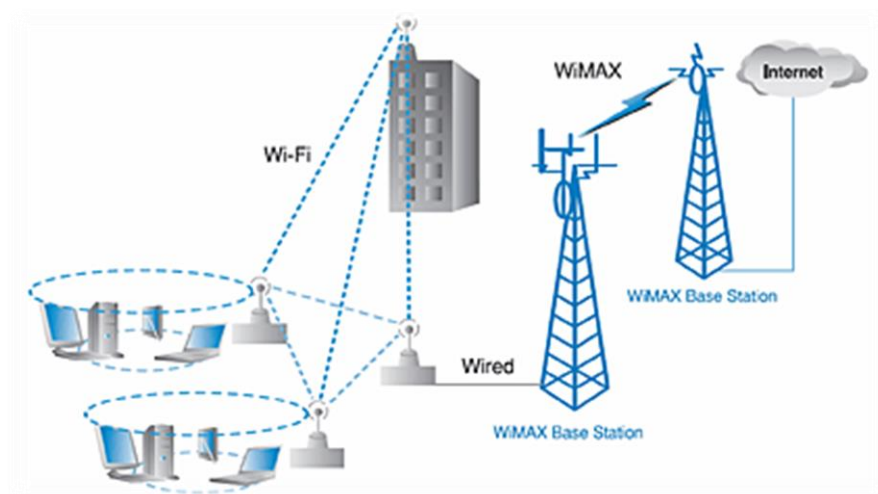


Рисунок 1.5 – Приклад локальної та бездротової мережі

Сильні сторони:

- Економічна ефективність: Бездротова локальна мережа зазвичай має нижчі витрати на встановлення та обслуговування порівняно з супутниковими або кабельними варіантами.
- Швидкість і стабільність локальної мережі: Wi-Fi і WiMAX забезпечують швидке підключення та мінімальну затримку в певній зоні.
- Безпека та контроль : мережі можна налаштувати для приватного використання, підвищуючи безпеку даних.

Слабкі сторони:

- Обмеження зони покриття: Локальні мережі мають обмежені зони покриття, що може обмежити їх використання у великих об'єктах.
- Слабкий сигнал через перешкоди: Наявність металевих конструкцій або товстих стін може істотно вплинути на якість зв'язку.

Промислові об'єкти часто потребують поєднання підходів для забезпечення необхідного рівня стабільності, швидкості та надійності Інтернет-зв'язку.

1.6 Альтернативні рішення для забезпечення стабільного підключення інтернету до промисловості

Забезпечення стабільного підключення до Інтернету для промислових об'єктів стає все більш важливим з огляду на підвищену автоматизацію, впровадження Інтернету речей (IoT) і необхідність постійного моніторингу та контролю виробничих процесів.

Якщо підключення ненадійне або географічно обмежене, необхідні альтернативні рішення для забезпечення гнучкості та надійності мережевої інфраструктури.

Основні альтернативні рішення:

Гібридні мережеві рішення (поєднання кількох типів з'єднань)

Гібридні мережі поєднують різні типи з'єднань для забезпечення резервування та підвищення стабільності з'єднання. Наприклад, використовувати оптоволоконний кабель як основне джерело Інтернету та супутникове з'єднання як резервне. У разі виходу з ладу основного каналу зв'язку безперервність процесу можна підтримувати шляхом автоматичного перемикавання на резервний канал.

- Сильні сторони: Резервування забезпечує більш високу надійність з'єднання.

Автоматичне перемикавання після відмови мінімізує час простою в разі помилки.

- Слабкі сторони: Вимагає налаштування кількох каналів підключення, що збільшує витрати на обладнання та обслуговування.

Технологія SD-WAN (Software-Defined Wide Area Network)

Використання SD-WAN дозволяє більш гнучко керувати різними типами підключення та оптимізувати використання наявних мережевих ресурсів. SD-WAN забезпечує інтелектуальний розподіл трафіку, що сприяє покращенню стабільності з'єднання і зниженню затримок. Це особливо важливо для промислових об'єктів, де потрібно оперативно обробляти дані від численних сенсорів та IoT-пристроїв.

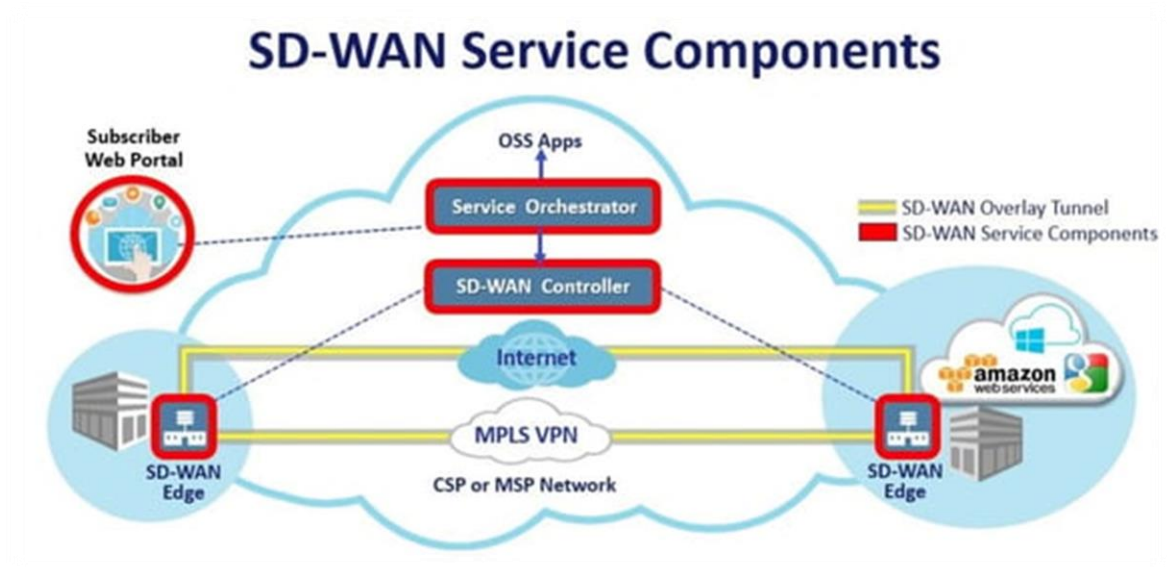


Рисунок 1.6 – Приклад SD-WAN

- Сильні сторони: Підвищує ефективність використання мережевих ресурсів, забезпечує кращу стабільність за рахунок інтелектуального маршрутизації.
- Слабкі сторони: Вимагає інвестицій у спеціалізоване ПЗ та обладнання, а також наявності кваліфікованого персоналу для налаштування і підтримки.

3.Приватні LTE/5G мережі

Приватні LTE або 5G мережі можуть бути створені на базі корпоративних вишок або розгортання внутрішніх базових станцій. Це рішення забезпечує високу швидкість, стабільність і надійність передачі даних без використання публічних мереж. Відокремлені від загальнодоступних каналів, приватні мережі є безпечнішими для промислових об'єктів.

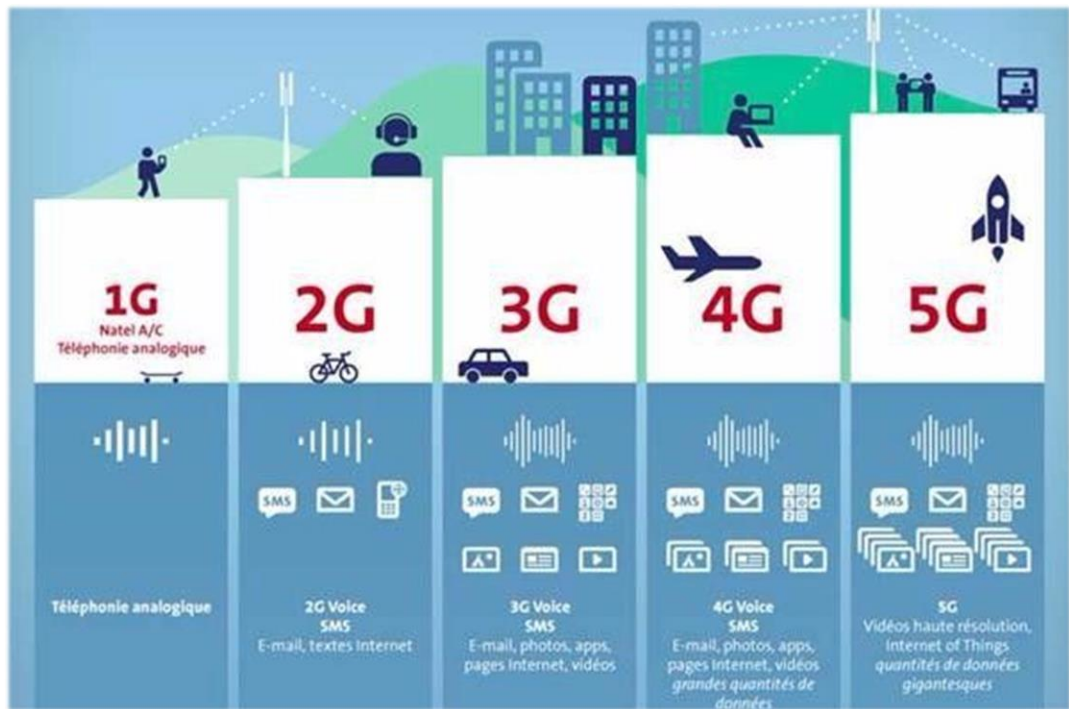


Рисунок 1.7 – Можливості 1G-5G інтернету

- Сильні сторони: Висока пропускна здатність, можливість підтримки великої кількості підключень, підвищена безпека завдяки відокремленню від публічних мереж.
- Слабкі сторони: Потребує значних капіталовкладень на налаштування мережі, а також подальших витрат на обслуговування.

4. Мікрохвильові канали зв'язку

Мікрохвильові канали зв'язку забезпечують високошвидкісну передачу даних на відносно великі відстані без потреби у фізичному кабелі. Це рішення є ефективним для промислових об'єктів, що розташовані у важкодоступних місцях або потребують швидкого розгортання підключення. Проте якість сигналу може залежати від погодних умов.

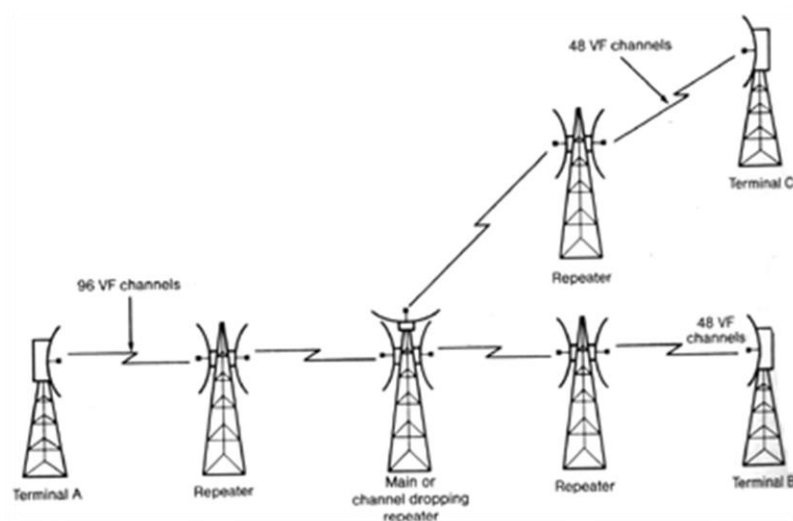


Рисунок 1.8 – Візуалізація мікрохвильового зв'язку

- Сильні сторони: Швидка установка, відсутність потреби у фізичній кабельній інфраструктурі, висока швидкість передачі даних.
- Слабкі сторони: Чутливість до погодних умов і фізичних перешкод, обмежена дальність дії.

Порівняльний аналіз альтернативних рішень

Вибір альтернативного рішення залежить від специфіки промислового об'єкта, його розташування, доступу до інфраструктури і потреб у стабільності та швидкості зв'язку. Гібридні мережі і SD-WAN підходять для об'єктів, де критично важливо мати кілька резервних варіантів з'єднання, тоді як приватні LTE/5G мережі є ефективними для підприємств з високими вимогами до захищеності інформації. Мікрохвильові канали оптимальні для тимчасового чи швидкого встановлення зв'язку у віддалених місцях.

Таким чином, у випадках, де стандартні методи підключення є обмеженими або недостатньо стабільними, альтернативні рішення можуть не

лише забезпечити безперебійність з'єднання, але й підвищити загальну ефективність мережевої інфраструктури промислових об'єктів.

РОЗДІЛ 2. НАЛАШТУВАННЯ ТА ПІДТРИМКА МЕРЕЖ НА ПРОМИСЛОВИХ ОБ'ЄКТАХ

У сучасних промислових умовах ефективне налаштування і підтримка мережі є критичними для безперервної роботи підприємств. Забезпечення стабільності та безпеки мережевої інфраструктури вимагає як використання надійного обладнання, так і застосування комплексних методів захисту від загроз.

2.1 Вибір обладнання для промислових об'єктів

Промислові об'єкти часто потребують спеціалізованого мережевого обладнання, здатного витримувати агресивні умови довкілля та забезпечувати безперервність роботи мережі. Нижче подані ключові аспекти для вибору основних елементів мережі.

Маршрутизатори, які використовуються на промислових об'єктах, повинні відповідати стандартам міцності та надійності. Таке обладнання має підтримувати розширений температурний діапазон та бути стійким до зовнішніх впливів, наприклад, пилу і вологи. Багато сучасних промислових маршрутизаторів також оснащені функціями резервування з'єднання та підтримкою VPN для захищеного доступу.



Рисунок 2.1 – Маршрутизатор

Комутатори. Для промислових мереж оптимально підходять керовані комутатори з підтримкою VLAN, QoS та PoE. Це дозволяє налаштувати пріоритет трафіку для критичних сервісів, забезпечуючи стабільну роботу навіть за високого навантаження.



Рисунок 2.2 – Комутатор

Медіаконвертори використовуються для інтеграції мереж, що використовують різні фізичні середовища, наприклад, волоконно-оптичні та мідні кабелі. Для промислових об'єктів важливо обирати медіаконвертори з підтримкою промислових стандартів, таких як IEC 61850, для забезпечення стабільного обміну даними між різними сегментами мережі.



Рисунок 2.3 – Медіаконвертер

Для забезпечення безперебійної роботи, наприклад, можна використовувати комбіновані підходи: основним джерелом інтернет-з'єднання може слугувати оптоволоконний канал, а резервним — LTE/5G-модуль. Така структура мінімізує ризики відключення зв'язку.

2.2 Налаштування безпеки мережі для захисту від кібератак

Безпека мереж на промислових об'єктах є критичним аспектом, особливо з огляду на потенційні загрози від кібератак. Оскільки промислові об'єкти часто використовують мережі для обміну конфіденційними даними та управління обладнанням, налаштування захисту вимагає багаторівневого підходу, що включає кілька основних рішень.

Основні заходи для безпеки мережі

- Брандмауери (Firewall) - Застосування брандмауерів для обмеження доступу до мережі є першим рівнем захисту від зовнішніх загроз. Для промислових об'єктів рекомендується використовувати брандмауери корпоративного класу з функціями глибокої інспекції пакетів (DPI), які здатні фільтрувати мережевий трафік і блокувати підозрілі запити.
- Системи виявлення та запобігання вторгненням (IDS/IPS) - IDS/IPS системи дозволяють контролювати мережевий трафік і своєчасно виявляти потенційні атаки. Вони можуть бути налаштовані на автоматичне блокування шкідливого трафіку, що суттєво знижує ризик проникнення в мережу.
- Віртуальні приватні мережі (VPN) - Використання VPN забезпечує захищений доступ до мережі для віддалених підключень. Для промислових об'єктів VPN також слугує додатковим бар'єром безпеки для IoT-пристроїв та сенсорів, які передають дані віддалено.

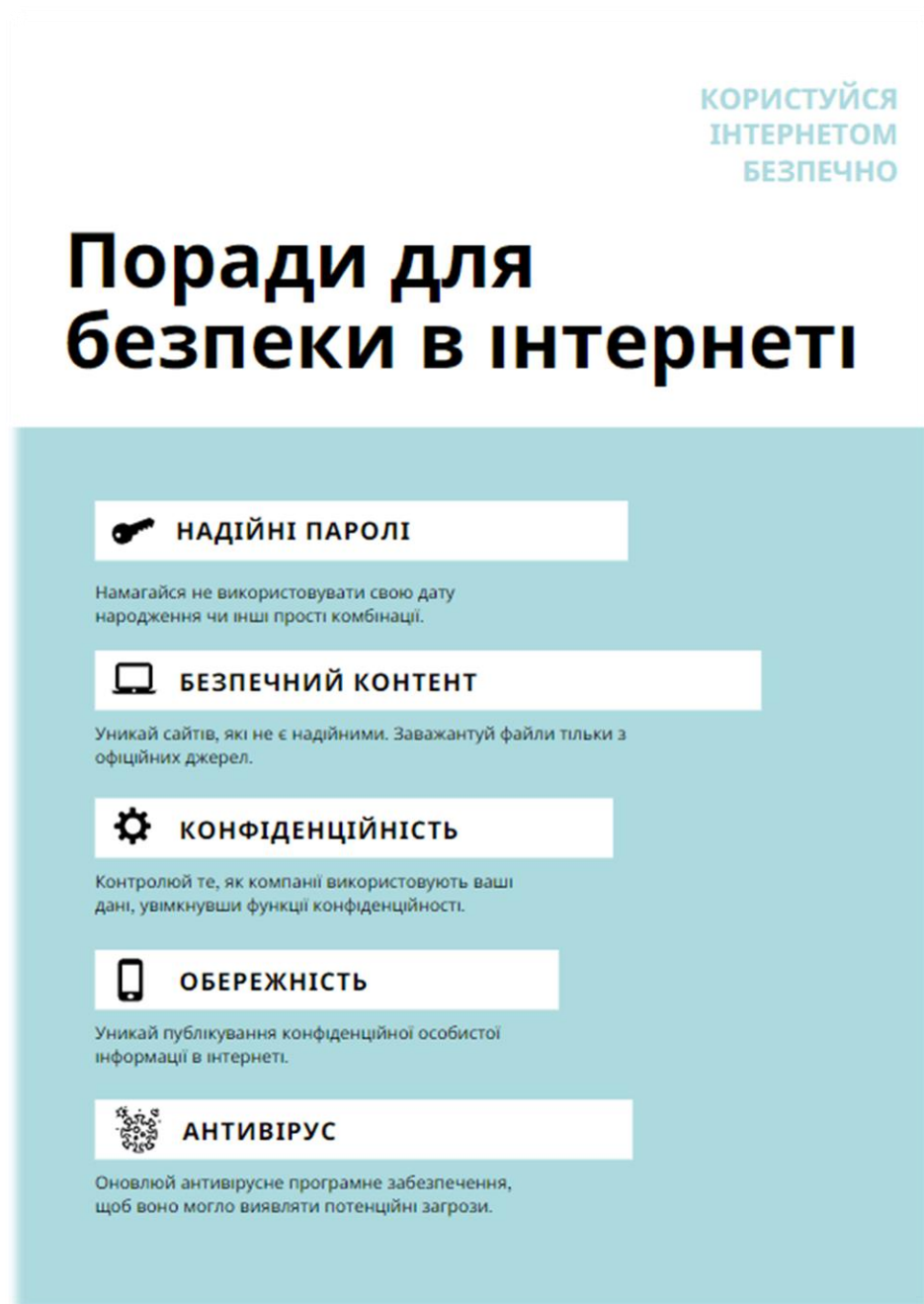


Рисунок 2.4 – Поради для безпеки в інтернеті

Застосування інтегрованого рішення, яке включає брандмауери, IDS/IPS та VPN, є найефективнішим для комплексного захисту мережі. Наприклад, можна налаштувати автоматичне оновлення сигнатур IDS/IPS-систем для виявлення нових загроз у реальному часі. Це дозволить не лише захистити дані, але й оперативно реагувати на нові загрози, мінімізуючи можливість проникнення в мережу.

2.3 Вибір мережевого обладнання (маршрутизатори, комутатори, медіаконвертори)



Рисунок 2.5 – Мережеве обладнання

Мережеве обладнання для промислових об'єктів має відповідати не лише вимогам пропускної здатності та швидкості, але також забезпечувати надійність і довговічність роботи в умовах потенційних фізичних і електромагнітних навантажень. При виборі обладнання слід орієнтуватися на стандарти промислового середовища, а також враховувати особливості розміщення пристроїв у виробничих зонах.

Маршрутизатори. Для промислових умов вибір маршрутизаторів має включати моделі, які забезпечують стійке підключення навіть у складних середовищах. Промислові маршрутизатори часто підтримують кілька типів підключення (наприклад, Ethernet, LTE/5G) та функцію автоматичного перемикавання на резервний канал у разі перебоїв основного з'єднання. Додатково, вони можуть мати захист від електромагнітних впливів, що дозволяє їх використовувати поблизу важкого обладнання.



Рисунок 2.6 – Види маршрутизаторів

Комутатори. Для мереж промислових об'єктів оптимально використовувати комутатори з функціями захисту та управління мережевим трафіком. Управляємі комутатори дозволяють розділити мережеві сегменти за допомогою VLAN, налаштувати пріоритетність передачі даних і контролювати трафік у реальному часі. Деякі комутатори можуть працювати на PoE (Power over Ethernet), що дозволяє підключати IoT-пристрої без додаткового електроживлення.



Рисунок 2.7 – Види комутаторів

Медіаконвертори дозволяють використовувати оптоволоконні кабелі для передачі даних на великі відстані без втрати сигналу. Це особливо актуально для об'єктів з великими площами, де необхідне швидке підключення між віддаленими точками. Важливо вибирати медіаконвертори, які підтримують захист від зовнішніх перешкод, що може включати електростатичний захист та ізоляцію від коливань напруги.

Для підвищення надійності мережевої інфраструктури на промислових об'єктах можна об'єднувати комутатори та маршрутизатори в систему резервування, яка гарантуватиме безперебійне підключення. Наприклад, налаштування основного та резервного маршрутизаторів із захистом від збоїв дозволить мережі автоматично перемикатися на резервний канал при будь-яких збоях основного, що забезпечує постійну стабільність зв'язку.



Рисунок 2.8 – Види медіаконверторів

2.4 Використання SD-WAN для оптимізації мережевого управління

Технологія SD-WAN (Software-Defined Wide Area Network) останніми роками стає популярною для оптимізації управління мережевими ресурсами, особливо на великих промислових об'єктах. Ця технологія дозволяє ефективніше керувати мережею завдяки централізованому управлінню та можливості автоматично розподіляти трафік між різними каналами зв'язку залежно від його навантаження і пріоритетності.

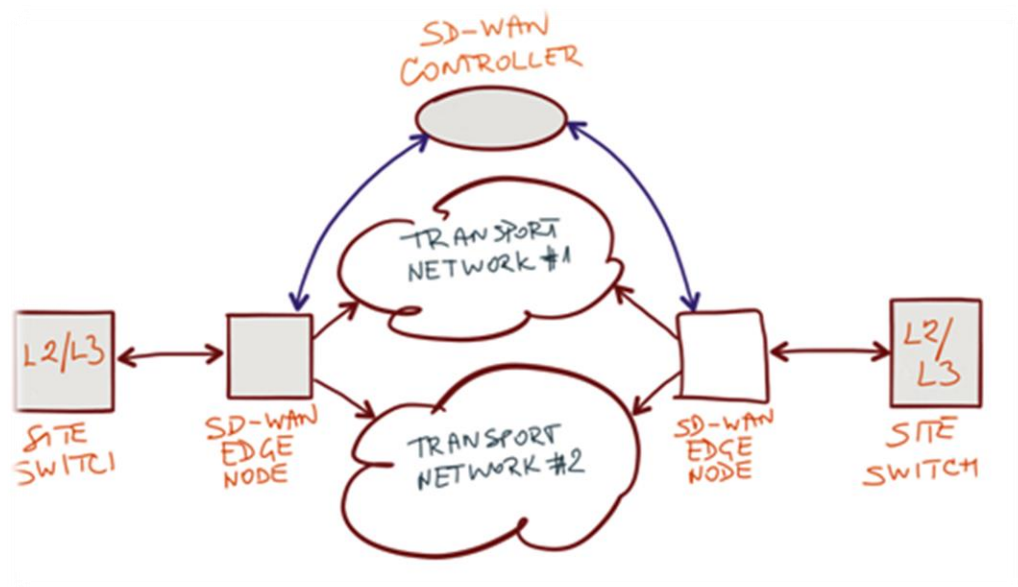


Рисунок 2.9 – Проста візуалізація SD-WAN

Програмно-визначена глобальна мережа (SD-WAN) зробила революцію в тому, як галузі керують і оптимізують свою мережеву інфраструктуру. Відокремлюючи рівень керування від апаратного рівня, SD-WAN дозволяє організаціям централізувати й автоматизувати керування мережею, зменшуючи складність і підвищуючи ефективність.

Однією з основних переваг SD-WAN є її здатність інтелектуально маршрутизувати трафік на основі попередньо визначених політик і умов мережі в реальному часі. Це гарантує, що критично важливі програми, такі як промислові системи управління або платформи аналізу даних, отримають пріоритетний доступ до пропускної здатності, мінімізуючи затримку та час

простою. Крім того, завдяки використанню кількох типів з'єднань, таких як MPLS, широкосмуговий і LTE, SD-WAN створює високостійку мережеву архітектуру, яка може плавно перемикає шляхи під час збоїв або перевантажень, забезпечуючи безперебійне з'єднання.

Галузі, які розгортають SD-WAN, також виграють від розширених функцій безпеки. Інтегровані протоколи безпеки, такі як наскрізне шифрування та динамічне виявлення загроз, захищають конфіденційні операційні дані від кіберзагроз, що особливо важливо для галузей, які залежать від пристроїв Інтернету речей і хмарних обчислень.

Крім того, SD-WAN спрощує розширення мережі, роблячи її ідеальною для промислових об'єктів, які перебувають у стадії розвитку або трансформації. Він усуває потребу в значних установках апаратного забезпечення, забезпечуючи централізоване налаштування та керування, значно скорочуючи час розгортання та експлуатаційні витрати.

Перевагою, яку часто забувають, є економічна ефективність SD-WAN. Використовуючи менш дорогі широкосмугові підключення поряд із традиційними мережами, галузі можуть зменшити залежність від дорогих виділених каналів, зберігаючи оптимальну продуктивність. Ця гнучкість дозволяє організаціям більш ефективно розподіляти ресурси, спрямовуючи заощадження на інновації або додаткові вдосконалення інфраструктури.

Для галузей з географічно розосередженими об'єктами SD-WAN забезпечує послідовне підключення в усіх місцях. Таке узгоджене керування мережею покращує співпрацю між сайтами, покращує видимість продуктивності мережі та дозволяє ІТ-командам завчасно вирішувати проблеми, зменшуючи ризик збоїв.

Масштабованість SD-WAN робить її особливо придатною для галузей, які інтегрують такі нові технології, як штучний інтелект і великі дані. Його здатність динамічно адаптуватися до мінливих вимог мережі забезпечує

безперебійну роботу цих ресурсомістких програм, що ще більше підвищує ефективність роботи.

Основні переваги SD-WAN для промислових об'єктів

- Підвищена гнучкість у розподілі трафіку - SD-WAN дозволяє оптимізувати використання декількох типів з'єднань, таких як MPLS, LTE, 5G, оптоволокну та інші, для кожного мережевого сегмента. Це дає змогу автоматично вибирати оптимальний шлях для передачі даних залежно від потреб мережі.
- Зменшення витрат на інфраструктуру - Оскільки SD-WAN дозволяє використовувати менш дорогі інтернет-з'єднання паралельно з традиційними каналами, це сприяє економії витрат. Промислові об'єкти можуть використовувати, наприклад, комбінацію звичайного інтернету та LTE як альтернативу дорогим спеціалізованим лініям.
- Централізоване управління - SD-WAN пропонує єдину панель управління для відстеження та налаштування мережевого обладнання в різних точках об'єкта. Це особливо важливо для великих підприємств, де мережі мають складну топологію та велику кількість точок доступу.

Для промислових об'єктів, що потребують високої швидкості та стабільності передачі даних між сегментами мережі, впровадження SD-WAN може бути вдалим рішенням. Наприклад, налаштування політики передачі даних на основі типу трафіку (наприклад, пріоритет для управлінського або критично важливого трафіку) дозволяє забезпечити ефективність роботи навіть під час високого навантаження на мережу.



Рисунок 2.10 – Переваги SD-WAN

Підсумовуючи, SD-WAN надає комплексне рішення для оптимізації керування мережею в промислових середовищах. Його гнучкість, безпека та ефективність роблять його необхідним інструментом для сучасних галузей промисловості, які прагнуть залишатися конкурентоспроможними у все більш зв'язаному світі.

2.5 Використання технології 5G для підвищення швидкості та надійності підключення

Технологія 5G має великий потенціал для застосування в промислових мережах завдяки високій швидкості передачі даних, зниженій затримці та більшій надійності порівняно з попередніми поколіннями мобільного зв'язку.

Використання 5G на промислових об'єктах може істотно підвищити ефективність роботи як стаціонарного, так і мобільного обладнання.

Переваги впровадження 5G на промислових об'єктах

1. Висока пропускна здатність і швидкість - 5G забезпечує швидкості передачі даних у кілька разів вищі, ніж 4G, що дозволяє миттєво обробляти великі обсяги інформації, які генеруються на виробництві, наприклад, при використанні IoT сенсорів і інших пристроїв.
2. Мінімальна затримка - Затримка у мережах 5G становить менше 1 мс, що дозволяє реалізовувати проекти з високими вимогами до швидкості реагування, такі як автоматизоване управління виробничим обладнанням або віддалене керування технікою.
3. Підвищена надійність - 5G пропонує можливості для резервування з'єднань та підвищеної стійкості до збоїв, що важливо для критично важливих систем. Промислові об'єкти можуть використовувати приватні 5G мережі, що знижують ризик перешкод та підвищують стабільність зв'язку.

Використання приватної 5G мережі на промислових об'єктах може бути корисним для об'єднання пристроїв і систем з високими вимогами до швидкості та надійності передачі даних. Наприклад, у великих цехах, де одночасно працює безліч роботизованих пристроїв, 5G може забезпечити синхронізацію роботи в реальному часі, що підвищує продуктивність та знижує ризик виникнення збоїв.

2.6 Резервування каналів для безперебійної роботи підприємства

У промислових умовах безперебійне підключення має вирішальне значення для підтримки ефективності виробництва та забезпечення надійності системи. Резервування каналів або системи резервного копіювання каналів служать життєво важливим механізмом для захисту від збоїв у з'єднанні, забезпечуючи безперебійне виконання критичних операцій.

Одним із підходів до резервування є розгортання кількох постачальників послуг Інтернету (ISP). Підключаючись до різноманітних провайдерів, галузі можуть зменшити ризики, пов'язані з регіональними збоями або збоями окремих провайдерів. У разі збою основного підключення система може автоматично переключитися на резервне, зберігаючи безперервність роботи.

Реалізація надлишкових мережевих шляхів, таких як подвійні канали Ethernet або оптоволоконні з'єднання, додатково підвищує надійність. Ці паралельні шляхи налаштовані на миттєве перенаправлення даних під час збою основного каналу, запобігаючи збоям у зв'язку чи передачі даних. Надлишкові канали часто використовують протоколи динамічної маршрутизації, такі як OSPF або BGP, які забезпечують автоматичне перемикання після відмови та вибір оптимального шляху.

Балансування навантаження доповнює резервування, розподіляючи трафік між кількома активними посиланнями, підвищуючи ефективність мережі. У ситуаціях, коли один канал стає перевантаженим, трафік перенаправляється на альтернативні шляхи, уникаючи вузьких місць і зберігаючи продуктивність. Технологія балансування навантаження особливо ефективна в поєднанні з SD-WAN, яка динамічно визначає пріоритетність трафіку на основі вимог програми.

Інший рівень резервування досягається за допомогою супутникового зв'язку. Хоча супутникові зв'язки зазвичай мають вищу затримку, вони діють як надійний резервний варіант у віддалених районах, де наземне з'єднання може вийти з ладу. Галузі, які працюють у географічно ізольованих регіонах, наприклад гірничодобувна чи нафтовидобувна, отримують значні переваги від цього додаткового рівня підключення.

Галузі також можуть використовувати безпроводні механізми відновлення після збоїв, такі як підключення LTE або 5G, як резервні канали. Безпроводні рішення забезпечують економічно ефективне резервування, одночасно пропонуючи високу швидкість передачі даних, забезпечуючи мінімальний вплив на роботу під час збоїв.

Для підприємств, які керують чутливими операціями, планування резервування часто включає оцінку екологічних ризиків для завчасного усунення вразливостей, таких як фізичне пошкодження кабелів або інфраструктури. Застосування захисних заходів, таких як закопані оптоволоконні кабелі або стійке до погодних умов обладнання, допомагає зменшити ймовірність перебоїв у з'єднанні.

Підсумовуючи, резервування каналів забезпечує стійкість і надійність промислових операцій. Завдяки поєднанню різноманітних провайдерів Інтернету, резервних мережевих шляхів, балансування навантаження та бездротового перемикання збоїв промисловість може підтримувати безперебійне підключення, захищаючи свою роботу від неочікуваних збоїв. Цей стратегічний підхід не тільки запобігає простоям, але й зміцнює репутацію організації як надійної та ефективної.

Переваги резервування каналів.

- Забезпечення стійкості роботи мережі — резервування дозволяє уникнути повної втрати підключення, гарантуючи мінімальні перерви в роботі критичних систем;

- Автоматичний перехід між каналами — при збої основного каналу система автоматично переключається на резервний, що мінімізує час простою;
- Збільшення гнучкості інфраструктури — можливість швидко реагувати на можливі перебої з'єднання.

2.7.1 Вибір Raspberry Pi як рішення для моніторингу й обробки даних

Raspberry Pi – це компактний і багатофункціональний комп'ютер, який часто використовується для різних завдань, включаючи підключення до віддаленого сервера. Налаштування мережі для такого підключення потребує знань про мережеві протоколи, інструменти для віддаленого доступу та базову конфігурацію системи. У цьому тексті розглянемо, як можна підключити Raspberry Pi до віддаленого сервера через мережу як локально, так і через інтернет.

Насамперед, для підключення до мережі Raspberry Pi потребує коректно налаштованого інтернет-з'єднання. Існують два основні способи підключення: через Ethernet-кабель (дротове з'єднання) або через Wi-Fi (бездротове з'єднання). Для підключення через Ethernet достатньо вставити кабель у відповідний порт Raspberry Pi та переконатися, що маршрутизатор автоматично видав IP-адресу пристрою за допомогою DHCP. Якщо ж використовується Wi-Fi, слід відредагувати файл налаштувань мережі `wpa_supplicant.conf`, додавши туди SSID мережі та пароль:

```
ctrl_interface=DIR=/var/run/wpa_supplicant GROUP=netdev
update_config=1
country=UA

network={
    ssid="Назва_вашої_мережі"
    psk="Пароль_до_мережі"
}
```

Після цього Raspberry Pi має підключитися до Wi-Fi автоматично.

Щоб підключити Raspberry Pi до віддаленого сервера, найпопулярнішим методом є використання SSH (Secure Shell) – безпечного протоколу, що дозволяє віддалено керувати пристроєм. Для цього потрібно увімкнути SSH на Raspberry Pi. Це можна зробити через командний рядок за допомогою команди:

```
sudo raspi-config
```

У меню налаштувань виберіть Interfacing Options, потім SSH та увімкніть його. Також можна створити порожній файл з назвою ssh у кореневій директорії SD-карти, що автоматично ввімкне SSH після завантаження системи.

Після активації SSH потрібно визначити локальну IP-адресу Raspberry Pi. Це можна зробити командою:

```
ip a
```

або

```
hostname -I
```

В результаті ви отримаєте IP-адресу, наприклад 192.168.1.10. Для підключення з іншого пристрою використовуйте наступну команду (на іншому комп'ютері):

```
ssh pi@192.168.1.10
```

де pi – стандартне ім'я користувача, а 192.168.1.10 – IP-адреса Raspberry Pi. Система запитає пароль користувача, після чого відбудеться підключення.

Для підключення Raspberry Pi до сервера через інтернет необхідно налаштувати переадресацію портів (port forwarding) на маршрутизаторі. Це дозволить зовнішнім запитам через SSH потрапляти на Raspberry Pi у локальній мережі. Зазвичай SSH використовує порт 22, тож у налаштуваннях маршрутизатора потрібно переадресувати вхідний трафік на порт 22 локальної IP-адреси Raspberry Pi. Після цього підключитися до пристрою можна через зовнішню IP-адресу мережі:

```
ssh pi@зовнішня_IP_адреса
```

Дізнатися зовнішню IP-адресу можна на сайтах типу whatismyip.com або за допомогою команд у терміналі.

Для додаткової безпеки можна використовувати ключі SSH замість пароля. Створіть пару ключів на вашому комп'ютері командою:

```
ssh-keygen -t rsa
```

Після цього скопіюйте відкритий ключ на Raspberry Pi за допомогою утиліти `ssh-copy-id`:

```
ssh-copy-id pi@192.168.1.10
```

Це дозволить підключатися до Raspberry Pi без введення пароля.

Іноді для більш складних конфігурацій підключення використовуються VPN (Virtual Private Network). VPN дозволяє створити захищене з'єднання між Raspberry Pi та віддаленим сервером через інтернет. Один із популярних інструментів для цього – OpenVPN або WireGuard. Встановлення та налаштування VPN-клієнта на Raspberry Pi дозволяє захистити трафік і приховати IP-адресу від сторонніх.

У випадках, коли Raspberry Pi використовується для автоматичного підключення до сервера, корисно застосовувати стоп-завдання для запуску необхідних скриптів при завантаженні системи. Наприклад, для автоматичного перезапуску SSH-з'єднання можна створити скрипт і додати його в `crontab`:

```
@reboot /usr/bin/ssh -N -L 8080:віддалений_сервер:80 pi@віддалений_сервер
```

Таким чином, налаштування мережі для підключення Raspberry Pi до віддаленого сервера є гнучким і може бути адаптоване до різних завдань. Використання SSH, VPN, переадресації портів та автоматизації забезпечує надійне й безпечне підключення як у локальній мережі, так і через інтернет.

Raspberry Pi завдяки своїй універсальності є ідеальним інструментом для створення віддалено керованих систем та серверів.



Рисунок 2.11 – Зображення Raspberry Pi

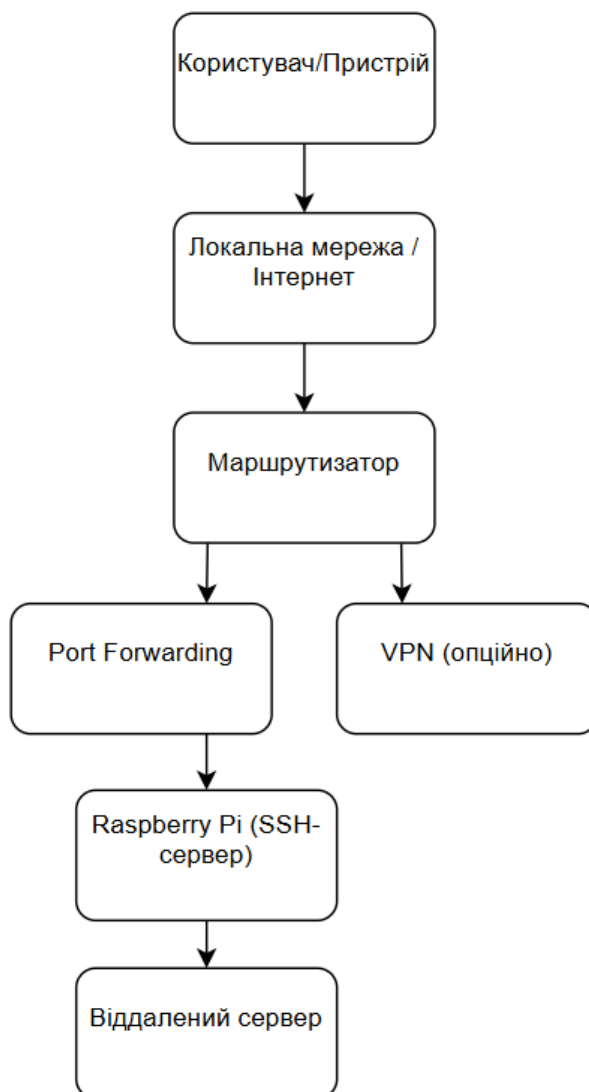


Рисунок 2.12 - Схема підключення Raspberry Pi до віддаленого сервера

Пояснення блоків функціональної діаграми.

Користувач/Пристрій - Цей блок представляє кінцевий пристрій, з якого здійснюється підключення до Raspberry Pi. Це може бути ноутбук, стаціонарний комп'ютер або навіть мобільний телефон. Основна функція пристрою – ініціювати запит на підключення до Raspberry Pi через інтерфейс SSH або VPN. Для цього користувач повинен мати відповідні облікові дані (ім'я користувача, пароль або ключі SSH) і знати IP-адресу Raspberry Pi. На цьому пристрої встановлюються відповідні інструменти, такі як термінал або

SSH-клієнт (наприклад, PuTTY для Windows, або вбудований SSH у Linux та macOS).

Локальна мережа / Інтернет - Цей блок відповідає за передачу даних між користувацьким пристроєм і Raspberry Pi. Локальна мережа (LAN) використовується, коли підключення відбувається всередині домашньої або офісної мережі. У такому випадку пристрій і Raspberry Pi підключені до одного маршрутизатора. Для підключення через локальну мережу користувач використовує внутрішню IP-адресу Raspberry Pi.

Інтернет використовується для підключення до Raspberry Pi з віддаленого розташування. У цьому випадку потрібна зовнішня IP-адреса, яка надається інтернет-провайдером. Щоб зовнішній запит потрапив до Raspberry Pi, налаштовується переадресація портів на маршрутизаторі.

Маршрутизатор є центральним елементом у мережевій інфраструктурі. Він відповідає за передачу даних між локальними пристроями та зовнішньою мережею (інтернетом). У випадку підключення Raspberry Pi до віддаленого сервера, маршрутизатор виконує такі функції:

- DHCP - Видає Raspberry Pi локальну IP-адресу, необхідну для підключення.
- Переадресація портів (*Port Forwarding*) - Маршрутизатор перенаправляє вхідний трафік на певний порт (зазвичай порт 22 для SSH) на локальну IP-адресу Raspberry Pi. Це дозволяє отримати доступ до пристрою через інтернет.
- Безпека - Маршрутизатор може мати вбудований брандмауер, який захищає локальну мережу від несанкціонованих підключень.

Порт Forwarding Це налаштування на маршрутизаторі, яке дозволяє перенаправити трафік із зовнішньої IP-адреси на внутрішній пристрій (Raspberry Pi). Наприклад, коли користувач намагається підключитися через

SSH до зовнішньої IP-адреси маршрутизатора, порт forwarding перенаправляє цей трафік на порт 22 Raspberry Pi у локальній мережі. Це є необхідним кроком для підключення з інтернету.

VPN (опціонально) VPN (Virtual Private Network – віртуальна приватна мережа) використовується для створення захищеного з'єднання між користувачем і Raspberry Pi. У разі використання VPN, весь трафік шифрується, що підвищує безпеку підключення. Дві популярні технології для VPN на Raspberry Pi – OpenVPN і WireGuard. Вони дозволяють:

- Захистити дані від перехоплення третіми сторонами.
- Обійти обмеження мережевого доступу.
- Приховати реальну IP-адресу.

У цьому блоці Raspberry Pi налаштовується як VPN-сервер або клієнт. Якщо Raspberry Pi працює як сервер, інші пристрої можуть підключатися до нього через зашифроване з'єднання.

Raspberry Pi (SSH-сервер) Raspberry Pi у цій функціональній діаграмі виступає як сервер, до якого користувач підключається для керування або виконання завдань. Основна технологія для з'єднання – **SSH (Secure Shell)**. SSH забезпечує:

- Віддалене керування пристроєм через термінал.
- Безпеку завдяки шифруванню даних.
- Можливість використання ключів SSH замість пароля для додаткового рівня безпеки.

Для роботи SSH-сервера на Raspberry Pi потрібно активувати службу SSH і забезпечити, щоб пристрій мав статичну IP-адресу або динамічний DNS (DDNS) для віддаленого доступу через інтернет. Також можна автоматизувати процеси, використовуючи **cron** або інші планувальники завдань.

Віддалений сервер Віддалений сервер є кінцевою точкою, з якою взаємодіє Raspberry Pi. Сервер може бути розташований як у локальній мережі, так і в інтернеті. Основні задачі цього блоку:

- Прийом SSH-з'єднань від Raspberry Pi або користувача.
- Обробка команд, виконання скриптів чи передача даних.
- Робота з додатковими сервісами, такими як бази даних, веб-додатки тощо.

Якщо сервер використовується для зберігання даних, можна налаштувати автоматичну синхронізацію за допомогою інструментів на кшталт **rsync** або **scp**.

Загальний потік даних Загальний процес підключення виглядає наступним чином:

1. Користувач ініціює запит на підключення через SSH або VPN-клієнт.
2. Трафік проходить через локальну мережу або інтернет до маршрутизатора.
3. Маршрутизатор за допомогою налаштувань Port Forwarding перенаправляє запит до Raspberry Pi.
4. Raspberry Pi приймає з'єднання як SSH-сервер або VPN-сервер.
5. При потребі Raspberry Pi встановлює з'єднання з віддаленим сервером для виконання задач.

Висновок. Функціональна діаграма та її блоки пояснюють усі кроки підключення Raspberry Pi до віддаленого сервера. Від налаштування локальної мережі до використання VPN і Port Forwarding, кожен блок має свою роль у загальному процесі. Завдяки гнучкості Raspberry Pi і можливості

автоматизувати завдання, ця система є надійним і ефективним інструментом для віддаленого керування.

2.7.2 Підключення датчиків до Raspberry Pi через GPIO-порти та інтерфейси

Для реалізації системи моніторингу чана варки сиру до Raspberry Pi підключаються наступні датчики:

Датчик температури (DS18B20 або аналогічний):

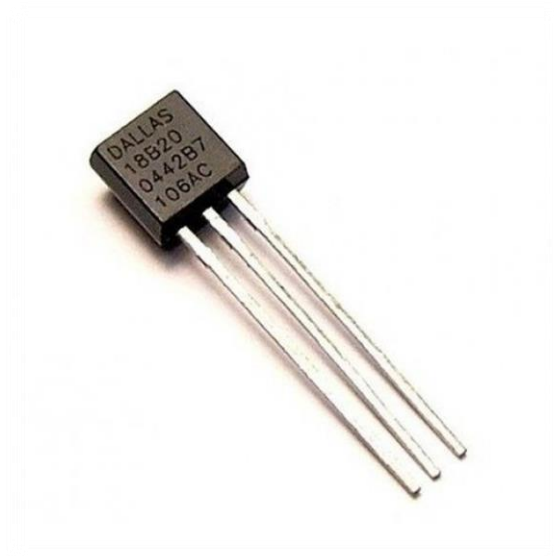


Рисунок 2.13 – датчик температури DS18B20

Датчик температури DS18B20 є одним із найпоширеніших і універсальних цифрових сенсорів, який широко використовується для моніторингу температури у промислових, побутових та IoT-системах. Його популярність обумовлена компактними розмірами, високою точністю вимірювань та простотою інтеграції. Діапазон вимірювання температури становить від -55°C до $+125^{\circ}\text{C}$, що дозволяє використовувати його як у

холодних, так і в гарячих середовищах. У діапазоні від -10°C до $+85^{\circ}\text{C}$ датчик забезпечує точність $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$, що робить його ідеальним для точних вимірювань у технологічних процесах. Важливою особливістю DS18B20 є використання протоколу передачі даних 1-Wire, який дозволяє підключати кілька датчиків до одного порту мікроконтролера або комп'ютера, що значно спрощує роботу з сенсорами у багатоточкових системах.

Принцип роботи датчика DS18B20 полягає в перетворенні температури навколишнього середовища в цифровий сигнал. Спершу термометр у складі сенсора зчитує температуру, після чого аналоговий сигнал перетворюється у цифровий за допомогою вбудованого АЦП (аналогово-цифрового перетворювача). Отримані дані передаються мікроконтролеру через один сигнальний провід. Це значно зменшує кількість проводів у системі, особливо у випадку встановлення датчиків на великих об'єктах. Для живлення датчика використовується напруга 3,3 В або 5 В, що робить його сумісним із більшістю сучасних мікроконтролерів, таких як Raspberry Pi або Arduino.

Підключення DS18B20 до Raspberry Pi виконується за допомогою GPIO-портів, і для стабільної роботи необхідний резистор на 4,7 кОм, який підключається між лініями живлення (VCC) та сигналу (Data). Процес підключення включає кілька простих етапів: спочатку з'єднуються провідники для подачі живлення (VCC), заземлення (GND) та передачі даних (DATA), після чого на Raspberry Pi налаштовується драйвер для роботи з 1-Wire. Це можна зробити через конфігурацію операційної системи Raspberry Pi OS. Далі встановлюються відповідні бібліотеки Python, наприклад, `w1thermsensor`, які дозволяють зчитувати дані з датчика програмним шляхом. Для перевірки коректності підключення можна скористатися командою `ls /sys/bus/w1/devices/`, яка виводить унікальний ідентифікатор датчика, підключеного до системи.

Датчик DS18B20 широко використовується у різних промислових процесах. Наприклад, він може бути встановлений у чанах варки для контролю

температури рідин. Завдяки герметичності (у разі використання захисного кожуха) цей сенсор може працювати в умовах підвищеної вологості чи навіть у безпосередньому контакті з рідинами. Окрім цього, дані, які він зчитує, можна використовувати для автоматизації роботи нагрівальних елементів. Raspberry Pi, підключений до датчика, здатний автоматично вмикати або вимикати нагрівальні елементи, щоб підтримувати стабільну температуру в межах, необхідних для конкретного процесу.

Ще однією важливою функцією є аварійне сповіщення. У разі, якщо температура перевищує заданий поріг або опускається нижче допустимого рівня, Raspberry Pi може відправляти повідомлення через Telegram-бот чи email. Це дозволяє операторам оперативно реагувати на позаштатні ситуації, запобігаючи можливим зупинкам виробничого процесу. Окрім цього, зібрані дані можуть записуватися в локальну базу даних, таку як SQLite або InfluxDB, для подальшого аналізу. Історія змін температури дозволяє проводити діагностику та оптимізувати технологічний процес.

Серед переваг датчика DS18B20 варто виділити його здатність працювати в екстремальних умовах, точність вимірювань, економічність та простоту масштабування. Наприклад, завдяки протоколу 1-Wire можна підключати десятки датчиків до одного мікроконтролера без суттєвого ускладнення системи. Крім того, доступна ціна робить цей датчик вигідним вибором для великих промислових об'єктів і невеликих підприємств. Його універсальність і надійність забезпечують стабільну роботу у критичних умовах, що робить його незамінним компонентом сучасних систем автоматизації.

Датчик температури DS18B20 має низку переваг у порівнянні з іншими популярними температурними сенсорами, що робить його одним із найкращих виборів для використання у різних сферах. Нижче наведено порівняння

DS18B20 із кількома альтернативними датчиками, такими як аналогові термістори, цифрові сенсори DHT11 і DHT22, а також промислові датчики типу PT100.

Порівняння DS18B20 із аналоговими термісторами:

1. Точність і стабільність - DS18B20 забезпечує точність вимірювання $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ у робочому діапазоні від -10°C до $+85^{\circ}\text{C}$. Термістори, хоча й дешевші, часто мають нижчу точність і вимагають додаткової калібровки, оскільки їх опір нелінійно залежить від температури.
2. Цифровий вихід - DS18B20 використовує цифровий інтерфейс 1-Wire, що дозволяє уникнути помилок при передачі сигналу на великі відстані. Термістори генерують аналоговий сигнал, що чутливий до електромагнітних перешкод і може спотворювати дані.
3. Інтеграція - Для роботи з DS18B20 не потрібні складні схеми підсилення сигналу чи перетворювачі АЦП, які необхідні для термісторів.

Порівняння DS18B20 із цифровими датчиками DHT11 і DHT22:

1. Діапазон вимірювання - DS18B20 має широкий діапазон температур (-55°C до $+125^{\circ}\text{C}$), тоді як DHT11 обмежений діапазоном від 0°C до $+50^{\circ}\text{C}$, а DHT22 — від -40°C до $+80^{\circ}\text{C}$. Це робить DS18B20 придатним для використання в екстремальних умовах.
2. Точність - DS18B20 має точність $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$, що краще за DHT11 ($\pm 2^{\circ}\text{C}$) і співставно з DHT22 ($\pm 0,5^{\circ}\text{C}$). Проте DHT22 дорожчий і має повільніший відгук.

3. Простота використання - DS18B20 підтримує протокол 1-Wire, що дозволяє легко підключати кілька датчиків до однієї шини даних. У випадку DHT-сенсорів для кожного датчика потрібен окремий порт.
4. Стабільність роботи - DS18B20 менш чутливий до вологості та зовнішніх факторів, ніж DHT-сенсори, які часто використовуються в умовах із низьким рівнем вологості.

Порівняння DS18B20 із промисловими датчиками PT100:

1. Ціна - DS18B20 значно дешевший, ніж PT100, що робить його більш привабливим для малобюджетних проектів або масового впровадження. PT100 часто використовується у високоточних і дорогих системах.
2. Точність і діапазон температур - PT100 може забезпечити вищу точність і працювати в діапазоні до $+850^{\circ}\text{C}$, проте для звичайних промислових завдань діапазону DS18B20 цілком достатньо.
3. Складність інтеграції - DS18B20 простіший у налаштуванні та підключенні. PT100 вимагає зовнішніх модулів для вимірювання опору, що збільшує складність і вартість системи.

Переваги DS18B20 перед іншими датчиками:

1. Масштабованість - Завдяки протоколу 1-Wire, до одного контролера можна підключити десятки сенсорів DS18B20 без значного ускладнення схеми. Це унікальна особливість, яка відсутня в аналогових та багатьох цифрових датчиках.
2. Універсальність - DS18B20 підходить як для промислових об'єктів, так і для побутових або IoT-систем. Інші датчики, такі як DHT11, часто обмежені умовами використання.

3. Надійність у складних умовах - Завдяки герметичним версіям корпусу DS18B20 може працювати у вологих або агресивних середовищах, чим вигідно відрізняється від аналогів.
4. Енергоефективність - Споживання енергії DS18B20 дуже низьке, що дозволяє використовувати його в автономних системах, наприклад, у пристроях на батарейному живленні.

Отже, датчик температури DS18B20 поєднує в собі універсальність, простоту інтеграції та високу точність, що робить його оптимальним вибором для широкого спектра завдань. У порівнянні з іншими сенсорами, він забезпечує найкраще співвідношення ціни, якості та функціональних можливостей.

Датчик ваги (HX711 + тензодатчик):

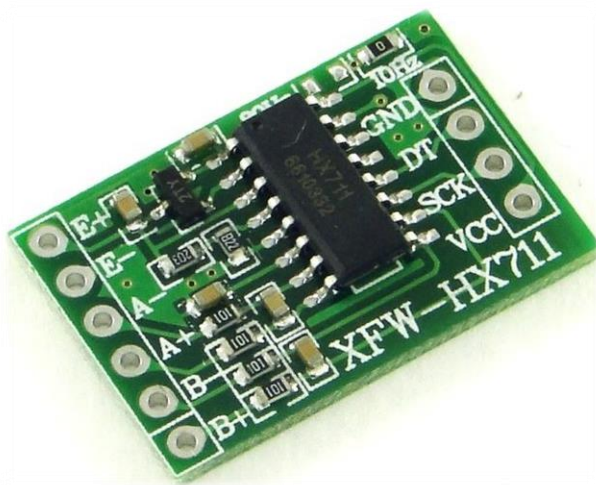


Рисунок 2.14 – Датчик ваги HX711

Датчик ваги, що базується на комбінації тензодатчика і модуля HX711, є одним із найпоширеніших і доступних рішень для вимірювання ваги у різних автоматизованих системах, зокрема у промислових додатках, IoT-проектах та побутових приладах. Така система дозволяє точно визначати вагу різних

матеріалів та предметів і легко інтегрується з мікроконтролерами, такими як Raspberry Pi або Arduino. Нижче наведено детальний опис основних компонентів, принципу роботи і переваг цього рішення.

Тензодатчик є головним елементом цієї системи і працює на основі принципу зміни електричного опору під впливом механічного навантаження. Він зазвичай виготовляється у вигляді невеликої металевої пластини зі встановленими резисторами, які змінюють свій опір у відповідь на деформацію. Коли на тензодатчик впливає вага, його механічна структура трохи згинається, що змінює опір вбудованих резисторів. Ця зміна, хоча і дуже незначна, дозволяє точно визначити величину навантаження. Тензодатчики можуть мати різні форми та конструкції, залежно від області застосування: від невеликих пристроїв для вимірювання грамів до великих промислових моделей для визначення тонн.

Проте сигнал від тензодатчика є занадто слабким, щоб його можна було легко обробити за допомогою мікроконтролера. Саме тут у гру вступає модуль HX711, який виступає як підсилювач і аналого-цифровий перетворювач (ADC). HX711 розроблений спеціально для роботи з тензодатчиками і має вбудований підсилювач, який збільшує сигнал до рівня, придатного для обробки. Він також перетворює аналоговий сигнал у цифровий формат, що дозволяє мікроконтролеру зчитувати дані через стандартний цифровий інтерфейс. Особливість HX711 полягає в його високій точності та чутливості, що забезпечує стабільне і точне вимірювання навіть найменших змін ваги.

Принцип роботи системи можна описати наступним чином: тензодатчик розташовується під платформою або всередині пристрою, який взаємодіє з об'єктом вимірювання. Коли на платформу діє сила, тензодатчик деформується, змінюючи опір своїх резисторів. Ці зміни перетворюються на електричний сигнал, який передається на HX711. Модуль підсилює сигнал, виконує його аналого-цифрове перетворення і передає дані на мікроконтролер для подальшої обробки.

Однією з переваг цієї системи є простота підключення. НХ711 підтримує дві основні шини: DATA і CLOCK. Завдяки цьому, модуль можна підключити до GPIO-портів мікроконтролера, використовуючи лише кілька проводів. Більше того, у відкритому доступі є багато готових бібліотек, написаних мовою програмування Python чи C++, що значно спрощує інтеграцію. Це особливо корисно для розробників, які не мають великого досвіду в роботі з аналоговими сигналами.

Ще однією важливою перевагою цієї системи є її універсальність. Комбінація тензодатчика та НХ711 може використовуватися у широкому діапазоні завдань: від побутових кухонних ваг до складних промислових систем, які вимагають постійного моніторингу ваги матеріалів. Наприклад, у промислових умовах така система може бути використана для контролю маси інгредієнтів у виробничих чанах, автоматичного завантаження сировини або перевірки кінцевої ваги готової продукції.

Окрім цього, модуль НХ711 дозволяє налаштовувати коефіцієнт підсилення сигналу, що робить його сумісним із тензодатчиками різних типів. Завдяки цьому, можна адаптувати систему під конкретні вимоги, наприклад, збільшити чутливість для малих навантажень або забезпечити стабільність при роботі з великими масами.

Також слід зазначити, що система НХ711 + тензодатчик є відносно недорогою у виробництві. Це важливо для проектів, які вимагають масштабованості, наприклад, коли потрібно встановити кілька десятків датчиків у різних точках об'єкта. Їх низька вартість у поєднанні з високою точністю та легкістю інтеграції роблять цю систему популярною серед розробників.

Загалом, комбінація тензодатчика та модуля НХ711 забезпечує надійне, точне та доступне рішення для вимірювання ваги. Простота підключення, програмна гнучкість і широка доступність готових бібліотек роблять цю

систему ідеальним вибором для багатьох застосувань, починаючи від простих побутових пристроїв і закінчуючи складними автоматизованими виробничими процесами.

Датчик ваги, що використовує комбінацію модуля HX711 та тензодатчика, має низку переваг порівняно з іншими типами датчиків ваги. Це порівняння включає аналіз альтернативних рішень, таких як ємнісні, п'єзоелектричні та індуктивні датчики ваги, а також розглядає їхні переваги та обмеження в контексті використання HX711.

1. Точність і стабільність

Тензодатчик із HX711 забезпечує високу точність вимірювання завдяки чутливості до мінімальних змін ваги. Це досягається за рахунок здатності HX711 підсилювати слабкі сигнали і точно перетворювати їх у цифровий формат. У порівнянні:

- Ємнісні датчики мають хорошу точність, але їх чутливість до зовнішніх впливів, таких як вологість або температура, може призводити до похибок у вимірюваннях.
- П'єзоелектричні датчики забезпечують високу точність, але зазвичай використовуються для вимірювання короточасних змін ваги (наприклад, імпульсів), що робить їх менш придатними для статичних вимірювань.
- Індуктивні датчики часто використовуються для грубих вимірювань і мають нижчу точність порівняно з тензодатчиками.

2. Простота інтеграції

HX711 має простий інтерфейс для підключення до мікроконтролерів, таких як Raspberry Pi або Arduino. Інші датчики можуть вимагати складнішого налаштування:

- Ємнісні датчики потребують використання спеціалізованих електронних схем для перетворення ємності в сигнал, придатний для обробки.
- П'єзоелектричні датчики вимагають складних підсилювальних схем для роботи з сигналами високої частоти, що збільшує складність інтеграції.
- Індуктивні датчики часто потребують калібрування магнітних полів і додаткових електронних компонентів.

3. Ціна та доступність

Комбінація НХ711 і тензодатчика є одним із найдоступніших рішень на ринку. Наприклад:

- Ємнісні датчики можуть бути дорогими через складність виготовлення сенсорних елементів і необхідність додаткової електроніки.
- П'єзоелектричні датчики мають високу вартість через складність матеріалів, необхідних для генерації п'єзоелектричного ефекту.
- Індуктивні датчики мають вищу ціну внаслідок використання металевих елементів і складних механізмів.

4. Гнучкість у використанні

Тензодатчик із НХ711 може використовуватися для широкого спектра завдань, від вимірювання мікрограмів до тонн. Інші датчики мають обмеження в універсальності:

- Ємнісні датчики краще підходять для застосувань, де потрібна дуже висока чутливість до змін геометрії, але вони менш ефективні для великих мас.

- П'єзоелектричні датчики переважно застосовуються в динамічних системах, де потрібне вимірювання тиску або сили, але вони не підходять для постійного моніторингу ваги.
- Індуктивні датчики добре працюють у важких промислових умовах, але вони великі й менш чутливі до невеликих змін ваги.

5. Стійкість до зовнішніх впливів

NX711 із тензодатчиком демонструє хорошу стійкість до змін навколишнього середовища, якщо система правильно захищена. У порівнянні:

- Ємнісні датчики є дуже чутливими до зовнішніх умов, таких як вологість чи забруднення, що може вплинути на точність.
- П'єзоелектричні датчики можуть втрачати свої властивості при тривалому впливі високої температури.
- Індуктивні датчики є стійкими до зовнішніх впливів, але їхня складна конструкція робить їх важкими для обслуговування.

6. Програмна підтримка

NX711 підтримується багатьма програмними бібліотеками, доступними для Python, C++ та інших мов програмування, що значно спрощує його використання. У порівнянні:

- Ємнісні датчики мають обмежену кількість готових бібліотек, що може ускладнити роботу з ними.
- П'єзоелектричні датчики рідко забезпечуються готовими бібліотеками через вузьку специфіку їхнього застосування.
- Індуктивні датчики мають обмежену програмну підтримку через їхнє специфічне використання.

Висновок. Тензодатчик із НХ711 є оптимальним вибором для багатьох проектів завдяки своїй доступності, точності, простоті інтеграції та універсальності. У порівнянні з ємнісними, п'єзоелектричними та індуктивними датчиками, він має значні переваги для вимірювання ваги в автоматизованих системах, особливо якщо потрібно забезпечити високу точність за мінімальних витрат.

Датчик густини (гребінчастий вібраційний датчик):



Рисунок 2.15 – Датчик густини

Гребінчастий вібраційний датчик густини є сучасним і універсальним інструментом для вимірювання густини рідин у промислових і харчових процесах. Завдяки своїй конструкції та принципу роботи він широко застосовується в таких галузях, як харчова промисловість, фармацевтика, хімічне виробництво та нафтогазова індустрія. У харчовій промисловості, зокрема в сирному виробництві, цей датчик демонструє високу точність і надійність навіть у складних умовах, таких як робота з в'язкими рідинами або сумішами, що містять жири й білки.

Гребінчастий вібраційний датчик густини працює на основі принципу зміни резонансної частоти вібруючого елементу (гребінки) залежно від властивостей рідини, у яку він занурений. Конструкція датчика зазвичай включає пару «зубців», які вібрують на певній частоті. Коли рідина огортає ці зубці, її густина впливає на резонансну частоту вібрації, змінюючи її залежно від концентрації та фізико-хімічних характеристик середовища. Спеціальний електронний модуль аналізує ці зміни і перетворює їх у числові значення густини, які потім можуть бути передані до системи управління для подальшої обробки.

Однією з ключових переваг гребінчастого датчика є його здатність працювати з широким спектром рідин, включаючи як однорідні, так і неоднорідні середовища. Наприклад, у процесі виготовлення сиру датчик може точно вимірювати густину молока, сирної маси або сироватки на різних етапах виробництва. Це дозволяє контролювати якість продукту та автоматизувати такі процеси, як подача інгредієнтів або регулювання параметрів варіння.

Ще однією важливою перевагою є стійкість до агресивних умов. У сирному виробництві датчик може піддаватися впливу високих температур під час пастеризації молока, хімічних мийних засобів у процесі очищення обладнання, а також механічного зношування через постійний контакт із в'язкими рідинами. Гребінчастий вібраційний датчик має міцну конструкцію з нержавіючої сталі або інших стійких матеріалів, що забезпечує його довговічність і стабільність роботи навіть у складних умовах.

Гребінчасті датчики густини також характеризуються високою точністю вимірювань, яка зазвичай знаходиться в межах $\pm 0,001$ г/см³. Це дозволяє використовувати їх для контролю найдрібніших відхилень у густині, що може бути критичним у харчовій промисловості, де необхідно дотримуватися суворих стандартів якості. Наприклад, контроль густини сирної маси дозволяє

визначити момент, коли маса досягла потрібної консистенції для подальшого формування.

Датчик густини також інтегрується у системи автоматизації, такі як PLC-контролери чи одноплатні комп'ютери на кшталт Raspberry Pi. Завдяки цифровим інтерфейсам (наприклад, Modbus або HART), датчик може передавати дані в реальному часі, дозволяючи операторам швидко реагувати на зміни параметрів виробництва. Крім того, зібрані дані можуть бути записані у базу для подальшого аналізу, наприклад, для оцінки ефективності виробничого процесу чи виявлення аномалій.

У порівнянні з іншими типами датчиків густини, такими як ультразвукові чи механічні, гребінчасті вібраційні датчики мають кілька важливих переваг. Вони менш чутливі до забруднення жирами або білками, що часто є проблемою для ультразвукових сенсорів. Механічні датчики, у свою чергу, вимагають регулярного калібрування і менш точні у вимірюванні густини в'язких середовищ. Завдяки своїй надійності, гребінчасті датчики густини підходять для безперервної роботи у виробничих умовах без значних витрат на обслуговування.

Ще однією важливою особливістю є легкість очищення. Датчик легко знімається і може бути очищений у рамках звичайного санітарного обслуговування обладнання. Це дозволяє відповідати суворим санітарним нормам харчової промисловості, уникаючи ризику контамінації продуктів.

Таким чином, гребінчастий вібраційний датчик густини є ідеальним вибором для сирної промисловості завдяки своїй точності, надійності, стійкості до агресивних умов і універсальності. Його використання дозволяє не лише забезпечити високу якість продукції, але й значно підвищити ефективність виробничих процесів завдяки автоматизації та точному контролю параметрів.

Датчик часу (вбудований модуль RTC – реального часу):

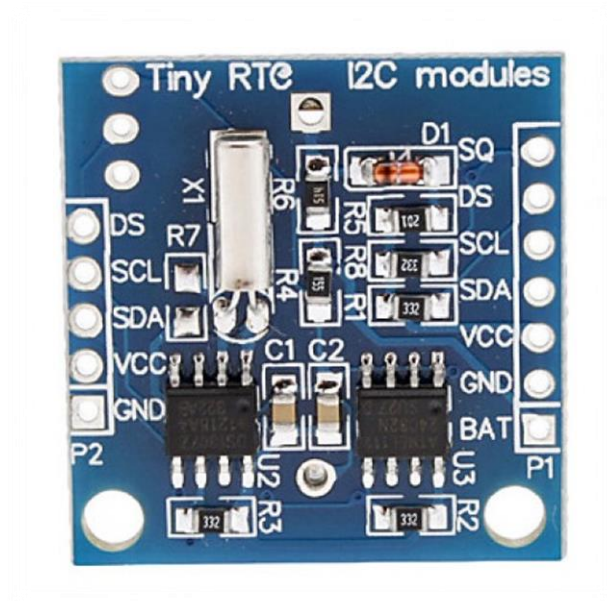


Рисунок 2.16 – Датчик часу DS1307

DS1307 – це досить популярний і широко використовуваний годинник реального часу (RTC), що забезпечує зберігання та точний відлік часу. RTC призначений для підтримки відліку годин, хвилин, секунд, дня тижня, дати, місяця та року.

Особливість DS1307 полягає в тому, що він може працювати від зовнішнього резервного джерела живлення, наприклад, батарейки CR2032, що дозволяє йому продовжувати роботу навіть тоді, коли основне живлення вимкнене.

DS1307 використовує двопровідний інтерфейс I2C для обміну даними з мікроконтролером. Це дозволяє легко інтегрувати його в будь-який проект за допомогою простих сигналів SDA (дані) і SCL (годинник).

Датчик підтримує відлік годин у 12-годинному та 24-годинному форматах, а також автоматично враховує кількість днів у місяці, включаючи високосні роки. Завдяки вбудованому ланцюгу резервного живлення DS1307 автоматично переключається на батарейку, коли основне джерело живлення

відсутнє. Батарейка здатна підтримувати роботу годинника протягом багатьох років. Окрім функції відліку часу, DS1307 має додаткові 56 байтів ОЗП (RAM), які можна використовувати для зберігання невеликих обсягів даних, що не втрачаються при вимкненні живлення.

Стандартна точність роботи DS1307 становить ± 2 секунди на добу при використанні зовнішнього кварцового генератора на 32.768 кГц. DS1307 потребує зовнішнього кварцового резонатора частотою 32.768 кГц для точного вимірювання часу. Цей кварц є стандартом для більшості годинників, оскільки забезпечує високу стабільність і мінімальне енергоспоживання. RTC працює від живлення 5 В у робочому режимі та автоматично переходить на батарейку при вимкненні основного живлення.

Основний обмін даними між мікроконтролером і DS1307 відбувається через інтерфейс I2C (I-square-C). Мікроконтролер посилає запит на отримання даних часу або зміну значень у регістрах, а DS1307 відповідає, надаючи потрібну інформацію.

Регістри часу в DS1307 розташовані у вигляді набору байтів, кожен з яких відповідає конкретному параметру часу: секунди, хвилини, години, день, дата, місяць і рік.

Для зручності значення зберігаються у форматі BCD (Binary-Coded Decimal), що означає, що кожна цифра числа кодується окремо. DS1307 має 8-вивідний корпус DIP8 або SO8, що робить його зручним для монтажу як на макетній платі, так і для паяння на друкованій платі.

Для підключення до мікроконтролера потрібно всього 4 основні контакти: VCC – основне джерело живлення (+5 В), GND – загальний контакт, SDA – лінія даних інтерфейсу I2C, SCL – лінія годинника інтерфейсу I2C.

Щоб годинник працював у режимі резервного живлення, необхідно підключити батарейку (наприклад, літієву CR2032) до виводу VBAT. У разі втрати основного живлення DS1307 автоматично перемкнеться на батарейку,

зберігаючи відлік часу. DS1307 широко застосовується у різних сферах. Він використовується у годинниках і будильниках, системах автоматизації, що залежать від часу (вмикання освітлення, полив рослин), а також у системах управління для ведення журналу подій.

Завдяки резервному живленню його часто використовують в енергонезалежних календарях та у побутовій техніці, такій як пральні машини чи мікрохвильові печі.

Перевагами DS1307 є простота підключення завдяки інтерфейсу I2C, можливість роботи від резервного живлення, наявність додаткової пам'яті для користувача та низьке енергоспоживання. Проте він має і певні недоліки: обмежена точність порівняно з більш сучасними RTC (похибка близько 2 секунд на добу), необхідність у зовнішньому кварцовому генераторі та робота тільки при напрузі 5 В, що не завжди підходить для систем з 3.3 В без додаткових компонентів.

Загалом, DS1307 – це надійний і простий у використанні годинник реального часу, що ідеально підходить для проектів, де потрібен відлік часу та збереження його навіть при відсутності живлення. Завдяки резервному живленню від батарейки та зручному інтерфейсу I2C, цей датчик став популярним серед розробників у багатьох сферах: від побутової техніки до автоматизованих систем контролю.

Незважаючи на наявність новіших та точніших RTC, DS1307 залишається затребуваним завдяки своїй доступності, надійності та простоті використання.

DS1307 – це популярний годинник реального часу (RTC), але для кращого розуміння його переваг корисно порівняти його з іншими RTC, такими як DS3231, PCF8523 та інші.

DS1307 вигідно відрізняється своєю простотою використання та низькою вартістю. Завдяки інтерфейсу I2C його легко підключати до

мікроконтролерів, що робить його ідеальним для навчальних і бюджетних проектів. Він підтримує резервне живлення від батарейки, завдяки чому може зберігати час протягом багатьох років навіть при відсутності основного джерела живлення. Додатковою перевагою є наявність 56 байтів пам'яті ОЗП, яку можна використовувати для зберігання користувацьких даних.

Однак, якщо розглядати інші RTC, такі як DS3231, то головна перевага останнього – це висока точність. DS3231 має вбудований температурно-компенсований кварцовий генератор (TCXO), який забезпечує стабільність роботи при різних температурах та мінімізує похибку часу. У той час як точність DS1307 становить близько ± 2 секунд на добу, у DS3231 похибка знижена до кількох секунд на рік. Це робить DS3231 кращим вибором для додатків, де потрібна висока точність.

Щодо PCF8523, цей RTC відрізняється енергоефективністю та можливістю роботи від напруги 3.3 В, що зручніше для багатьох сучасних систем з мікроконтролерами, які працюють саме на цій напрузі. DS1307 працює тільки від 5 В, що іноді вимагає використання додаткових компонентів для узгодження рівнів напруги. Крім того, PCF8523 є більш енергоефективним у режимі резервного живлення, що робить його вигідним вибором для пристроїв з тривалим часом автономної роботи.

Проте, незважаючи на певні обмеження, DS1307 залишається популярним завдяки своїй доступності, надійності та простоті використання. Для проектів, де точність не є критично важливою, а бюджет обмежений, DS1307 є оптимальним рішенням. Його широко застосовують у навчальних проектах, побутовій техніці та системах автоматизації, що не вимагають високої точності часу.

Таким чином, якщо порівнювати DS1307 з іншими RTC, його переваги полягають у низькій вартості, простоті підключення та наявності додаткової пам'яті. Проте для додатків з жорсткими вимогами до точності або

енергоефективності, краще розглянути альтернативи, такі як DS3231 або PCF8523. Вибір конкретного RTC залежить від вимог проекту: точність, енергоспоживання чи вартість.

Схема підключення:

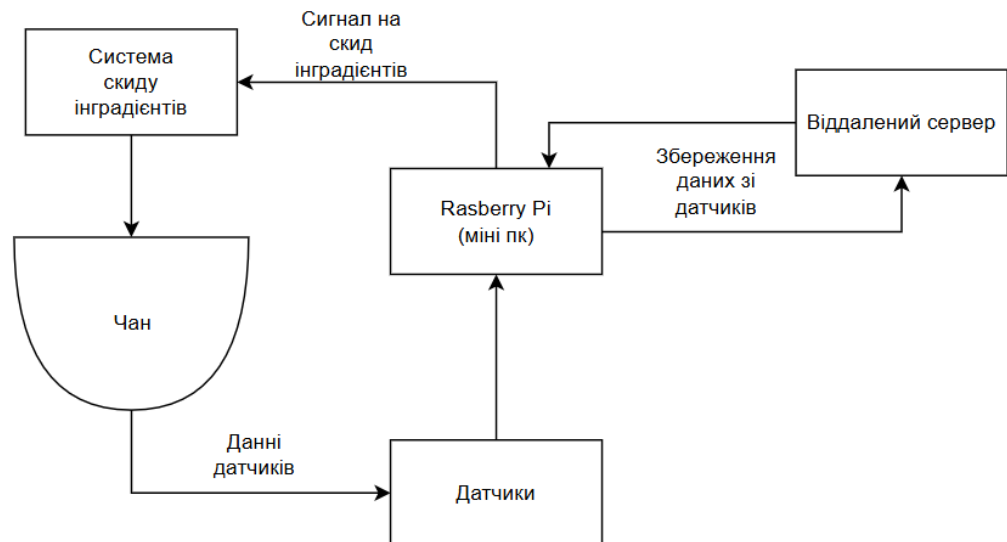


Рисунок 2.17 – Схема взаємодії Raspberry Pi з віддаленим сервером

Усі датчики підключаються до GPIO-портів Raspberry Pi за допомогою дротів чи шини зв'язку.

Програмне забезпечення, зчитує дані в реальному часі та передає їх для подальшої обробки.

2.7.3 Роль Raspberry Pi як міні-сервера для зберігання та передачі даних

Raspberry Pi може виконувати роль локального міні-сервера, де дані, зібрані з датчиків, обробляються та зберігаються.

Локальна база даних: Для збереження даних використовується легка база даних, така як SQLite (для невеликих обсягів) або InfluxDB (для часових рядів даних).

Переваги SQLite: Зручний для локальної обробки параметрів варки (температура, маса, густина).

InfluxDB: Дозволяє будувати графіки для аналізу змін параметрів у часі.

Передача даних: Raspberry Pi надсилає дані на:

HMI-панель для візуалізації в реальному часі.

Центральний PLC-контролер, якщо він використовується як головний контролюючий вузол.

Хмарний сервер для зберігання та віддаленого моніторингу.

Таким чином, Raspberry Pi працює як міні-сервер для збору, зберігання та передачі даних, що дозволяє вести аналіз ефективності процесу та швидко реагувати на зміни.

2.7.4 Реалізація аварійного сповіщення

Для забезпечення контролю критичних параметрів, Raspberry Pi налаштовано на аварійне сповіщення у разі перевищення допустимих значень:

Температури: Якщо температура чана перевищує заданий рівень, система автоматично відправляє сповіщення.

Густини та ваги: Перевищення або недостатність параметрів інформує оператора.

Приклади реалізації: Telegram-бот: Надсилення повідомлень у Telegram з вказаними критичними значеннями.

Email-сповіщення: Автоматичне відправлення листів оператору або менеджеру із збереженням даних про відхилення.

Налаштування бібліотеки `smtplib` для email або `python-telegram-bot` для Telegram.

Вбудовування умов для перевірки критичних значень з датчиків.

2.7.5 Raspberry Pi OS

Raspberry Pi OS є офіційним дистрибутивом для Raspberry Pi, який розроблено спеціально для оптимальної роботи на цій платформі.

Основні характеристики Raspberry Pi OS:

1. Легка вага та оптимізація - Дистрибутив базується на Debian і оптимізований для ARM-процесорів Raspberry Pi.

Використання мінімальної кількості ресурсів дозволяє працювати навіть на менш потужних моделях, таких як Raspberry Pi Zero.

2. Підтримка периферійних пристроїв - Наявність драйверів для роботи з GPIO-портами, інтерфейсами I2C, SPI та UART.

Легке підключення та налаштування сенсорів температури, ваги, густини через бібліотеки `RPi.GPIO` і `pigpio`.

3. Інструменти для розробки - Підтримка Python, C/C++, Node.js для написання скриптів для автоматизації.

Вбудовані середовища розробки, такі як Thonny (для Python) і Geany.

Доступ до популярних бібліотек для аналізу даних, таких як NumPy, Pandas і Matplotlib.

4. Графічний інтерфейс (опціонально) - У разі потреби можна використовувати легкий графічний інтерфейс для налаштування системи або відображення даних.

Можливість роботи у headless-режимі (без монітора) для економії ресурсів.

5. Сценарії використання - Raspberry Pi OS є оптимальним вибором для систем, які вимагають стабільності та сумісності. Наприклад:

Моніторинг температури та густини в чані за допомогою сенсорів, підключених до GPIO-портів.

Збереження даних у SQLite та їх візуалізація на HMI-панелі.

Запуск Python-скриптів для аварійного сповіщення через Telegram-бот.

РОЗДІЛ 3. ПІДТРИМКА БЕЗПЕКИ ТА ВИРІШЕННЯ ПРОБЛЕМ МЕРЕЖІ

Промислові мережі мають бути захищені від численних загроз кібербезпеки, оскільки їх компрометація може призвести до значних втрат і навіть призупинення виробничих процесів. У цьому розділі розглянемо ключові аспекти підтримки безпеки промислових мереж та найбільш ефективні методи для попередження та вирішення проблем мережевої безпеки.

3.1 Основні проблеми безпеки мережі на промислових об'єктах

Захист мереж на промислових об'єктах має критичне значення, оскільки сучасні виробничі процеси все частіше залежать від надійної роботи мережевої інфраструктури. Проблеми безпеки, які можуть виникати в промислових мережах, варіюються від кіберзагроз до ризиків втрати даних. Для кожної з цих проблем необхідні спеціальні методи захисту, адаптовані до специфіки промислових умов. Основні проблеми безпеки в промислових мережах охоплюють наступні аспекти:

1. Кібератаки та зловмисне програмне забезпечення: промислові мережі можуть стати об'єктом цілеспрямованих атак, таких як DDoS, фішинг та інші форми кібератак. Вони можуть призводити до збоїв у роботі обладнання, втрати даних та навіть небезпеки для персоналу. Розробка багаторівневої системи захисту є ключовою для запобігання проникненню в мережу.
2. Захист промислового Інтернету речей (ІоТ): пристрої, що використовуються для збору даних та моніторингу виробничих процесів, часто є особливо вразливими до атак. Недосконалість захисту для таких пристроїв відкриває потенційні можливості для втручання в управління виробничим обладнанням або збору конфіденційної інформації.
3. Фізична безпека мережевої інфраструктури: у багатьох промислових умовах мережеве обладнання встановлюється в місцях, що потребують особливих заходів фізичного захисту (охорона приміщень, надійність монтажу, температурний контроль). Недостатня фізична безпека може призвести до пошкодження обладнання або випадкових збоїв.
4. Управління доступом та автентифікація: надмірно широкий доступ до мережі для користувачів або пристроїв створює серйозні ризики. Важливо, щоб доступ був чітко структурований і

обмежений тільки тими користувачами, які мають необхідність в доступі до мережевих ресурсів. Реалізація багаторівневого управління доступом та багатоетапної автентифікації дозволяє суттєво знизити ризики несанкціонованого доступу.

5. Забезпечення резервного копіювання та відновлення даних: для мінімізації ризиків втрати даних через атаки або збій у роботі системи, особливу увагу слід приділяти організації резервного копіювання. Резервне копіювання забезпечує можливість відновлення робочого процесу у разі збою, що значно знижує ризики простоїв виробництва.

3.2 Методи захисту мережі

Методи захисту мережі відіграють ключову роль у забезпеченні безпеки промислових об'єктів, особливо коли йдеться про інтеграцію супутникового Інтернету та використання мінікомп'ютерів, таких як Raspberry Pi. Одним із найважливіших елементів цього захисту є брандмауери (файрволи), які контролюють і фільтрують вхідний та вихідний трафік. Для системи, яка використовує супутниковий Інтернет і Raspberry Pi як центр обробки даних, важливо правильно вибрати тип і конфігурацію брандмауера.

Чому потрібен брандмауер? Брандмауер забезпечує базовий рівень безпеки, блокуючи несанкціонований доступ до системи з Інтернету та захищаючи від потенційних кібератак, таких як DDoS (розподілене відмовлення в обслуговуванні), проникнення через уразливості в мережі або перехоплення даних. У нашій системі Raspberry Pi виступає не лише як обробник даних, але й як вузол комунікації з хмарним сервером. Через це він може стати потенційною ціллю для зловмисників. Брандмауер дозволяє

створити бар'єр, що забезпечує безпечний обмін даними між сенсорами, локальною мережею та хмарою.

Типи брандмауерів. Існує два основних типи брандмауерів, які можна застосувати в системі: програмні та апаратні.

1. Програмні брандмауери:

- Програмні брандмауери встановлюються на пристрої, такі як Raspberry Pi, і контролюють мережевий трафік.
- Перевага цього типу полягає в його доступності та гнучкості. Наприклад, для Raspberry Pi можна використовувати такі програмні рішення, як UFW (Uncomplicated Firewall) або iptables.
- UFW — це простий у налаштуванні інструмент, який дозволяє фільтрувати трафік на основі правил. Він ідеально підходить для нашої системи завдяки низькому споживанню ресурсів і підтримці більшості основних функцій безпеки.
- iptables є більш складним у використанні, але забезпечує вищий рівень контролю. Цей варіант може бути доцільним для систем, які потребують специфічних налаштувань безпеки.

2. Апаратні брандмауери:

- Апаратні брандмауери є окремими пристроями, що забезпечують захист всієї мережі. Вони використовуються для складніших систем із великою кількістю пристроїв.
- Наприклад, MikroTik RouterOS або pfSense можуть бути інтегровані як апаратні рішення, що забезпечують багаторівневий захист. Однак для невеликої системи з Raspberry Pi і супутниковим Інтернетом їх використання може бути надмірним.

Оптимальний вибір для системи. Для нашої системи найкраще підходить UFW (Uncomplicated Firewall), оскільки:

1. Ефективність та простота: UFW легко налаштовується через текстовий інтерфейс або командний рядок. Це особливо важливо для невеликих систем, де час налаштування має велике значення.
2. Ідеальна сумісність із Raspberry Pi: UFW добре працює на Linux-базованих системах і підтримує всі необхідні функції, такі як блокування портів або обмеження доступу до певних IP-адрес.
3. Мінімальні ресурси: Оскільки Raspberry Pi має обмежені обчислювальні можливості, UFW не створює значного навантаження на процесор чи оперативну пам'ять.
4. Гнучкість: UFW дозволяє додавати або видаляти правила в реальному часі, що полегшує адаптацію системи до змін.

Порівняння з іншими брандмауерами

У порівнянні з більш складними рішеннями, такими як iptables, UFW є простішим і зручнішим для адміністрування. У той час як iptables надає більше можливостей для налаштування, його складність може бути надмірною для невеликої системи, що керує кількома сенсорами. З іншого боку, апаратні брандмауери, такі як pfSense або MikroTik, хоч і забезпечують вищий рівень захисту, є дорожчими і складнішими в інтеграції.

Рекомендація. У нашій системі UFW забезпечує оптимальний баланс між простотою, ефективністю та вартістю. Встановлення UFW на Raspberry Pi дозволяє ефективно захистити систему від несанкціонованого доступу, при цьому залишаючи ресурси для виконання основних функцій, таких як обробка даних сенсорів і взаємодія з хмарним сервером.

3.3 Забезпечення надійного зберігання та відновлення даних у разі аварій

Забезпечення надійного зберігання та відновлення даних у разі аварій є критично важливим аспектом будь-якої сучасної автоматизованої системи, особливо якщо мова йде про промислові об'єкти, такі як сирна промисловість. Автоматизація процесів вимагає збору, аналізу та зберігання великої кількості даних, від результатів вимірювань датчиків до історичних записів про виробництво. Ці дані мають бути доступними у будь-який момент часу, навіть у разі технічних збоїв або аварій, оскільки втрата інформації може призвести до серйозних наслідків — зупинки виробництва, порушення технологічних процесів і фінансових втрат.

Одним із ключових рішень для забезпечення зберігання даних є використання масивів RAID. RAID (Redundant Array of Independent Disks) — це технологія, яка дозволяє зберігати дані на кількох жорстких дисках одночасно, забезпечуючи їх резервування або підвищення швидкості доступу. Вибір конфігурації RAID залежить від конкретних потреб підприємства. Для сирної промисловості, де важливе балансування між надійністю та економічністю, оптимальними варіантами є RAID 1 або RAID 5. RAID 1, який використовує дзеркальне копіювання даних між дисками, гарантує повне збереження інформації навіть у разі виходу з ладу одного з дисків. RAID 5 додає ефективність використання дискового простору, а також швидкість читання і запису даних, при цьому забезпечуючи захист від збоїв.

На додачу до RAID-систем у нашій інфраструктурі з використанням Raspberry Pi можна інтегрувати резервне копіювання в хмарні сховища. Це дозволяє додатково убезпечити дані, забезпечуючи їх доступність навіть у випадку фізичної втрати локальних носіїв інформації. Використання Raspberry Pi як основного вузла системи зберігання даних є вигідним рішенням, оскільки цей мікрокомп'ютер дозволяє не лише зберігати, а й оперативно обробляти

дані, що надходять від датчиків. Raspberry Pi підтримує використання зовнішніх накопичувачів і програмного забезпечення для управління RAID-масивами, що робить його універсальним інструментом для подібних завдань.



Рисунок 3.1 – Види RAID

Для підвищення надійності зберігання даних важливим є також впровадження автоматизованих сценаріїв резервного копіювання. Це може включати регулярне копіювання даних у хмарні сервіси або на віддалені сервери, які фізично розташовані в іншому місці. Таке рішення дозволяє мінімізувати ризики втрати інформації у разі аварії, що охоплює всю локальну інфраструктуру, наприклад, при пожежі або фізичному пошкодженні обладнання.

Додатково, для забезпечення безперебійної роботи важливо інтегрувати систему живлення з резервним блоком (UPS). Відключення електроенергії може призвести до непередбачуваних збоїв у роботі RAID-масиву чи самої Raspberry Pi, тому резервне живлення гарантує стабільну роботу системи навіть у таких ситуаціях. Це особливо актуально для сирної промисловості, де переривання технологічного процесу може призвести до втрати партії продукції.

Іншим аспектом забезпечення надійного зберігання є моніторинг стану жорстких дисків і обладнання. За допомогою програмного забезпечення

можна контролювати температуру, швидкість роботи дисків, виявляти ранні ознаки несправностей і своєчасно замінювати елементи, що виходять з ладу. Такий підхід запобігає несподіваним аваріям і дозволяє підтримувати систему у стабільному стані.

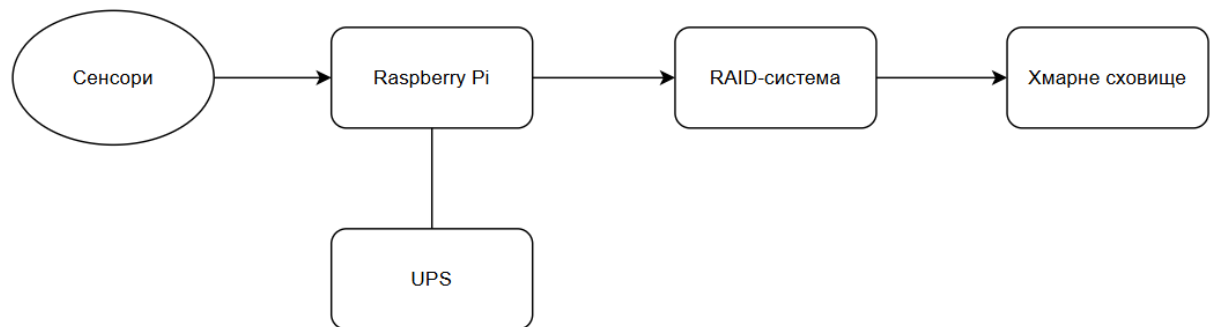


Рисунок 3.2 – Схема збереження та відновлення даних системи

Отже, забезпечення надійного зберігання даних у системі для сирної промисловості потребує інтеграції ряду технологій, таких як RAID, резервне копіювання, використання UPS та інструментів моніторингу. Усі ці рішення працюють разом, створюючи стійку інфраструктуру, здатну ефективно протистояти технічним збоям і забезпечувати безперебійне функціонування виробництва.

3.4 Огляд та вибір програмного забезпечення для діагностики та виправлення помилок мережі

Забезпечення безперебійної роботи промислових мереж вимагає регулярної діагностики та моніторингу їхнього стану. Вибір відповідного програмного забезпечення для діагностики та виправлення помилок є

критично важливим для виявлення потенційних проблем до того, як вони призведуть до серйозних збоїв.

Програмне забезпечення для моніторингу мережі

Системи моніторингу дозволяють відстежувати продуктивність мережі в реальному часі. Це може включати моніторинг трафіку, виявлення аномалій та оцінку завантаження. Вибір програмного забезпечення, яке забезпечує інтуїтивний інтерфейс та детальні звіти, дозволяє адміністраторам швидко реагувати на зміни в мережі.

Діагностичні інструменти

Діагностичне програмне забезпечення може виявити проблеми на рівні обладнання та програмного забезпечення. Інструменти, які забезпечують тестування пропускної спроможності, пінг-тести та трасування маршруту, є важливими для локалізації і усунення несправностей у мережі.

Автоматизація виправлення помилок

Системи автоматизації дозволяють налаштувати автоматичні процедури для виявлення та усунення типових проблем. Це зменшує навантаження на ІТ-персонал і дозволяє зосередитися на більш складних питаннях, покращуючи загальну ефективність обслуговування мережі.

Оцінка програмного забезпечення

Перед вибором програмного забезпечення важливо провести оцінку його можливостей. Необхідно звернути увагу на підтримувані протоколи, масштабованість, інтерфейс користувача та можливість інтеграції з існуючими системами. Вибір рішення, яке відповідає специфічним потребам підприємства, є запорукою ефективності роботи мережі.

РОЗДІЛ 4. ІНТЕГРАЦІЯ ІоТ НА ПРОМИСЛОВИХ ОБ'ЄКТАХ

В сучасному світі Інтернет речей (ІоТ) стає невід'ємною частиною промислових технологій. Його впровадження в виробничі процеси не лише оптимізує діяльність, але й сприяє зростанню продуктивності, безпеки та якості обслуговування. У цьому розділі розглянемо основні аспекти інтеграції ІоТ у промисловість.

Переваги використання ІоТ у виробництві

Перш ніж зануритися в деталі, важливо зазначити, що ІоТ відкриває нові горизонти для автоматизації та моніторингу виробничих процесів. Серед основних переваг можна виділити:

1. **Покращена продуктивність:** Здатність отримувати дані в реальному часі дозволяє підприємствам оперативно реагувати на зміни та оптимізувати процеси.
2. **Прогнозування збоїв:** Завдяки аналізу даних, ІоТ-системи можуть передбачити потенційні проблеми, що зменшує ризик простоїв.
3. **Підвищення якості:** Постійний моніторинг процесів дозволяє виявляти недоліки на ранніх стадіях, що позитивно впливає на кінцеву продукцію.

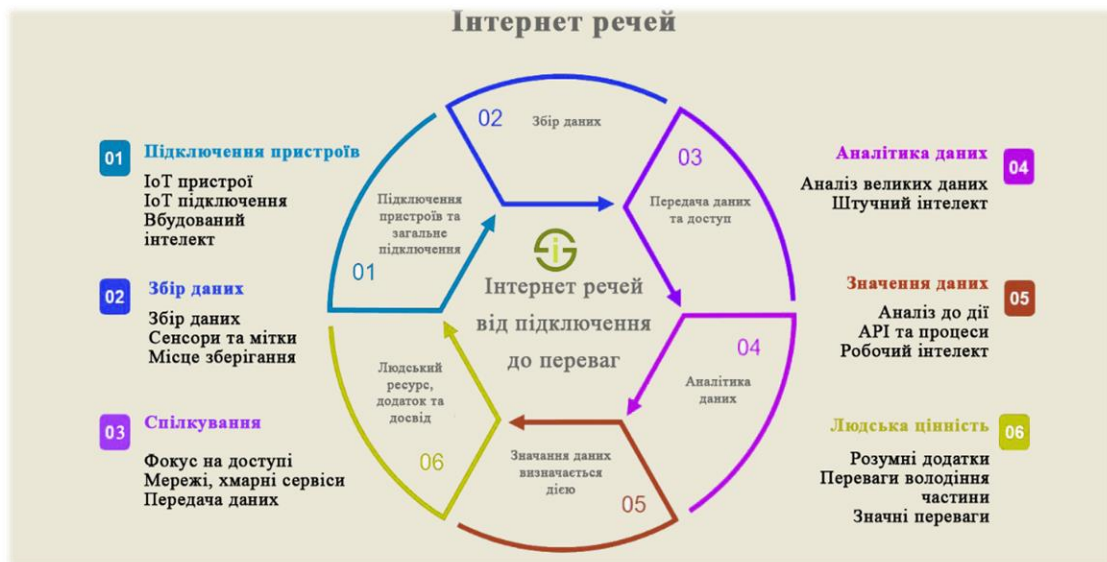


Рисунок 4.1 – IoT

Безпроводні інтегровані мережеві сенсори (WINS) забезпечують доступ до мережі та Інтернету для сенсорів і контролерів, що вбудовані в обладнання та середовище. Це дозволяє здійснювати моніторинг і контроль у різних галузях, таких як транспорт, виробництво та охорона здоров'я [2]. Використання бездротових технологій, таких як 5G, дозволяє інтегрувати їх у промислові застосування, забезпечуючи надійне управління мобільними роботами [10].

Сенсорні мережі, що складаються з численних пристроїв, здатні збирати та передавати дані про стан обладнання та навколишнього середовища. Це дозволяє:

- Автоматизація контролю: Наприклад, датчики температури та вологості можуть автоматично регулювати умови в приміщенні, покращуючи умови для роботи обладнання.
- Оптимізація ресурсів: Завдяки збору даних про споживання енергії або сировини, підприємства можуть краще планувати свої витрати і заощаджувати ресурси.

4.1 Використання IoT для моніторингу та управління виробничими процесами

Використання технологій Інтернету речей (IoT) у промислових умовах надає підприємствам можливість значно підвищити ефективність роботи. IoT пристрої забезпечують автоматичний збір, обробку та передачу даних про різні аспекти виробничих процесів. Завдяки цьому підприємства можуть оптимізувати управління, знижувати витрати та покращувати якість продукції.

Основні напрямки використання IoT у виробничих процесах

- Моніторинг у реальному часі - IoT-сенсори дозволяють отримувати дані про стан обладнання, температуру, тиск, вологість та інші критично важливі показники. Це допомагає контролювати виробництво, знижуючи ризик збоїв.
- Автоматизація процесів - Пристрої IoT інтегруються з автоматизованими системами управління (SCADA), забезпечуючи автоматичне регулювання процесів залежно від поточних умов. Наприклад, автоматичне вимкнення обладнання при перевищенні допустимого рівня навантаження.
- Прогнозна аналітика - Зібрані дані аналізуються за допомогою технологій машинного навчання для прогнозування можливих несправностей обладнання. Це дозволяє вчасно проводити технічне обслуговування, уникати простоїв та підвищувати надійність роботи системи.
- Управління логістикою - IoT допомагає оптимізувати переміщення матеріалів і продукції, дозволяючи відстежувати

вантажі в реальному часі та координувати дії між різними підрозділами підприємства.



Рисунок 4.2 – Напрями роботи IoT

Використання IoT у різних галузях.

Потенційні покращення для підприємств - Завдяки впровадженню IoT компанії досягають зниження витрат на обслуговування обладнання, мінімізують кількість аварійних ситуацій та оптимізують розподіл ресурсів.

4.2 Забезпечення стабільності та надійності мережі в умовах використання IoT

Зростаюче впровадження технологій Інтернету речей (IoT) у промислових середовищах вимагає надійної та стабільної мережі для підтримки потоку підключених пристроїв. Забезпечення стабільності та надійності має вирішальне значення для досягнення безперебійної роботи та мінімізації збоїв.

Ключові стратегії включають впровадження масштабованої мережевої архітектури. Екосистеми IoT часто складаються з тисяч датчиків і пристроїв, які генерують безперервні потоки даних. Ієрархічна або сітчаста топологія дозволяє ефективно керувати потоками даних, зменшуючи затримку та вузькі місця. Крім того, сегментація мережі відокремлює пристрої IoT від інших критично важливих систем, підвищуючи стабільність і безпеку шляхом ізоляції потенційних загроз.

Інтеграція різномірних мережевих технологій, таких як Time Sensitive Networking (TSN), є важливою для підтримки критичного трафіку в промислових системах [5]. Впровадження таких технологій вимагає вирішення питань сумісності між інформаційними та операційними технологіями (IT та OT)[3]. Використання підходів, заснованих на підкріплювальному навчанні, може автоматично налаштовувати системи управління та мережі в динамічному промисловому середовищі[7].

Граничні обчислення додатково сприяють надійності, обробляючи дані ближче до джерела. Зменшуючи залежність від центральних хмарних ресурсів, периферійні пристрої дозволяють приймати рішення з низькою затримкою навіть під час збоїв у з'єднанні. Цей децентралізований підхід забезпечує безперебійну роботу промислових процесів, чутливих до часу.

Механізми якості обслуговування (QoS) надають пріоритет важливому трафіку IoT над некритичними даними. Призначаючи вищий пріоритет критичним операціям, QoS мінімізує затримки та втрату пакетів, зберігаючи продуктивність підключених систем. Динамічний розподіл пропускну

здатності — це ще один метод адаптації мережевих ресурсів на основі вимог до трафіку IoT, що забезпечує стабільну продуктивність під час пікових навантажень.



Рисунок 4.3 – Візуалізація якості послуг (QoS)

Пристрої IoT чутливі до проблем із підключенням через перешкоди або слабкий сигнал. Щоб вирішити цю проблему, розгортання резервних бездротових протоколів, таких як Wi-Fi, Zigbee або LoRaWAN, забезпечує безперебійний зв'язок. Багатоканальні конфігурації та методи стрибкоподібної зміни частоти додатково зменшують перешкоди, підтримуючи стабільне з'єднання.

Регулярний моніторинг мережі та прогнозне обслуговування мають вирішальне значення для надійності. Удосконалені інструменти моніторингу на основі штучного інтелекту та машинного навчання аналізують дані мережі в режимі реального часу, щоб виявляти аномалії та прогнозувати можливі проблеми. Цей проактивний підхід мінімізує час простою, вирішуючи проблеми до їх загострення.

Кібербезпека також відіграє важливу роль у надійності мережі IoT. Надійні протоколи шифрування, безпечна автентифікація пристрою та часті оновлення мікропрограми захищають мережу від вразливостей, забезпечуючи стабільність і надійність.

Таким чином, досягнення стабільності та надійності в мережах із підтримкою Інтернету речей вимагає багатогранного підходу. Масштабована архітектура, периферійні обчислення, механізми QoS, резервні безпроводні протоколи та надійні заходи кібербезпеки разом забезпечують безперебійну роботу в промислових середовищах. Ці стратегії дозволяють IoT виконувати свої обіцянки щодо підвищення ефективності та стимулювання інновацій у галузях.

4.3 Впровадження сенсорних мереж для оптимізації операційної діяльності

Розгортання сенсорних мереж революціонізувало ефективність роботи в промислових середовищах. Завдяки інтеграції широкого спектру датчиків, таких як температура, тиск, вологість і детектори руху, промисловість може відстежувати ключові показники ефективності в режимі реального часу, забезпечуючи точне прийняття рішень.

Сенсорні мережі - забезпечують неперевершену видимість виробничих процесів. Наприклад, датчики температури в режимі реального часу на виробничих підприємствах гарантують, що обладнання працює в безпечних діапазонах, зменшуючи знос. Подібним чином датчики тиску в трубопроводах рано виявляють аномалії, запобігаючи дорогим збоям або простою.

Енергоефективність - є ще однією перевагою сенсорних мереж. Датчики з підтримкою Інтернету речей відстежують моделі споживання енергії, виявляючи області втрат. Тоді розумні системи можуть автоматично оптимізувати системи освітлення, опалення та охолодження, щоб мінімізувати витрати та вплив на навколишнє середовище. Крім того, завдяки даним датчиків забезпечується прогнозне технічне обслуговування, що дозволяє

операторам визначати потенційні збої в обладнанні до їх виникнення, що значно зменшує кількість незапланованих перебоїв.

Здатність збирати та аналізувати деталізовані дані сприяє вдосконаленню роботи. Статистика на основі даних оптимізує робочі процеси, оптимізує ланцюжки поставок і покращує розподіл ресурсів. Крім того, централізовані інформаційні панелі об'єднують дані датчиків у зручні для користувача інтерфейси, пропонуючи практичну інформацію з першого погляду.

Безпроводні сенсорні мережі (WSN) - мають особливу перевагу, оскільки вони усувають необхідність у великій кількості кабелів, роблячи установку гнучкою та економічно ефективною. Такі технології, як Zigbee, LoRaWAN і NB-IoT, підтримують зв'язок на великій відстані з низьким енергоспоживанням, забезпечуючи безперебійне підключення у великих приміщеннях.

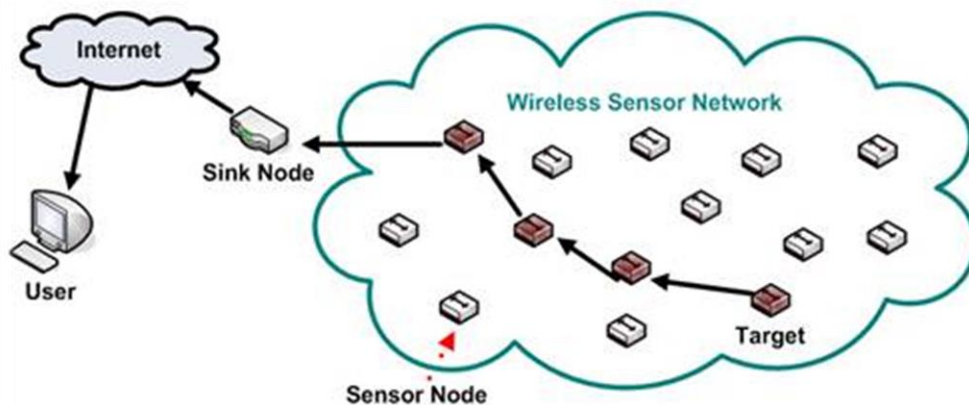


Рисунок 4.4 – Візуалізація бездротових сенсорних мереж (WSN)

Незважаючи на їхні переваги, впровадження сенсорних мереж пов'язане з труднощами. Правильне розміщення датчиків має вирішальне значення для оптимального покриття та продуктивності. Крім того, інтеграція цих мереж із

існуючою ІТ-інфраструктурою вимагає ретельного планування для забезпечення сумісності та масштабованості.

Підсумовуючи, сенсорні мережі є ключовими для оптимізації промислових операцій. Завдяки моніторингу в реальному часі, енергоефективності та прогнозному технічному обслуговуванню вони підвищують продуктивність, одночасно знижуючи експлуатаційні витрати. Правильне впровадження та інтеграція є ключовими для розкриття їх повного потенціалу, позиціонування галузей для підвищення ефективності та інновацій.

4.4 Енергетична незалежність в інтегрованих мережах IoT

Енергетична незалежність стає важливою умовою для сучасних промислових мереж, особливо тих, які інтегрують технології IoT. Досягнення енергетичної автономії забезпечує стабільність мережі, зменшує залежність від зовнішніх постачальників енергії та відповідає цілям сталого розвитку. У цьому розділі розглядаються ключові стратегії досягнення енергетичної незалежності:

Відновлювані джерела енергії - використання сонячних панелей, вітрових турбін і гідро-електрогенераторів забезпечує постійне постачання чистої енергії. Ці джерела можна розгорнути на місці для живлення мережевої інфраструктури, зменшуючи залежність від звичайних мереж. Сонячні панелі - Технологія сонячних панелей: сучасні фотоелектричні (PV) панелі перетворюють сонячне світло безпосередньо в електрику за допомогою напівпровідникових матеріалів. Ці панелі є високоефективними та випускаються в різних формах, включаючи монокристалічні, полікристалічні та тонкоплівкові, кожна з яких підходить для різних промислових застосувань.

Рекомендації щодо встановлення:

1. Розташування та орієнтація - панелі слід встановлювати в місцях з максимальним впливом сонячного світла, бажано на дахах або відкритих полях з південною орієнтацією для оптимальної роботи.
2. Масштабованість - сонячні системи можна адаптувати до енергетичних потреб промислових об'єктів, від невеликих додаткових установок до великомасштабних сонячних ферм.
3. Інтеграція з мережею - передові інвертори забезпечують плавну інтеграцію в існуючу енергетичну інфраструктуру, збалансовуючи сонячну енергію з іншими джерелами.

Технічне обслуговування та довговічність - регулярне чищення та періодичне технічне обслуговування забезпечують постійну ефективність. Високоякісні панелі можуть ефективно працювати більше 25 років з мінімальною деградацією.

Рішення для зберігання енергії - поєднання сонячних панелей із великомасштабними системами накопичення акумуляторів забезпечує резерви енергії в періоди низького сонячного світла, підвищуючи надійність.



Рисунок 4.5 – Приклад сонячних панелей у промислових масштабах

Вітрові турбіни - Сучасні вітряні турбіни використовують кінетичну енергію вітру та перетворюють її на електрику за допомогою вдосконалених систем генераторів. Ці турбіни відрізняються за розміром: від невеликих моделей для додаткової енергії до великих індустріальних установок, здатних живити цілі об'єкти.

Рекомендації щодо встановлення:

- Оптимальне розташування - розміщення в місцях із постійною швидкістю вітру, наприклад на відкритих рівнинах, прибережних регіонах або на вершинах пагорбів, забезпечує максимальну ефективність.
- Сухопутні та офшорні - хоча берегові турбіни є економічно ефективними, офшорні установки пропонують сильніші та постійніші вітри, хоча й з вищими витратами на встановлення.
- Масштабованість - модульні конструкції дозволяють інтегрувати в існуючі енергетичні системи або автономно використовувати для ізольованих об'єктів.

Рішення для накопичення енергії - поєднання вітряних турбін із акумуляторними системами або гібридними системами управління енергією забезпечує доступність енергії в періоди слабкої вітрової активності.

Технічне обслуговування та термін служби - Регулярна перевірка лез, підшипників та електричних систем має вирішальне значення. Високоякісні турбіни зазвичай мають термін служби 20–25 років.

Переваги для навколишнього середовища - Енергія вітру є чистим, стійким джерелом з мінімальним вуглецевим слідом. Його впровадження

узгоджується з цілями сталого розвитку промисловості, одночасно знижуючи витрати на енергію з часом.



Рисунок 4.6 – Приклад промислових вітрових турбін

Дизельні промислові генератори:

1. Ефективність і вихідна потужність - дизельні генератори відомі своєю здатністю забезпечувати безперервну високу вихідну потужність, що робить їх придатними для великих промислових об'єктів.
2. Довговічність - ці генератори створені для тривалого використання та можуть витримувати суворі умови експлуатації, включаючи екстремальні температури та тривале використання.
3. Низькі експлуатаційні витрати - дизельне паливо є ефективним і забезпечує більше енергії на одиницю порівняно з бензином, що призводить до зниження експлуатаційних витрат з часом.

Застосування: зазвичай використовується на заводах, у лікарнях, центрах обробки даних і віддалених будівельних майданчиках.



Рисунок 4.7 – Промисловий дизельний електро генератор

Бензинові промислові генератори:

- Портативність і доступність - менше за розміром і легше транспортувати, бензинові генератори ідеально підходять для мобільних промислових установок або резервних систем на невеликих підприємствах.
- Нижчі початкові витрати - як правило, вони доступніші для придбання порівняно з дизельними агрегатами, що робить їх економічно ефективним варіантом для короткочасного або нечастого використання.
- Швидкий запуск -бензинові генератори легко запускати та експлуатувати, часто вимагаючи менше технічних знань для обслуговування.

Проблеми: незважаючи на свої переваги, бензинові генератори мають вищу витрату палива та коротший термін служби порівняно з дизельними

аналогами, що робить їх менш ідеальними для тривалого промислового використання.

Сучасні інновації в паливних генераторах:

Технологія шумозаглушення: удосконалення для мінімізації робочого шуму, що робить їх більш придатними для середовищ, де контроль звуку є критичним.

Системи контролю викидів: відповідність екологічним стандартам шляхом включення фільтрів і каталітичних нейтралізаторів.

Гібридна інтеграція: вдосконалені моделі поєднують дизельну або бензинову потужність з акумуляторами або відновлюваними джерелами для підвищення ефективності та зменшення викидів.

Ці промислові генератори відіграють ключову роль у забезпеченні стабільної роботи в різних галузях промисловості, пропонуючи надійні рішення для резервного або основного живлення, адаптовані до широкого спектру сценаріїв.

Ефективне зберігання енергії має вирішальне значення для забезпечення безперебійної роботи промислових об'єктів. Сучасні технології зберігання значно розвинулися, пропонуючи масштабовані та надійні варіанти:

Системи зберігання акумуляторів: системи акумуляторів промислового класу все частіше розгортаються як окремі одиниці або як частина комплексних енергетичних рішень. Для великих об'єктів можна встановлювати цілі акумуляторні стенди або масиви. Ці стенди є модульними, що дозволяє легко розширювати їх відповідно до зростаючих енергетичних потреб.



Рисунок 4.8 – Стенд з акумуляторами

Конфігурація: підставки для акумуляторів складаються із з'єднаних між собою модулів, розміщених у безпечному корпусі з контрольованим кліматом. Ці системи можуть накопичувати надлишкову енергію, вироблену відновлюваними джерелами, такими як сонячні панелі, або забезпечувати резервне живлення під час відключень.

Масштабованість: об'єкти можуть паралельно розгорнути кілька акумуляторних стендів, забезпечуючи накопичення енергії високої ємності для тривалого використання. Цей підхід ідеально підходить для об'єктів з високими потребами в енергії, наприклад для тих, які покладаються на пристрої IoT і автоматизовані системи.

Інтеграція IoT: розширені системи моніторингу та керування дозволяють у режимі реального часу діагностувати стан акумулятора, рівень заряду та потік енергії. Датчики з підтримкою IoT можуть передбачати потреби в технічному обслуговуванні, підвищуючи надійність системи.

Гібридне накопичення енергії: поєднання акумуляторів з іншими системами, такими як маховики або ультраконденсатори, забезпечує покращену продуктивність завдяки балансуванню короткочасних стрибків енергії з довгостроковими потребами у зберіганні.

Застосування:

Балансування навантаження: плавне використання енергії шляхом накопичення надлишків у непікові години та розрядки в періоди високого попиту.

Резервування живлення: батареї забезпечують миттєве живлення під час відключень, допоки не активуються генератори.

Екологічність: стенди, інтегровані з відновлюваними джерелами енергії, зменшують викиди вуглекислого газу, відповідаючи екологічним цілям.

Практична енергоефективності: оптимізація споживання енергії за допомогою інтелектуальних систем, таких як енергетичні монітори на основі IoT і адаптивне освітлення, значно зменшує втрати. Такі системи аналізують моделі використання та коригують розподіл електроенергії в реальному часі.

Системи резервного живлення: гібридні рішення, що поєднують відновлювані джерела енергії з традиційними резервними системами, такими як паливні елементи або дизельні генератори, можуть забезпечити резервування, забезпечуючи безперебійну роботу навіть під час дефіциту електроенергії.



Рисунок 4.9 – Паливний промисловий електро генератор

Децентралізовані мікромережі: створення локальних мікромереж дає змогу промисловості виробляти, зберігати та розподіляти власну енергію. Датчики IoT у мікромережах відстежують потік енергії, виявляють неефективність і полегшують балансування навантаження, підвищуючи надійність.

Переваги енергонезалежності в мережах IoT

Підвищена надійність: Енергонезалежні мережі забезпечують безперебійну роботу, що має вирішальне значення для чутливих до часу промислових процесів.

Економія: Зменшення залежності від зовнішніх джерел живлення знижує довгострокові витрати на електроенергію.

Вплив на навколишнє середовище: використання відновлюваної енергії мінімізує викиди вуглекислого газу, підтримуючи ініціативи сталого розвитку.

Масштабованість: мережі з підтримкою Інтернету речей, що працюють від автономних систем енергопостачання, можуть плавно масштабуватися в міру зростання промислових операцій.

Розглянемо промислове підприємство, яке використовує датчики IoT на сонячних батареях для моніторингу виробництва. Під час збоїв в електромережі акумуляторна батарея об'єкта безперебійно живить мережу, зберігаючи потік даних і оперативний контроль.

Енергетична незалежність не тільки підвищує стійкість мережі, але й підтримує ширші промислові цілі, що робить її критичним аспектом сучасної інтеграції IoT.

4.5 Вступ до автоматизації на основі сенсорних даних

Після збирання й обробки інформації з датчиків, наступним кроком є автоматизація управлінських рішень, що дозволяє підвищити ефективність виробничого процесу та мінімізувати вплив людського фактора. В даному контексті буде реалізовано автоматичне додавання інгредієнтів у технологічний чан у певний момент часу, коли вимірювальні сенсори (температури, ваги, густини) фіксують досягнення оптимальних умов.

Автоматизація цього процесу дозволяє забезпечити точність, швидкість і стабільність усього технологічного циклу. Завдяки використанню одноплатного комп'ютера Raspberry Pi у поєднанні з сенсорами, контролерами та електронними клапанами (або механізмами подачі), можна реалізувати повністю автоматичне керування подачею інгредієнтів.

4.5.1 Алгоритм автоматизації процесу

Автоматичне додавання інгредієнтів відбувається за чітким алгоритмом, який базується на даних сенсорів та певних заданих умовах. Нижче наведено структурований опис етапів:

Моніторинг показників з датчиків

1. Сенсори температури (наприклад, DS18B20) фіксують поточну температуру чану.
2. Сенсори густини чи ваги (наприклад, HX711 для вагових датчиків) збирають дані про поточну масу інгредієнтів або їх концентрацію в чані.
3. Датчики зчитують показники в реальному часі та передають їх на Raspberry Pi через GPIO-порти або інтерфейси I2C/SPI/UART.

Обробка зібраних даних

На Raspberry Pi запущено Python-скрипт, який обробляє дані сенсорів у режимі реального часу. Використовуючи вбудовані бібліотеки, такі як RPi.GPIO, numpy або Pandas, дані аналізуються для визначення поточного стану чану.

Скрипт перевіряє, чи досягнуто критеріїв для додавання інгредієнтів:

- Температура перевищує заданий поріг (наприклад, 85°C).
- Поточна густина відповідає технологічним нормам.
- Час роботи процесу перевищив певний інтервал (наприклад, 20 хвилин з моменту запуску).

Передача команд на виконавчі механізми

Коли умови досягнуто, Raspberry Pi через релейний модуль або інтерфейс I2C подає сигнал на електронний клапан, що відкриває подачу інгредієнтів у чан.

Виконавчий механізм може бути представлений:

Соленоїдними клапанами для подачі рідких компонентів. Моторизованими подаючими пристроями (шнеками, дозаторами) для сипучих матеріалів.

Контроль виконання завдання

Після відкриття клапана чи запуску механізму, датчики ваги/рівня повторно зчитують дані для контролю обсягу доданих інгредієнтів. Python-скрипт перевіряє, чи додано необхідну кількість інгредієнтів (наприклад, 10 кг) і подає сигнал на закриття клапана.

Запис та логування даних

Усі показники сенсорів та статус виконання завдання зберігаються у локальній базі даних (SQLite або InfluxDB).

Логи включають:

- a. Час спрацювання механізму.
- b. Температуру, вагу та густину в момент активації.
- c. Статус виконання (успішно/помилка).

4.6 Загальна архітектура системи моніторингу

Система моніторингу та автоматизації, побудована на базі одноплатного комп'ютера Raspberry Pi, є компактным і ефективним рішенням для промислових об'єктів. Її основна мета — забезпечити безперервний збір, обробку і зберігання даних, а також управління процесами на основі показників датчиків.

На діаграмі представлено ключові компоненти системи та їх взаємодія, що дозволяє досягти автоматизації процесу подачі інгредієнтів у чан.

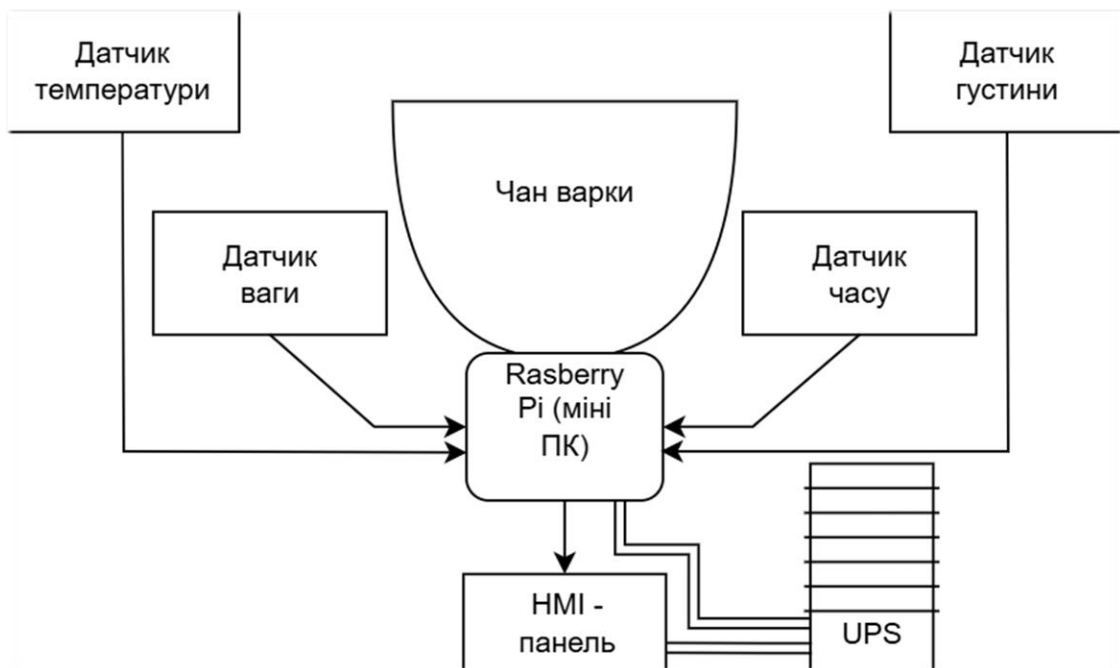


Рисунок 4.10 – Діаграма автоматизації чана варки

4.6.1 Основні компоненти системи

Датчики:

- Датчик температури: Вимірює температуру у чані для контролю оптимальних умов варіння.
- Датчик ваги: Визначає вагу інгредієнтів або продукту для точного дозування.
- Датчик густини: Контролює густину речовини у чані, що дозволяє оцінити її готовність.
- Датчик часу: Відстежує тривалість процесу для своєчасного керування автоматизацією.

Роль одноплатного комп'ютер Raspberry Pi:

Збирає дані від датчиків через GPIO-порти або інтерфейси I2C, SPI, UART.

Обробляє отримані значення за допомогою Python-скриптів. Виконує логічні обчислення для прийняття рішень щодо керування подальшими діями.

Функції:

Збереження даних у локальній базі даних (SQLite, InfluxDB). Відправка даних на HMI-панель для візуалізації процесу. Передача сигналів до виконавчих механізмів, таких як клапани або дозатори.

HMI-панель:

Служить інтерфейсом для відображення даних у режимі реального часу. Надає можливість оператору контролювати показники та виконувати ручне керування системою.

UPS (Джерело безперебійного живлення):

Забезпечує стабільну роботу системи у разі перебоїв електроживлення. Гарантує збереження даних і належне завершення робочих процесів у критичних умовах.

4.6.2 Принцип роботи системи та Переваги архітектури

Збір даних із сенсорів

На першому етапі система збирає дані з датчиків температури, ваги, густини та часу, які розміщені в зоні чана варки або на інших важливих ділянках технологічного процесу. Кожен датчик виконує свою функцію:

- Датчик температури визначає рівень нагріву рідини чи речовини у чані та передає його у вигляді цифрового сигналу.
- Датчик ваги вимірює масу інгредієнтів і контролює процес їх подачі.
- Датчик густини дозволяє оцінити фізико-хімічні властивості рідини, вказуючи на готовність продукту.
- Датчик часу відстежує часові інтервали для точного дотримання технологічного циклу.

Передача даних відбувається через GPIO-порти Raspberry Pi, а для складніших сенсорів застосовуються інтерфейси I2C, SPI або UART.

Обробка даних на Raspberry Pi

Raspberry Pi приймає дані з усіх датчиків і проводить їх попередню обробку. На цьому етапі:

Фільтрація сигналів: Виключаються хибні або неадекватні значення шляхом математичних фільтрів (наприклад, медіанний фільтр).

Логічна обробка: Отримані значення порівнюються з еталонними або граничними показниками, які були задані у системі.

Прийняття рішень: На основі аналізу даних система визначає, чи необхідно виконати конкретну дію — наприклад, подати інгредієнти в чан або активувати аварійне сповіщення.

Дані обробляються за допомогою Python-скриптів, які надають високу гнучкість для налаштування логіки роботи системи.

Управління виконавчими механізмами

Якщо умови відповідають заданим параметрам, Raspberry Pi відправляє сигнали керування на виконавчі механізми, наприклад: Відкриття або закриття клапанів для подачі інгредієнтів. Активування мішалок для перемішування продукту. Включення/вимкнення нагрівальних елементів для регулювання температури. Передача сигналів здійснюється через релейні модулі, які можуть взаємодіяти як з електромеханічними, так і з пневматичними пристроями.

Збереження та передача даних

Паралельно з управлінням процесами дані зберігаються в локальній базі даних (наприклад, SQLite або InfluxDB) для подальшого аналізу. Ці дані також передаються: На HMI-панель для моніторингу оператором у реальному часі. На центральний PLC-контролер для інтеграції в загальну інфраструктуру підприємства.

Сповіщення про критичні значення

При досягненні критичних показників (наприклад, перевищення температури або відхилення густини від норми), система автоматично генерує аварійні сповіщення:

Telegram-бот: Миттєві повідомлення для відповідальних осіб.

Email-розсилки: Архівація критичних подій для подальшого аналізу.

Ця функція дозволяє оперативно реагувати на проблеми та мінімізувати ризики простою виробництва.

4.6.3 Переваги архітектури

Енергоефективність

Система на базі Raspberry Pi відзначається низьким енергоспоживанням близько 5-15 Вт в активному режимі роботи. Це робить її ідеальним рішенням для промислових об'єктів, де важливо забезпечити мінімальні витрати енергії.

Компактність і мобільність

Одноплатний комп'ютер має невеликі габарити та вагу, що дозволяє легко інтегрувати систему в обмежений простір. Використовувати її в умовах мобільних виробничих точок або експериментальних установок.

Гнучкість налаштування

Завдяки підтримці відкритих операційних систем (наприклад, Raspberry Pi OS, Ubuntu) та мов програмування (Python, C++, Java), систему можна налаштувати відповідно до специфічних потреб виробництва.

Доступність та економічність

Вартість Raspberry Pi значно нижча за традиційні промислові контролери (PLC). Датчики та додаткові компоненти є широко доступними на ринку. Рішення базується на відкритих технологіях, що дозволяє знизити витрати на ліцензування програмного забезпечення.

Масштабованість системи

Система легко розширюється шляхом додавання нових сенсорів та виконавчих механізмів. Наприклад, можна додати датчики рівня рідини, вібрації або газоаналізатори для більш повного контролю процесу.

Інтеграція з іншими системами

Raspberry Pi може взаємодіяти з PLC-контролерами для інтеграції в загальну систему автоматизації підприємства. SCADA-системами для віддаленого моніторингу та керування. Хмарними платформами для зберігання та аналізу великих обсягів даних.

Оперативність реагування

Автоматичні аварійні сповіщення забезпечують швидке реагування на критичні ситуації. Це дозволяє мінімізувати втрати продукції та підвищити безпеку робочих процесів.

Збереження історії даних

Зібрані дані зберігаються у базі даних і можуть використовуватись для аналізу ефективності процесів, прогнозування технічного обслуговування обладнання (Predictive Maintenance).

Як висновок архітектура системи моніторингу на базі Raspberry Pi поєднує в собі надійність, економічність та гнучкість, що дозволяє оптимізувати технологічні процеси на промислових об'єктах. Завдяки можливості масштабування та інтеграції з іншими системами, ця архітектура є перспективним рішенням для підприємств різного рівня.

РОЗДІЛ 5. ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ВПРОВАДЖЕНИХ РІШЕНЬ

5.1 Порівняльний аналіз ефективності впроваджених рішень у сирній промисловості

Оцінка ефективності впроваджених рішень є ключовим етапом для розуміння впливу модернізації на загальну продуктивність та якість виробництва. Для цього доцільно порівняти автоматизовану систему, запропоновану в рамках цієї роботи, з існуючими виробничими підходами, які застосовуються на інших підприємствах у сирній промисловості. Такий аналіз дозволить виявити переваги впроваджених рішень, їхню економічну вигоду, екологічну доцільність і технологічну ефективність.

Традиційна модель виробництва сиру

Багато сучасних сирних підприємств, особливо невеликих або середніх, усе ще використовують традиційні методи управління процесами. В таких системах основний наголос робиться на ручному контролі параметрів виробництва, таких як температура, густина та час варіння. Ці параметри часто перевіряються вручну за допомогою окремих вимірювальних пристроїв, а процес дозування інгредієнтів здійснюється заздалегідь встановленими пропорціями, без урахування реальних умов у чані.

Недоліки традиційної моделі:

- Низька точність: Ручний контроль параметрів не дозволяє забезпечити високий рівень точності, що може вплинути на якість продукції.
- Підвищена трудомісткість: Значна частина процесів вимагає втручання оператора, що збільшує витрати на робочу силу.
- Ризик людської помилки: Ручний контроль параметрів може призводити до помилок, які складно виправити в реальному часі.
- Недостатня гнучкість: Зміна умов виробництва потребує значного часу для переналаштування обладнання та процесів.

Впроваджена модель автоматизації

Рішення, розроблене в рамках цієї роботи, передбачає інтеграцію сучасних мережевих технологій, автоматизованого управління на базі Raspberry Pi та супутникового Інтернету для забезпечення безперервного контролю виробничих параметрів. Ключовими елементами цієї системи є датчики температури, густини, ваги та часу, які автоматично збирають дані та передають їх на центральний вузол для обробки. Дані використовуються для автоматизації подачі інгредієнтів та контролю температурного режиму, що значно підвищує ефективність виробництва.

Переваги впровадженої моделі:

- Підвищена точність: Датчики забезпечують високоточний збір даних у реальному часі, що дозволяє підтримувати параметри на оптимальному рівні.
- Автоматизація процесів: Значна частина операцій виконується автоматично, що знижує потребу в ручній праці.

- Стабільна якість: Завдяки точному контролю параметрів виробництва продукція відповідає встановленим стандартам.
- Зниження витрат: Використання автоматизованих рішень зменшує витрати на робочу силу та знижує ризик помилок, які можуть призвести до втрат продукції.
- Масштабованість: Система легко адаптується до змін у виробничих обсягах або вимогах, що є важливим для зростання підприємства.

Таблиця 5.1 -

Параметр	Традиційна модель	Впроваджена модель
Точність вимірювань	Низька, ручний контроль	Висока, автоматизовані сенсори
Затрати на працю	Високі, значна участь персоналу	Низькі, автоматизовані процеси
Якість продукції	Нестабільна, залежить від людського фактору	Стабільна, контроль параметрів у реальному часі
Можливість масштабування	Обмежена, потребує значних змін у процесах	Висока, гнучка інтеграція нових модулів
Витрати на обслуговування	Високі, часті збої через зношування обладнання	Низькі, використання сучасних технологій

Порівняння двох моделей чітко демонструє переваги автоматизованого підходу, розробленого в рамках цієї роботи. Впроваджена система не лише підвищує точність і стабільність виробничих процесів, але й значно знижує витрати на робочу силу та обслуговування обладнання. Завдяки масштабованості та гнучкості ця модель може бути адаптована для підприємств різного розміру, забезпечуючи високу якість продукції та ефективність роботи. Традиційні моделі, хоча й простіші у впровадженні, значно поступаються автоматизованим рішенням за всіма ключовими показниками, що робить перехід на сучасні технології виправданим і економічно доцільним.

5.2 Очікуваний вплив модернізації на безперебійність роботи підприємства

Модернізація технологічних процесів є одним із найважливіших аспектів забезпечення безперебійної роботи підприємства, особливо в умовах сучасних викликів, таких як зростаючий попит на продукцію, підвищення вимог до якості та необхідність оптимізації витрат. У рамках цієї роботи модернізація була спрямована на інтеграцію новітніх мережевих технологій, автоматизацію виробничих процесів і забезпечення надійного резервування ключових компонентів системи, що в цілому дозволяє мінімізувати ризики збоїв і втрат продуктивності.

Одним із ключових компонентів модернізації стало впровадження системи на базі Raspberry Pi, яка виконує роль центрального вузла управління та збору даних від датчиків температури, ваги, густини й часу. Ця система дозволяє здійснювати моніторинг та контроль параметрів виробництва в реальному часі, що значно підвищує ефективність та оперативність управлінських рішень. Наприклад, автоматична подача інгредієнтів у чан залежно від даних сенсорів дозволяє уникнути затримок у технологічному процесі, а також забезпечити сталість якості продукції.

Впровадження резервного енергопостачання на базі UPS та генераторів стало ще одним важливим кроком, що вплинув на безперебійність роботи підприємства. У разі відключення основного живлення система автоматично переходить на резервні джерела, забезпечуючи живлення для критично важливих компонентів, таких як Raspberry Pi, супутниковий модем та сенсори. Це дозволяє уникнути непередбачуваних зупинок виробництва та втрати даних у випадку аварійних ситуацій.

Крім того, було реалізовано інтеграцію RAID-системи для зберігання та резервування даних. Використання RAID 1 забезпечує дзеркальне копіювання

інформації на двох носіях, що гарантує збереження даних навіть у разі виходу з ладу одного з дисків. Ця технологія особливо важлива для виробництва, де точність та актуальність даних мають вирішальне значення. Наприклад, історичні записи про температуру варіння або густину продукту можуть бути використані для аналізу та оптимізації процесів, а також для доведення відповідності стандартам якості.

Ще одним важливим аспектом модернізації стало впровадження супутникового Інтернету. У нашій системі це забезпечує постійний зв'язок з центральним сервером або хмарними платформами для передачі даних, оновлення програмного забезпечення та аварійного сповіщення. Завдяки цьому оператори мають змогу отримувати інформацію про стан виробництва у реальному часі та оперативно реагувати на будь-які відхилення, навіть якщо підприємство знаходиться у віддаленому регіоні.

Інтеграція енергозалежних компонентів із сенсорними мережами та автоматичними виконавчими механізмами також стала важливим кроком для підвищення безперебійності роботи. Використання гребінчастих вібраційних датчиків густини та температурних сенсорів DS18B20 дозволяє постійно підтримувати параметри у межах оптимальних значень. Наприклад, у разі перевищення температури система може автоматично включати охолоджувальні механізми або надсилати сповіщення оператору через Telegram-бот чи email.

Додатково було впроваджено методи захисту мережі, включаючи брандмауери та VPN-з'єднання, які захищають систему від кібератак та несанкціонованого доступу. Ця модернізація особливо важлива для підтримки стабільності мережевих з'єднань та забезпечення конфіденційності переданих даних.

Таким чином, всі ці заходи суттєво вплинули на підвищення безперебійності роботи підприємства. Система стала більш стійкою до

зовнішніх впливів, таких як перебої у електропостачанні чи кібератаки, і дозволила знизити ризики втрат продуктивності. Завдяки впровадженим рішенням підприємство отримало можливість працювати стабільніше, забезпечуючи високу якість продукції та оперативність у реагуванні на зміни у виробничих умовах.

5.3 Економічну доцільність впроваджених рішень

Модернізація систем автоматизації на промислових об'єктах, зокрема у сирній промисловості, передбачає значні інвестиції в обладнання, програмне забезпечення та впровадження нових технологій. Теоретична кількісна оцінка цих покращень дозволяє визначити економічну доцільність впроваджених рішень, оцінити потенційні вигоди та порівняти витрати з очікуваними результатами. У даному розділі розглянемо основні компоненти модернізації, їхні витрати та потенційні економічні переваги для підприємства.

Витрати на модернізацію системи автоматизації

Основними елементами модернізації є:

1. Одноплатний комп'ютер Raspberry Pi:
 - Вартість: Приблизно 1000 грн за одиницю.
 - Кількість: 2 одиниці (для резервування).
 - Загальна вартість: 2000 грн.
2. Сенсори та датчики:
 - Датчик температури DS18B20: 300 грн/шт, 10 шт — 3000 грн.
 - Датчик ваги HX711 + тензодатчик: 500 грн/комплект, 5 комплектів — 2500 грн.
 - Вібраційний датчик густини: 1500 грн/шт, 3 шт — 4500 грн.
 - Загальна вартість сенсорів: 10 000 грн.
3. Супутниковий модем та антена:

- Супутниковий модем (наприклад, Starlink): 15 000 грн.
- Супутникова антена: 10 000 грн.
- Загальна вартість супутникового обладнання: 25 000 грн.

4. Система зберігання даних (RAID):

- Жорсткі диски SSD 1 ТБ: 4000 грн/шт, 2 шт — 8000 грн.
- Контролер RAID (наприклад, для Raspberry Pi): 3000 грн.
- Загальна вартість RAID-системи: 11 000 грн.

5. Джерело безперебійного живлення (UPS):

- UPS 1000 VA: 6000 грн.
- Загальна вартість UPS: 6000 грн.

6. Програмне забезпечення та ліцензії:

- Ліцензії на програмне забезпечення для управління RAID та резервного копіювання: 5000 грн.
- Загальна вартість програмного забезпечення: 5000 грн.

7. Монтаж та налаштування системи:

- Вартість робіт по встановленню та налаштуванню: 10 000 грн.

8. Резервні компоненти та матеріали:

- Кабелі, адаптери, корпуси для Raspberry Pi: 3000 грн.
- Загальна вартість резервних компонентів: 3000 грн.

Загальна вартість модернізації складає 67 000 грн. (табл. 5.1)

Потенційні економічні вигоди від впроваджених технологій

1. Підвищення продуктивності: (автоматизація процесів дозволяє збільшити виробничу потужність)
2. Зниження витрат на працю: (зменшення потреб в ручній праці)
3. Покращення якості продукції: (зниження кількості дефектної продукції за рахунок підвищення точності обробки інформації, заощадження на витратах через зменшення відходів)
4. Зменшення ризику втрат даних: (уникнення втрат продукції та інформації через впровадження системи резервного копіювання та RAID)

Таблиця 5.1- вартість комплектуючих системи

Категорія	Вартість (грн)
Одноплатний комп'ютер <i>Raspberry Pi</i>	2000 грн.
Сенсори та датчики	10 000 грн.
Супутниковий модем та антена	25 000 грн.
Система зберігання даних (RAID)	11 000 грн.
Джерело безперебійного живлення (UPS)	6000 грн.
Програмне забезпечення	5000 грн.
Монтаж та налаштування	10 000 грн.
Резервні компоненти	3000 грн.
Загальна вартість модернізації	67 000 грн.

Загальна вартість модернізації системи складає 67 000 грн, тоді як щомісячна економічна вигода оцінюється у 140 000 грн. Це означає, що витрати на модернізацію окупляться вже через кілька місяців роботи системи, після чого підприємство почне отримувати значний чистий прибуток. Крім безпосередніх фінансових вигод, модернізація також покращує якість продукції, підвищує рівень автоматизації та знижує ризики, пов'язані з людськими помилками та технічними збоїми.

Крім економічних аспектів, модернізація системи автоматизації приносить низку інших важливих переваг:

- Підвищення конкурентоспроможності: Підприємство з модернізованою системою може пропонувати продукцію вищої якості та швидше реагувати на зміни ринкових умов.
- Покращення умов праці: Автоматизація знижує навантаження на працівників, дозволяючи їм зосередитися на більш складних та креативних завданнях.
- Зниження екологічного впливу: Оптимізація процесів дозволяє ефективніше використовувати ресурси та зменшувати відходи, що позитивно впливає на екологію.

Теоретична кількісна оцінка показує, що модернізація систем автоматизації на базі Raspberry Pi з використанням супутникового Інтернету, системи RAID, резервного копіювання та інших технологічних рішень є економічно доцільною і приносить значні фінансові та нефінансові вигоди для сирної промисловості. Впровадження цих рішень не лише покращує

ефективність виробництва, але й забезпечує стабільність роботи підприємства, що є ключовим фактором успіху у сучасному конкурентному середовищі.

Висновки

Проведена кваліфікаційна магістерська робота присвячена інтеграції сучасних мережевих технологій для забезпечення безперебійної роботи промислових об'єктів, зокрема в контексті автоматизації технологічних процесів, підвищення надійності систем і оптимізації витрат. Результати дослідження підтверджують, що запропоновані рішення є практично значущими та можуть бути успішно впроваджені для покращення роботи промислових підприємств.

Основна увага в роботі була зосереджена на впровадженні одноплатного комп'ютера Raspberry Pi як центрального вузла для моніторингу та автоматизації процесів. Завдяки використанню цього пристрою вдалося забезпечити високоточний контроль технологічних параметрів, таких як температура, густина та вага. У рамках дослідження було розроблено схему підключення сенсорів через GPIO-порти та стандартизовані інтерфейси (I2C, SPI), що дозволило інтегрувати в систему широкий спектр датчиків. Це значно підвищує точність управління та дає змогу автоматизувати такі процеси, як подача інгредієнтів або регулювання температури.

Ключовим аспектом модернізації стала інтеграція супутникового Інтернету як основного каналу зв'язку. Супутниковий модем і антена забезпечують стабільний доступ до мережі навіть у віддалених районах, що дозволяє централізовано контролювати роботу системи, передавати дані до хмарних платформ і отримувати оновлення програмного забезпечення. Такий підхід значно знижує ризик простоїв через відсутність зв'язку та забезпечує високу мобільність системи.

У роботі також розглянуто впровадження RAID-систем для забезпечення надійного зберігання та відновлення даних. Вибір RAID 1 дозволив створити дзеркальне копіювання інформації, що гарантує її збереження навіть у разі виходу з ладу одного з носіїв. Це рішення важливе для підтримки стабільної роботи підприємства, оскільки зібрані дані є

основою для аналітики, управління процесами та дотримання стандартів якості.

Окремо було опрацьовано питання резервного енергопостачання. Інтеграція джерел безперебійного живлення (UPS) та промислових генераторів забезпечує стабільну роботу системи у разі перебоїв з електропостачанням. Це критично важливо для підприємств, де технологічні процеси не допускають зупинок. Додатково впроваджені заходи щодо енергоефективності, такі як використання сонячних панелей та оптимізація споживання енергії, що сприяє зменшенню витрат та екологічного впливу.

Значна увага була приділена захисту мережі. Встановлення програмного брандмауера UFW на Raspberry Pi забезпечило базовий рівень безпеки, а додаткове впровадження VPN-з'єднання дозволило створити захищений канал для передачі даних. Інтеграція таких заходів захисту дозволяє мінімізувати ризики кібератак, які можуть порушити роботу системи або викрасти конфіденційну інформацію.

Інтегровані мережеві технології є критично важливими для сучасних промислових об'єктів, забезпечуючи автоматизацію, підвищення ефективності та безпеки. Подальший розвиток цих технологій, зокрема через впровадження IoT та 5G, відкриває нові можливості для оптимізації виробничих процесів та зниження витрат [9].

У підсумку, розроблені в рамках роботи рішення можуть бути використані для модернізації промислових підприємств різного масштабу. Вони є гнучкими, економічно вигідними та дозволяють значно підвищити рівень автоматизації, стабільність і якість продукції. Інтеграція таких технологій є важливим кроком до створення сучасного та конкурентоспроможного виробництва.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. MEF – IEEE ComSoc Technology Blog. *IEEE ComSoc Technology Blog*. URL: <https://techblog.comsoc.org/tag/mef/> (date of access: 24.12.2024).
2. Як вибрати генератор?. "Порто Франко". URL: <https://portofranco.com.ua/kakie-bivajut-generatori> (дата звернення: 24.12.2024).
3. 2. MEF – IEEE ComSoc Technology Blog. *IEEE ComSoc Technology Blog*. URL: <https://techblog.comsoc.org/tag/mef/> (date of access: 24.12.2024).
4. Супутниковий Інтернет на противагу традиційному: можливості та обмеження використання. *Макснет – Гігабітний інтернет-провайдер та оператор зв'язку для дому та бізнесу*. URL: <https://maxnet.ua/blog/suputnikovij-internet-na-protivagu-tradicijnomu-mozhливosti-ta-obmezhennya-vikoristannya/> (дата звернення: 20.10.2024).
5. Jiang, M., Luo, Y., Zhang, D., Effenberger, F., Jin, J., & Ansari, N. (2023). Enabling Next-Generation Industrial Networks with Industrial PON. *IEEE Communications Magazine*, 61, 129-135. <https://ieeexplore.ieee.org/document/10018331> (дата звернення: 20.10.2024).
6. Pottie, G., & Kaiser, W. (2000). Wireless integrated network sensors. *Communications of the ACM*, 43, 51 - 58. <https://dl.acm.org/doi/10.1145/332833.332838> (дата звернення: 20.10.2024).
7. Gaj, P., Scanzio, S., & Wisniewski, L. (2020). Guest Editorial: Heterogeneous Industrial Networks of the Current and Next-Generation Factories. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 16, 5539-5542. <https://ieeexplore.ieee.org/document/9016112>. (дата звернення: 20.10.2024).

8. Xu, H., Yu, W., Griffith, D., & Golmie, N. (2018). A Survey on Industrial Internet of Things: A Cyber-Physical Systems Perspective. *IEEE Access*, 6, 78238-78259. <https://ieeexplore.ieee.org/document/8558534>. (дата звернення: 20.10.2024).
9. Fedullo, T., Morato, A., Tramarin, F., Rovati, L., & Vitturi, S. (2022). A Comprehensive Review on Time Sensitive Networks with a Special Focus on Its Applicability to Industrial Smart and Distributed Measurement Systems. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 22. <https://www.mdpi.com/1424-8220/22/4/1638>. (дата звернення: 20.10.2024).
10. Galloway, B., & Hancke, G. (2013). Introduction to Industrial Control Networks. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 15, 860-880. <https://ieeexplore.ieee.org/document/6248648>. (дата звернення: 20.10.2024).
11. Xu, H., Liu, X., Yu, W., Griffith, D., & Golmie, N. (2020). Reinforcement Learning-Based Control and Networking Co-Design for Industrial Internet of Things. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 38, 885-898. <https://ieeexplore.ieee.org/document/9044436>. (дата звернення: 20.10.2024).
12. Kim, D., & Tran-Dang, H. (2018). An Overview on Industrial Control Networks. *Computer Communications and Networks*. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-04927-0_1. (дата звернення: 20.10.2024).
13. Wei, M., Hong, S., & Alam, M. (2016). An IoT-based energy-management platform for industrial facilities. *Applied Energy*, 164, 607-619. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0306261915015883?via%3Dihub>. (дата звернення: 20.10.2024).
14. Rodriguez, I., Mogensen, R., Fink, A., Raunholt, T., Markussen, S., Christensen, P., Berardinelli, G., Mogensen, P., Schou, C., & Madsen, O. (2021). An Experimental Framework for 5G Wireless System Integration into

Industry 4.0 Applications. *Energies*. <https://www.mdpi.com/1996-1073/14/15/4444>. (дата звернення: 20.10.2024).

Додаток А**Демонстраційні матеріали (Презентація)**



ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІНФОРМАЦІЙНО-
КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Кафедра
Комп'ютерної інженерії

Магістерська робота

**«ІНТЕГРОВАНІ МЕРЕЖЕВІ ТЕХНОЛОГІЇ ДЛЯ
БЕЗПЕРЕБІЙНОЇ РОБОТИ ПРОМИСЛОВИХ
ОБ'ЄКТІВ»**

Виконав: студент групи КСДМ-62 Іванов Олександр Павлович

Керівник роботи: к.т.н доцент Волохін Віталій Васильович



Київ - 2025

Мета, Об'єкт, Предмет дослідження

Метою даного дослідження є підвищення ефективності та безперебійності роботи промислових об'єктів шляхом автоматизації виробничих процесів, інтеграції IoT-рішень для моніторингу та збору даних, впровадження надійних систем зберігання даних (RAID), а також забезпечення комплексного захисту мережі та відновлення роботи у разі аварій.

Об'єкт дослідження: є процес інтеграції сучасних мережевих технологій для забезпечення стабільної роботи промислових підприємств.

Предмет дослідження: методи підвищення надійності, продуктивності та безпеки виробничих процесів на основі сучасних мережевих технологій, інтеграції IoT-пристроїв, використання систем зберігання RAID та додаткових джерел живлення.

Актуальність теми

Автоматизація виробничих процесів, наприклад сироваріння, дозволяє мінімізувати ризики, пов'язані з людським фактором. Наприклад, помилки під час контролю температури чи неточності в дозуванні інгредієнтів можуть не лише знизити якість готового продукту, але й призвести до фінансових втрат. Інтеграція сучасних технологій, таких як одноплатні комп'ютери, датчики та системи моніторингу, забезпечує високий рівень точності та стабільності на кожному етапі виробництва.

Крім того, автоматизація допомагає оптимізувати витрати на виробництво. Використання енергоефективних систем, таких як сонячні панелі та джерела безперебійного живлення, дозволяє знизити витрати на енергоресурси. А збирання і аналіз даних в режимі реального часу відкриває можливості для подальшого вдосконалення технологічних процесів.

Таким чином, автоматизація не лише сприяє підвищенню ефективності підприємства, але й дозволяє створити більш конкурентоспроможну модель виробництва. Це актуально для сучасних промислових підприємств, які прагнуть відповідати високим стандартам якості та економічності в умовах глобалізації ринку.

Діаграма автоматизації чана варки

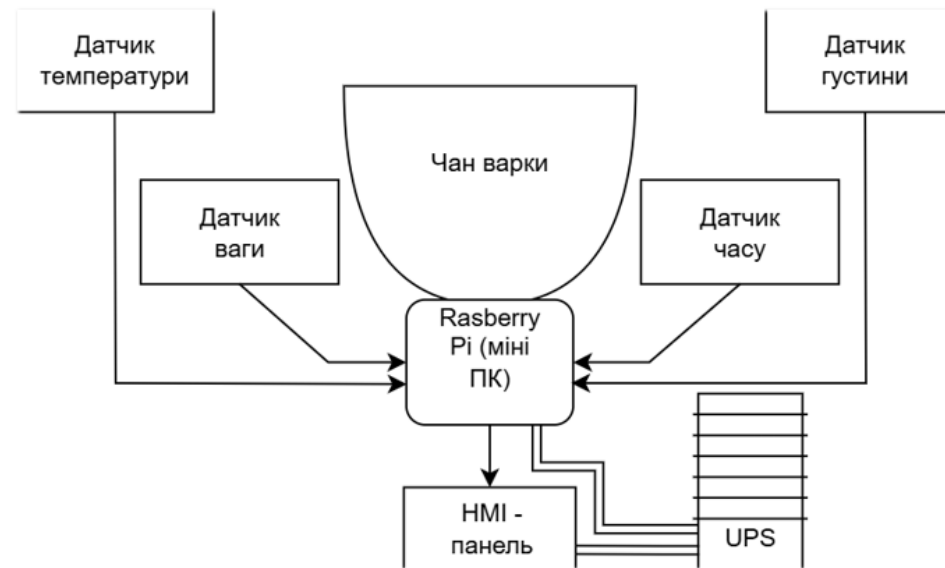


Рисунок 4.10 – Діаграма автоматизації чана варки

Raspberry Pi як основний вузол управління та моніторингу



Рисунок 2.11 – Зображення Raspberry Pi

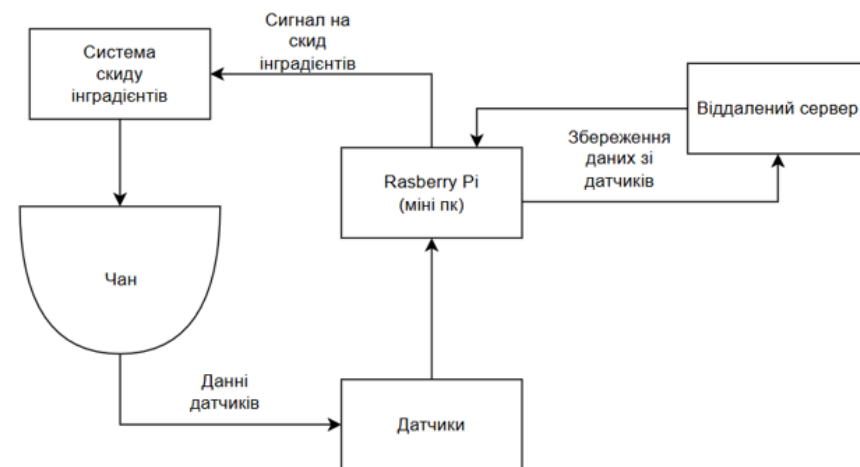


Рисунок 2.17 – Схема взаємодії Raspberry Pi з віддаленим сервером

Датчики



Рисунок 2.13 –
датчик температуры
DS18B20

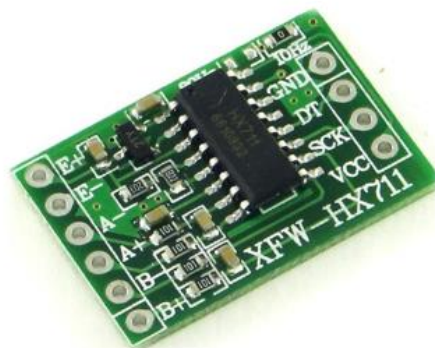


Рисунок 2.14 –
Датчик ваги HX711



Рисунок 2.15 – Датчик
густини

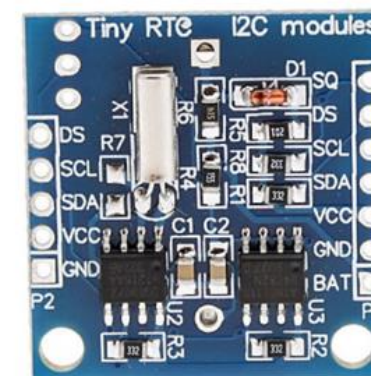


Рисунок 2.16 – Датчик
часу DS1307

Супутниковий інтернет та хмари у промисловості

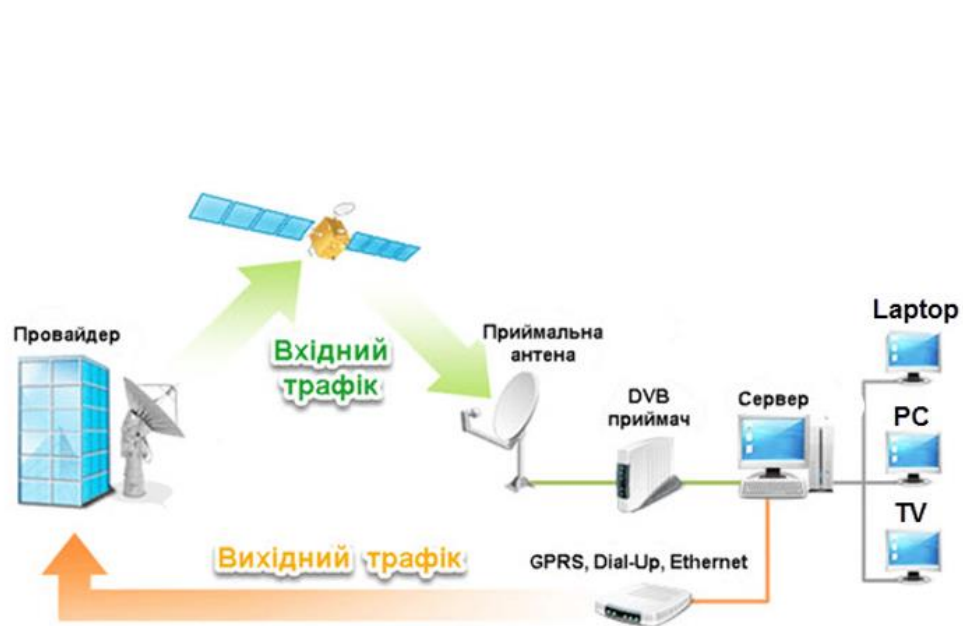


Рисунок 1.1 – Прикладна схема супутникового інтернету

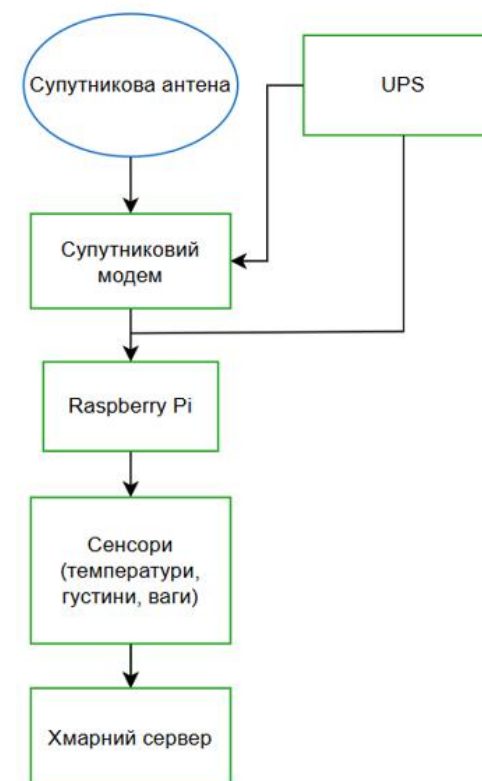


Рисунок 1.2 – схема підключення супутникового Інтернету до системи автоматизації на базі Raspberry Pi ⁷

RAID система

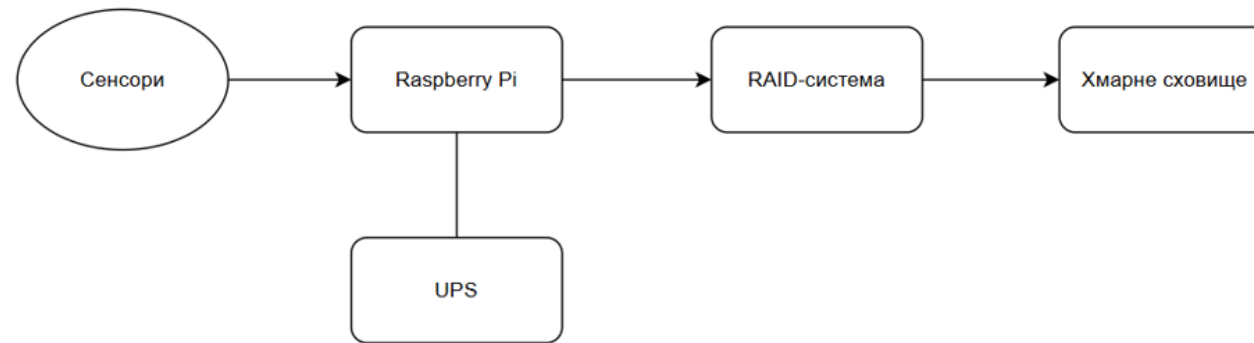


Рисунок 3.2 – Схема збереження та відновлення даних системи

Резервне енергопостачання та UPS



Рисунок 4.8 – Стенд з
акумуляторами



Рисунок 4.7 – Промисловий
дизельний електро
генератор



Рисунок 4.9 –
Паливний промисловий
електро генератор

Висновки

В ході виконання магістерської роботи були зроблені наступні висновки:

1. Автоматизація базових процесів на промислових об'єктах, таких як сироварні, сприяє зниженню ризиків, пов'язаних із людським фактором, і підвищенню якості продукції. Це дозволяє мінімізувати вплив недбалості та помилок на виробництві.
2. Інтеграція таких компонентів, як Raspberry Pi, датчики температури, ваги, густини та часу, створює надійну мережу для контролю процесів. Це забезпечує точність, стабільність та енергоефективність на кожному етапі роботи.
3. Запропоновані рішення дозволяють оптимізувати виробничі витрати, забезпечити постійний моніторинг та швидке реагування на можливі збої. Це відкриває нові перспективи для вдосконалення процесів та створення конкурентоспроможної моделі виробництва.