

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Автоматики і комп'ютерних технологій
(повна назва)

Кафедра Комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та робототехніки
(повна назва)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА Пояснювальна записка

рівень вищої освіти перший (бакалаврський)
Розробка інтелектуального модулю для моніторингу
технологічного процесу складання в рамках концепції Індустрія 4.0
(тема)

Виконав:
здобувач 3 року навчання
скорочений строк навчання,
групи АКТАКІТу -22-1

Кирило МИХАЙЛЕНКО

(власне ім'я, прізвище)

Спеціальність 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

(код і повна назва спеціальності)

Тип програми освітньо-професійна

Освітня програма Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

(повна назва освітньої програми)

Керівник Світлана МАКСИМОВА

(посада, власне ім'я, прізвище)

Допускається до захисту
Завідувач кафедри КІТАР

(підпис)

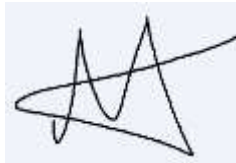
Ігор НЕВЛЮДОВ

(власне ім'я, прізвище)

2025 р.

Я, Михайленко Кирило Андрійович, як здобувач вищої освіти ХНУРЕ, розумію і підтримую політику закладу із академічної доброчесності. Я не надавав і не одержував недозволену допомогу під час підготовки кваліфікаційної роботи. Я не використовував штучний інтелект для підготовки кваліфікаційної роботи. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

«10» липня 2025 р

A handwritten signature in black ink on a light blue background. The signature is stylized and appears to be 'Кирило Михайленко'.

Кирило МИХАЙЛЕНКО

Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет _____ АКТ _____
Кафедра КІТАР _____
Рівень вищої освіти _____ перший (бакалаврський) _____
Спеціальність 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології _____
Тип програми _____ Освітньо-професійна _____
Освітня програма Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології _____
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри _____
(підпис)

«19» травня 2025 р.

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

здобувачу _____ Михайленку Кирилу Андрійовичу _____
(прізвище, ім'я, по батькові)

1 Тема роботи _____ Розробка інтелектуального модулю для моніторингу
технологічного процесу складання в рамках концепції Індустрія 4.0 _____

Затверджена наказом по університету від 21.05.2025 р. №405 Ст _____

2 Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії 09.07.2025 _____

3 Вихідні дані до роботи _____

3.1 Arduino UNO, мікроконтролер для розробки проекту _____

3.2 Додаткові компоненти, датчик температури, датчик газу, датчик звуку, LCD дисплей _____

4 Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі _____

4.1 Вступ _____

4.2 Аналіз технічного завдання _____

4.3 Проектування інтелектуального модулю для моніторингу технологічного процесу складання _____

4.4 Розробка інтелектуального модулю для моніторингу технологічного процесу складання в рамках концепції Індустрія 4.0 _____

4.5 Висновки та перелік джерел посилань _____

5 Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій

Демонстраційний матеріал, представлений у форматі презентації

PowerPoint (*.ppt) 16 с. формату А4

6 Консультанти розділів роботи

Найменування розділу	Консультант (посада, прізвище, ім'я, по батькові)	Позначка консультанта про виконання розділу	
		підпис	дата

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Строк / терміни виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз технологічного процесу складання	25.11.2024	Виконано
2	Огляд існуючих систем моніторингу процесу складання	09.12.2024	Виконано
3	Вибір середовища програмування	18.03.2025	Виконано
4	Розробка інтелектуального модулю для моніторингу	28.03.2025	Виконано
5	Висновки та перелік джерел посилань.	28.06.2025	Виконано

Дата видачі завдання 19.05.2025

Здобувач

_____ (підпис)

Кирило МИХАЙЛЕНКО

(власне ім'я, прізвище)

Керівник роботи

_____ (підпис)

доц. Світлана МАКСИМОВА

(посада, власне ім'я, прізвище)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 82 с., 18 рис., 2 дод., 18 джерел.

ІНДУСТРІЯ 4.0, МОНІТОРИНГ, ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС, АВТОМАТИЗАЦІЯ, ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИЙ МОДУЛЬ, СКЛАДАННЯ, ДАТЧИКИ, ІНТЕРФЕЙС КОРИСТУВАЧА, ARDUINO UNO, PYTHON.

Мета роботи – підвищення ефективності технологічного процесу складання шляхом розробки інтелектуального модуля моніторингу, що відповідає вимогам концепції Індустрія 4.0, з можливістю інтеграції до існуючих виробничих систем.

Об'єкт розробки – технологічний процес складання в умовах автоматизованого виробництва.

Предмет розробки – інтелектуальний програмний модуль моніторингу як складова автоматизованої системи управління складанням.

У першому розділі виконано аналіз сучасного стану технологій, що використовуються в системах моніторингу виробничих процесів, а також теоретичних аспектів концепції Індустрія 4.0. Розглянуто особливості інтеграції інформаційних технологій у традиційні виробничі цикли та перспективи використання інтелектуальних модулів на підприємствах.

У другому розділі детально описано розробку інтелектуального модуля: його архітектуру, програмну реалізацію, графічний інтерфейс користувача, структуру управління подіями та механізм формування звітності. Програму реалізовано мовою Python із використанням бібліотек Tkinter, OpenCV та вбудованих інструментів взаємодії з файлами. Описано можливість реєстрації оператора, емуляції збирання деталей, фіксації часу виконання кожної операції, побудови графіків продуктивності та контролю температури, шуму і газового середовища.

У третьому розділі проведено комп'ютерне моделювання замкненої системи автоматичного управління одним із параметрів процесу складання. Виконано аналіз стійкості системи, побудовано частотні характеристики, розраховано перехідні процеси. Здійснено налаштування ПІ-регулятора за методом Зіглера-Ніколса та оптимізацію за інтегральним критерієм якості ISE. Показано, що використання регулятора дозволяє значно покращити динаміку системи при збереженні її стійкості.

Отримані результати підтверджують ефективність розробленого модуля та доцільність його впровадження на виробництві. Розробка відповідає сучасним вимогам цифровізації та може слугувати базою для подальшого вдосконалення систем керування на основі адаптивних та інтелектуальних алгоритмів.

ABSTRACT

Explanatory note: 82 pp., 18 fig., 2 app., 18 sources.

INDUSTRY 4.0, MONITORING, TECHNOLOGICAL PROCESS, AUTOMATION, INTELLIGENT MODULE, SENSORS, USER INTERFACE, ARDUINO UNO, PYTHON.

The aim of the work is to improve the efficiency of the assembly technological process by developing an intelligent monitoring module that meets the requirements of the Industry 4.0 concept and can be integrated into existing production systems.

The object of the development is the assembly technological process in conditions of automated production.

The subject of the development is the intelligent software-based monitoring module as a component of an automated assembly control system.

In the first chapter, an analysis of the current state of technologies used in production process monitoring systems was carried out, along with a theoretical overview of the Industry 4.0 concept. The integration of information technologies into traditional manufacturing cycles and the prospects of using intelligent modules in industrial environments were examined.

The second chapter provides a detailed description of the development of the intelligent module, including its architecture, software implementation, graphical user interface, event management structure, and reporting mechanism. The software was implemented in Python using Tkinter, OpenCV, and built-in file interaction tools. Functionality includes operator registration, simulation of component assembly, recording of operation execution times, productivity graph generation, and environmental control (temperature, noise, and gas levels).

The third chapter presents computer simulation of a closed-loop automatic control system for one of the parameters in the assembly process. System stability

was analyzed, frequency response characteristics were built, and transient responses were calculated. A PI-controller was tuned using the Ziegler-Nichols method and optimized according to the ISE (Integral of Squared Error) performance criterion. The results demonstrate that the use of the controller significantly improves the system's dynamic performance while maintaining stability.

The obtained results confirm the effectiveness of the developed module and the feasibility of its implementation in industrial environments. The system meets modern digitalization requirements and can serve as a foundation for further development of control systems based on adaptive and intelligent algorithms.

ЗМІСТ

Перелік умовних скорочень	11
Вступ	12
1 Аналіз технічного завдання	15
1.1 Особливості концепції Індустрія 4.0	14
1.2 Загальна характеристика технологічного процесу складання	20
1.3 Огляд існуючих систем моніторингу технологічних процесів	25
1.4 Проблеми моніторингу на сучасних підприємствах.....	27
2 Проєктування інтелектуального модулю для моніторингу технологічного процесу складання.....	39
2.1 Вибір ключових параметрів моніторингу технологічного процесу складання.....	
2.2 Обґрунтування вибору методу обробки інформації в інтелектуальному модулі.....	42
2.3 Архітектура модулю моніторингу.....	
3 Розробка інтелектуального модулю.....	57
3.1 Апаратне забезпечення інтелектуального модуля	57
3.2 Розроблення апаратної частини реалізованого модулю моніторингу в складі технологічного процесу.....	97
3.3 Розроблення програмної частини реалізованого модулю моніторингу в складі технологічного процесу	99
3.4 Теорія автоматичного управління	102
3.5 Охорона праці.....	
Висновки	105
Перелік джерел посилання	107
Додаток А Лістинг програми Python	120
Додаток Б Демонстраційний матеріал	143

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

CSV – comma-separated values;

IR – infrared radiation;

KIT – computer-integrated technologies;

LCD-дисплей – liquid crystal display;

MES-рішень – manufacturing execution system;

OpenCV – open source computer vision library;

PC – personal computer;

SCADA – supervisory control and data acquisition;

WinCC – windows control center.

ВСТУП

Сьогодні, в умовах сучасних умовах цифрової трансформації промисловості все більшого значення набувають автоматизовані системи керування та моніторингу, що відповідають концепції Індустрія 4.0. Виробництво поступово переходить до формату гнучких, адаптивних та інтелектуальних систем, у яких важливу роль відіграють технології обробки даних, сенсорика, візуалізація інформації та взаємодія з користувачем у режимі реального часу. Однією з критично важливих ланок у цьому процесі є технологічний процес складання, який вимагає не лише точності й стабільності, а й ефективного моніторингу на всіх етапах.

Більшість існуючих систем збору та контролю даних у виробництві залишаються недостатньо інтегрованими або не забезпечують належного рівня візуалізації й оперативного аналізу. Це обмежує можливості керування, сповільнює виявлення відхилень у процесі та ускладнює забезпечення належної якості продукції. Саме тому особливої актуальності набуває необхідність розробки інтелектуального модуля моніторингу, здатного адаптуватися до різних сценаріїв складання, реєструвати всі події, взаємодіяти з датчиками та забезпечувати інтуїтивно зрозумілий інтерфейс користувача.

Впровадження таких рішень дозволяє забезпечити прозорість процесу складання, вести облік виконаних дій, контролювати параметри середовища а також формувати звітність та реагувати на відхилення від встановлених норм. Крім того, застосування програмно-апаратних засобів на базі Arduino, Python та технологій комп'ютерного зору створює можливість інтеграції розробленої системи в існуюче виробниче середовище.

Актуальність теми зумовлена потребами сучасного промислового виробництва в гнучких, інтелектуальних та інтегрованих рішеннях, які здатні забезпечити контроль і облік складання в режимі реального часу, не перевантажуючи оператора технічними деталями. Це дозволяє підвищити

ефективність, зменшити людський фактор і отримувати якісні дані для прийняття рішень.

Таким чином, створення інтелектуального модуля моніторингу складання є актуальним та перспективним напрямом у розвитку автоматизованих систем керування у відповідності до викликів Індустрії 4.0. Його практичне значення полягає у можливості використання на великих підприємствах, та у невеликих виробничих осередках, що прагнуть підвищити конкурентоспроможність через цифровізацію процесів.

Мета роботи – підвищення ефективності технологічного процесу складання шляхом розробки інтелектуального модуля моніторингу, що відповідає вимогам концепції Індустрія 4.0, з можливістю інтеграції до існуючих виробничих систем.

Об'єкт розробки – технологічний процес складання в умовах автоматизованого виробництва.

Предмет розробки – інтелектуальний програмний модуль моніторингу як складова автоматизованої системи управління складанням.

Для досягнення мети було визначено наступні завдання:

- здійснити аналіз сучасних підходів до моніторингу технологічних процесів у контексті концепції Індустрія 4.0, визначити актуальні проблеми та напрями розвитку;
- дослідити наявні програмні та апаратні засоби, які можуть бути використані для побудови інтелектуального модуля моніторингу складання;
- розробити архітектуру модуля з урахуванням вимог гнучкості, масштабованості та інтеграції в автоматизовані системи управління;
- реалізувати програмний інтерфейс користувача для відображення стану складання, реєстрації подій, виведення звітності та інтерактивної взаємодії з оператором;
- впровадити обробку даних від сенсорів (температури, шуму, газу), а також облік і візуалізацію кількості зібраних деталей у режимі реального часу;

– провести моделювання замкненої системи автоматичного управління одним із параметрів складання, дослідити її стійкість, якість регулювання та оптимізувати параметри регулятора.

– оформити кваліфікаційну роботу згідно ДСТУ 3008:2015 [1], а також з методичними вказівками з підготовки й оформлення кваліфікаційної роботи здобувачами першого (бакалаврського) рівня вищої освіти спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» освітньої програми «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» [2] з дипломного проєктуванням для студентів усіх форм навчання [3].

Отримані результати роботи можна віднести до Цілі сталого розвитку 9 “Промисловість, інновації та інфраструктура”, а саме п. 9.4 “Сприяти прискореному розвитку високо- та середньо-високотехнологічних секторів переробної промисловості, які формуються на основі використання ланцюгів «освіта – наука – виробництво» та кластерного підходу за напрямками розвиток інноваційної екосистеми”, індикатор 9.4.1.

1 АНАЛІЗ ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ

1.1 Особливості концепції Індустрія 4.0

Сьогодні світова промисловість постійно змінюється. Якщо раніше основною рушійною силою були механізація чи автоматизація окремих процесів, то сьогодні спостерігається кардинально новий підхід до виробництва. А саме підхід, що базується не лише на технічному прогресі, а й на об'єднанні фізичних і цифрових систем у єдине ціле. В цьому є суть Індустрії 4.0, яка стала відповіддю на виклики часу та запити висококонкурентного середовища.

Поява концепції «Індустрія 4.0» стала продуманою відповіддю на глобальні економічні виклики та необхідність модернізації виробничих систем. Вперше цей термін прозвучав на престижній промисловій виставці в Ганновері у 2011 році. Саме тоді було офіційно представлено перед собою стратегічне завдання у вигляді переосмислення традиційних підходи до промисловості через глибоке впровадження цифрових технологій у всі сфери виробництва.

Цей підхід сформувався в епоху завершення цифрової трансформації, яка почалася ще у другій половині ХХ століття, коли з'явилися перші комп'ютери, системи числового програмного керування, а потім – і автоматизовані виробничі комплекси. Але Індустрія 4.0 вийшла за межі звичайної автоматизації. Якщо в рамках попередньої революції технології просто допомагали людині виконувати завдання швидше та точніше, то тепер мова йде про створення виробничих структур, які можуть працювати самостійно, аналізуючи середовище, самонавчаючись і оптимізуючи свою діяльність у реальному часі [4].

Особливістю сучасного етапу є наявність кіберфізичних систем, які дозволяють створювати віртуальні двійники фізичних об'єктів і процесів. Ці

цифрові відображення дають змогу передбачати їхню реакцію на зміни умов, моделювати наслідки різних рішень та швидко виявляти відхилення. Такі системи не діють ізольовано: вони об'єднані в єдину інформаційну мережу, що дозволяє забезпечити безперервний обмін даними між усіма елементами виробництва: машинами, датчиками, людьми та сервісами. Все це здійснюється в умовах постійної змінності, коли виробництво здатне миттєво адаптуватися до запиту замовника або змін у зовнішньому середовищі.

Центральну роль у цьому процесі відіграє Інтернет речей. Завдяки йому машини перестають бути пасивними виконавцями, а перетворюються на активних учасників виробничого процесу. Вони можуть самостійно передавати дані про власний стан, запитувати обслуговування, змінювати режим роботи, враховуючи поточні обставини. У такому середовищі вже не потрібно очікувати втручання людини, бо рішення приймаються децентралізовано, на основі накопичених і миттєво оброблених даних.

Окрему увагу варто приділити тому, як саме інформація обробляється. Завдяки хмарним технологіям і обчислювальним платформам можливо оперативно аналізувати великі масиви даних. Результатом цього аналізу стають рекомендації, прогнози та автоматичні управлінські дії, які дозволяють уникати збоїв, знижувати витрати або підвищувати продуктивність. Відтак, ключова перевага сучасного виробництва полягає не лише у високому рівні автоматизації, а у здатності передбачати події, управляти ризиками та швидко перебудовуватись.

Ознакою Індустрії 4.0 можна також вважати поступовий перехід від серійного до індивідуалізованого виробництва. Нові технології дозволяють швидко адаптувати виробничий процес під потреби конкретного споживача, не знижуючи при цьому ефективності та не збільшуючи суттєво витрати. Це стало можливим саме завдяки інтеграції інформаційних систем, які забезпечують прозорість усіх етапів виробництва, а також через використання цифрових платформ, що забезпечують тісну взаємодію між підприємством, постачальниками і клієнтами.

Концепція Індустрії 4.0 передбачає, що сучасне виробництво повинно бути автоматизованим та «розумним». Йдеться про створення умов, за яких окремі елементи системи здатні самостійно оцінювати ситуацію, адаптуватися до змін і взаємодіяти один з одним у реальному часі. Це більше не про лінії з фіксованою програмою, а про динамічні структури. В таких структурах кожна одиниця, від датчика до управлінської системи, здатна до самостійного аналізу та прийняття рішень.

Однією з головних відмінностей цього підходу є можливість відмовитися від жорстких централізованих моделей управління. Завдяки взаємозв'язаним компонентам, системи самі узгоджують дії між собою, реагуючи на реальні умови виробництва. В таких умовах оператор уже не виступає єдиним джерелом команд, а радше виконує роль наглядача або контролера загальної стратегії.

Розвиток концепції став можливим завдяки стрімкому поширенню цифрових технологій, які відкрили нові горизонти для промисловості. Зокрема, мова йде про ті цифрові інструменти, які дозволяють в режимі реального часу фіксувати стан обладнання, передавати дані на віддалені сервери, проводити складний аналіз інформації та приймати на його основі практичні управлінські рішення.

Також важливою складовою стало уявлення про виробництво як про гнучку, модульну структуру, яка постійно змінюється, адаптується і розвивається. Раніше підприємства будувалися на десятиліття з урахуванням стабільних обсягів і усталених технологій. Сьогодні ж актуальним є принцип швидкої перебудови як фізичної, так і логічної. Сучасне виробництво має бути здатне швидко реагувати на зміну попиту, технічних умов чи логістичних обмежень. Саме тому цифрова трансформація стала обов'язковою умовою для тих компаній, що прагнуть залишатися конкурентоспроможними.

Індустрія 4.0 це не просто набір новітніх технологій, а цілісна ідеологія, яка змінює сам підхід до організації виробництва. І якщо раніше впровадження нових технологій вимагало значних зусиль, то сьогодні цифровізація стає

природною частиною кожного етапу роботи. Її значення важко переоцінити, особливо коли йдеться про точність, безпеку, ефективність і гнучкість. Тобто ті критерії, які визначають якість сучасного промислового середовища.

Тому створення інтелектуального модуля моніторингу якраз і передбачає впровадження принципів самостійного аналізу, прогнозування та реагування на зміну виробничих параметрів. Цей модуль є своєрідним уособленням того, як виглядає інтеграція цифрових рішень у звичайний технічний процес. Він демонструє, що навіть на рівні конкретного цеху або окремого етапу складання можна реалізувати ідеї, які ще донедавна здавалися футуристичними.

1.2 Загальна характеристика технологічного процесу складання

Складання виробів посідає особливе місце серед усіх етапів виробничого процесу. Це завершальна стадія, на якій з окремих деталей формується цілісна конструкція, здатна виконувати необхідні функції. Саме в цей момент механізм чи пристрій набуває завершеного вигляду та може бути переданий далі на випробування, експлуатацію або реалізацію. Незалежно від галузі, де відбувається виробництво. Як машинобудування, чи електроніка, чи приладобудування. Тобто від якості складання залежить надійність усього виробу. Тому до цього етапу завжди висувуються підвищені вимоги щодо точності, повторюваності та стабільності результату.

У процесі складання важливим є не лише фізичне з'єднання компонентів, а й підготовка до цієї операції. Потрібно, щоб усі частини були на своїх місцях, у відповідному стані, перевірені на відсутність пошкоджень чи дефектів. Тільки після цього можна переходити до безпосереднього з'єднання. Воно може здійснюватися різними способами залежно від технології: механічно, з використанням пайки або клею, за допомогою зварювання тощо. Після збирання обов'язковим є контроль точності та

коректності встановлення всіх елементів. І лише впевнившись у правильності виконаних дій, виріб допускають до функціональних випробувань.

Сьогодні більшість складальних операцій вже не здійснюються повністю вручну. Частина підприємств перейшла до автоматизованих рішень, де роль людини зводиться до контролю та спостереження за роботою обладнання. Складальні лінії модернізуються, щоб скоротити час виконання циклів, зменшити кількість похибок і мінімізувати втручання оператора. Усе це сприяє зростанню якості продукції та дає змогу ефективніше використовувати ресурси.

Водночас, із розвитком цифрових технологій, до складання почали ставитися інакше. Не просто як до технічної операції, а як до джерела цінної інформації про процес. Наприклад, під час збирання можуть змінюватися температурні режими, зростати тиск, з'являтися надмірні вібрації чи інші фізичні відхилення. Якщо своєчасно фіксувати ці зміни, можна не лише попередити появу браку, а й відреагувати до того, як ситуація призведе до зупинки лінії або аварійної ситуації. У цьому контексті контроль за параметрами набуває нового значення він стає невіддільною частиною адаптивного виробництва, орієнтованого на динамічну зміну умов.

В умовах сучасного підприємства, що працює із замовленнями на дрібні партії або взагалі в одиничному форматі, складання має бути максимально гнучким. Це означає, що всі системи повинні легко налаштовуватися, швидко перебудовуватися та бути здатними працювати з новими типами виробів без складних переналаштувань. Саме тому все більше уваги приділяється розробці інтелектуальних рішень, які можуть оцінювати ситуацію, фіксувати критичні зміни та автоматично повідомляти про необхідність втручання або корекції процесу.

Ідея створення подібних інтелектуальних модулів, як пропонується у межах цього дипломного проєкту, є актуальною і практично обґрунтованою. У реальних виробничих умовах саме такі рішення дозволяють поєднати

точність контролю, автоматизовану обробку сигналів та можливість оперативного аналізу.

Таким чином, процес складання у сучасному розумінні є складною багаторівнева система, в якій поєднано техніку, цифрові інструменти, аналіз даних та адаптивні підходи. Його успішне функціонування потребує ретельної організації, дотримання точності й оперативного реагування на всі фактори, що можуть впливати на якість кінцевого результату. На цьому ґрунтується ідея цифрової трансформації складання, який є дуже важливим у напрямі Індустрії 4.0.

1.3 Огляд існуючих систем моніторингу технологічних процесів

У сучасних умовах виробництво неможливо уявити без систем, які забезпечують постійне спостереження за параметрами технологічних процесів. Потреба в оперативному контролі, своєчасному виявленні відхилень і швидкому прийнятті рішень сформувала цілий напрям розвитку цифрових платформ, що покликані забезпечити прозорість та адаптивність виробничих систем. Завдяки цим рішенням підприємства не лише спостерігають за тим, що відбувається, а й можуть впливати на процес, передбачаючи несправності та оптимізуючи навантаження [5].

Одним із перших етапів еволюції моніторингу стали так звані SCADA-системи. Їхнє основне призначення полягало у візуалізації виробничих даних, архівації сигналів із датчиків та передачі інформації оператору. Ці платформи, на кшталт WinCC чи TRACE MODE, стали стандартом де-факто на промислових підприємствах, завдяки своїй гнучкості та можливості налаштування під конкретні технологічні процеси. Разом з тим, функціональність SCADA часто обмежувалась лише інтерфейсами спостереження та ручним втручанням у логіку роботи. Тому їх важко назвати «розумними» в сучасному розумінні цього слова.

Подальший розвиток відбувся через інтеграцію систем моніторингу в рамках ширших виробничих середовищ, зокрема MES-рішень. Ці платформи стали мостом між реальним виробництвом і корпоративними інформаційними системами, дозволяючи синхронізувати фізичні події з плануванням, обліком і аналітикою. Тут моніторинг уже не існує ізольовано, бо він є частиною загальної логіки управління виробництвом. MES-системи, типу Siemens Opcenter або SAP ME, дозволяють не тільки збирати дані, а й використовувати їх для прийняття управлінських рішень на різних рівнях. Проте складність впровадження та налаштування подібних платформ обумовлює високі вимоги до кваліфікації персоналу і значні витрати на інтеграцію [6].

У сучасних умовах промисловості широко використовуються різноманітні цифрові рішення для моніторингу технологічних процесів. Серед них особливе місце займають SCADA- та MES-системи, які забезпечують збір, обробку та візуалізацію інформації на підприємствах. Проте ці рішення, попри свою функціональність, мають ряд обмежень щодо вартості, гнучкості та складності впровадження, особливо для малих або середніх виробництв.

Найбільш перспективним напрямом наразі вважається застосування інтелектуальних рішень, які ґрунтуються на аналітиці великих даних, машинному навчанні та децентралізованій обробці інформації. Суть цього підходу полягає в тому, що безпосередньо біля обладнання встановлюються обчислювальні модулі, здатні не лише фіксувати сигнали, а й інтерпретувати їх. У результаті формується система, яка може самостійно виявляти аномалії, адаптувати свої алгоритми до змін середовища й навіть прогнозувати технічні несправності. Такі рішення активно впроваджуються у вигляді локальних IoT-платформ або комбінованих систем із хмарною аналітикою, як-от Microsoft Azure IoT, ThingWorx чи MindSphere. Усі вони дозволяють створювати повноцінні цифрові двійники виробничих процесів і глибоко аналізувати дані з урахуванням динаміки та контексту.

Проте важливо розуміти, що універсального рішення для всіх підприємств не існує. Велика частина вже наявних систем є або надто

складною у впровадженні, або надто загальною, щоб точно відповідати потребам конкретного виробництва. У цьому контексті розробка спеціалізованих модулів, які беруть до уваги специфіку обладнання, параметри процесу та особливості середовища, стає логічним і виправданим кроком.

Тому актуальним є створення власного інтелектуального модуля моніторингу. На відміну від готових рішень, він орієнтується на гнучку адаптацію до конкретних умов, мінімізацію складності впровадження та можливість повної інтеграції з цифровою інфраструктурою підприємства. Це дозволяє реалізувати ефективну систему, яка не лише спостерігає, а й аналізує, робить висновки та допомагає приймати обґрунтовані рішення в режимі реального часу.

1.4 Проблеми моніторингу на сучасних підприємствах

У період активної цифрової трансформації промисловості підприємства все частіше зіштовхуються з проблемою модернізації виробничих процесів. Необхідно забезпечити їхню максимальну контрольованість. Саме моніторинг технологічних параметрів у реальному часі розглядається як один із ключових засобів досягнення стабільної якості, оптимізації витрат і підвищення загальної ефективності. Однак на практиці впровадження таких систем виявляється складнішим, ніж може здатися, і супроводжується рядом труднощів, які суттєво обмежують їхню функціональність.

Однією з найпоширеніших проблем залишається розрізненість обладнання, яке генерує дані у різних форматах або взагалі не підтримує передачу інформації до централізованих систем. У результаті формується фрагментована інформаційна картина, де повноцінний аналіз або інтеграція є майже неможливими. Навіть за умови наявності сенсорів і ліній зв'язку, більшість існуючих платформ обмежуються лише простим виведенням поточних значень без глибшої інтерпретації. Такий підхід не дозволяє вчасно

виявити потенційно небезпечні тенденції або прийняти випереджувальні заходи [7].

Додатковою складністю є те, що реакція на критичні сигнали часто покладається на оператора, який мусить самостійно оцінити ситуацію і вжити відповідних дій. Це створює затримки та підвищує ризик людських помилок. До того ж, багато наявних систем моніторингу будуються за статичними алгоритмами, які не дозволяють адаптуватися до змін у процесі чи оновлення обладнання. Усе це призводить до зниження гнучкості, яка в умовах сучасного виробництва є вкрай важливою.

Варто також враховувати, що впровадження масштабних рішень, таких як SCADA чи MES, потребує значних фінансових ресурсів і технічної експертизи. Для невеликих підприємств це часто є недосяжним. Як наслідок, частина виробничих об'єктів змушена працювати або взагалі без моніторингу, або з мінімальними обмеженнями за функціями системами. Ще однією поширеною проблемою є відсутність зворотного впливу на процес з боку моніторингової системи. Інформація фіксується, але не супроводжується автоматичним коригуванням параметрів, що знижує загальну ефективність керування.

У контексті Індустрії 4.0 всі ці труднощі набувають ще більшої ваги, адже нові виробничі концепції вимагають постійної взаємодії між різними цифровими платформами, миттєвого реагування, підтримки прогнозної аналітики та здатності працювати з великими обсягами даних. Більшість традиційних рішень створювалися в інший час і для інших умов, коли достатньо було просто спостерігати за процесом. Сьогодні ж очікується не лише фіксація, а й глибокий аналіз, прогнозування та автономна реакція на зміну ситуації.

З огляду на викладене, стає очевидним, що для подолання зазначених проблем необхідно впроваджувати нові підходи до побудови систем моніторингу. Найперспективнішим варіантом виглядає створення спеціалізованих інтелектуальних модулів, які здатні не просто збирати та

зберігати інформацію, а й навчатися, адаптуватися до змін і взаємодіяти з іншими компонентами цифрової інфраструктури. Такий підхід дозволяє врахувати особливості конкретного виробництва і побудувати ефективну систему контролю, що дійсно відповідає вимогам нової промислової реальності.

2 ПРОЄКТУВАННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО МОДУЛЮ ДЛЯ МОНІТОРИНГУ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ СКЛАДАННЯ

2.1 Вибір ключових параметрів моніторингу технологічного процесу складання

У відповідності до концепції Індустрія 4.0, ключовим аспектом цифровізації виробництва є інтеграція засобів автоматизації, контролю та аналітики у єдину систему моніторингу технологічного процесу. Для досягнення поставленої мети, а саме підвищення ефективності процесу складання, необхідно визначити та контролювати низку параметрів, які мають вирішальне значення для оцінки продуктивності, якості та надійності виконання операцій.

У процесі розробки інтелектуального модуля моніторингу було обґрунтовано доцільність контролю наступних ключових параметрів, що є критично важливими для забезпечення ефективного функціонування системи складання:

Кількість зібраних деталей є основним продуктивним показником, що безпосередньо характеризує результативність технологічного процесу. Постійне оновлення даних на дисплеї дає змогу оперативно реагувати на відхилення від планового ритму роботи, здійснювати облік виготовлених одиниць продукції та виявляти потенційні затримки.

Контроль правильності проходження зони 1 та зони 2 дозволяє запобігти хибним спрацюванням і гарантує, що кожна одиниця продукції проходить повний цикл перевірки відповідно до технологічного регламенту. Такий підхід сприяє підвищенню точності обліку та зменшенню кількості дефектів на виході.

Аналіз помилок у проходженні (наприклад, коли деталь не доходить до другої зони або коли сенсори активуються некоректно) дозволяє виявляти

нестандартні ситуації, які можуть бути наслідком збоїв у роботі обладнання, несанкціонованих дій персоналу або зовнішніх впливів. Виявлення та фіксація таких ситуацій підвищує загальний рівень безпеки та надійності складання.

Додатково, інтеграція сенсорів температури, газу та звуку дозволяє реалізувати багатофакторний моніторинг навколишнього середовища виробничої ділянки, що є характерною рисою систем Індустрії 4.0. Зокрема:

Контроль температури дає змогу вчасно виявляти перегрів елементів обладнання або зміну мікроклімату, що може впливати на якість збирання.

Газовий сенсор виконує функцію безпеки, фіксуючи наявність шкідливих або вибухонебезпечних парів, які можуть виникати під час технологічних операцій [8].

Акустичний (звуковий) сенсор дозволяє виявляти аномальні шумові сигнали, які можуть свідчити про механічні несправності або небажані втручання в роботу обладнання.

Фіксація інтервалів між проходженнями деталей відкриває можливість розрахунку продуктивності у реальному часі, а також побудови аналітичних моделей для прогнозування потенційних простоїв, оцінки ритмічності складання та визначення оптимальних режимів експлуатації.

Інтерфейс взаємодії з оператором (через LCD-дисплей або вебінтерфейс) відповідає концепції «Smart Factory» – цифрового виробництва з високим рівнем прозорості. Вивід повідомлень у реальному часі підвищує обізнаність персоналу, сприяє швидкому реагуванню на відхилення та мінімізує ймовірність критичних помилок в процесі складання.

2.2 Обґрунтування вибору методу обробки інформації в інтелектуальному модулі

З огляду на вимоги концепції Індустрія 4.0, одним із ключових напрямів модернізації технологічних процесів є впровадження інтелектуальних модулів моніторингу, які забезпечують адаптивність, гнучкість та оперативність

управління виробничими операціями. Для реалізації такої системи в умовах складання, з використанням сенсорної інфраструктури, було обґрунтовано доцільність застосування методу логічних правил (rule-based logic) як базового підходу до обробки інформації [9].

Обраний підхід дозволяє забезпечити ефективний моніторинг параметрів за допомогою мікроконтролера (ESP32 або Arduino), використовуючи просту, але надійну алгоритмічну структуру, засновану на умовних конструкціях. Такий підхід є найбільш придатним для систем з обмеженими обчислювальними ресурсами, де пріоритетом є робота в реальному часі, низька затримка реагування та надійність логіки прийняття рішень.

Щодо переваг обраного методу логічних правил: застосування логіко-правильного методу у розробці інтелектуального модуля моніторингу технологічного процесу складання забезпечує низку ключових переваг, що робить його доцільним для використання в умовах обмежених ресурсів мікроконтролерних систем:

Цей підхід забезпечує високу швидкість дії: реалізація логіки на основі умовних операторів дозволяє досягти практично миттєвої реакції на зміну стану сенсорних елементів. Це особливо важливо для систем реального часу, де критичним є своєчасне виявлення подій (наприклад, проходження об'єкта через контрольні зони або фіксація перевищення порогового значення температури, газу чи шуму).

Алгоритмічна структура методу базується на умовних конструкціях типу if-else, що є базовим інструментом більшості мов програмування для мікроконтролерів (C/C++, MicroPython тощо). Це дозволяє суттєво спростити етапи розробки, тестування та налагодження системи, зменшуючи обсяг коду та підвищуючи його стабільність.

Логіко-правилова структура є легко читаємою й дозволяє без труднощів аналізувати послідовність дій системи. Завдяки чітко визначеним умовам переходу між станами, модуль легко масштабувати шляхом додавання нових

правил (наприклад, умов реагування на спрацювання датчика вібрації або зміни рівня освітлення), що забезпечує високу адаптивність до змін у виробничому середовищі.

На відміну від методів машинного навчання чи штучних нейронних мереж, обраний підхід не потребує попереднього збирання й обробки навчальних вибірок. Це значно скорочує час впровадження системи у виробництво та знижує вимоги до обчислювальних ресурсів, що особливо актуально при роботі з мікроконтролерами з обмеженим обсягом пам'яті та процесорною потужністю.

Вибір методу логічних правил (rule-based logic) забезпечив ефективну інтеграцію програмної частини з апаратними компонентами інтелектуального модуля моніторингу. Інфрачервоні сенсори (IR) використовуються для детекції проходження деталей через контрольні зони, забезпечуючи точну фіксацію їхнього руху. Датчик температури моніторить температурний режим, виявляючи перегрів, що може сигналізувати про порушення роботи обладнання. Газовий сенсор дозволяє виявляти шкідливі або вибухонебезпечні концентрації газів, попереджаючи про аварійні ситуації. Мікрофонний модуль фіксує аномальні шумові сигнали, що можуть свідчити про несправності або несанкціоновані втручання. LCD-дисплей використовується для виведення інформації оператору, забезпечуючи прозорість процесу. Таким чином, реалізація rule-based логіки дозволяє створити гнучку, модульну та надійну систему, що інтегрує апаратні та програмні компоненти, відповідно до вимог цифрової трансформації виробничих процесів [10].

2.3 Архітектура модулю моніторингу

Архітектура модуля моніторингу побудована з урахуванням вимог цифровізації складальних процесів та базується на концепції кіберфізичних систем Індустрії 4.0. В основі архітектури лежить мікроконтролер Arduino, який виступає центральним елементом системи, забезпечуючи обробку даних, управління логікою та взаємодію з периферійними пристроями. Структурно модуль складається з кількох функціональних підсистем: сенсорної, обчислювальної, інтерфейсної та візуалізаційної.

Структура проєктованої інтелектуальної системи моніторингу технологічного процесу складання сформована з урахуванням принципів Індустрії 4.0 та базується на використанні апаратної платформи Arduino як центрального модуля керування. Arduino виступає ядром системи, яке забезпечує синхронізацію, обробку та маршрутизацію сигналів від сенсорних елементів, а також виконує основні логічні функції для прийняття рішень у реальному часі. До цифрових входів мікроконтролера підключено два інфрачервоних сенсори, які розміщуються у відповідних контрольних зонах складального конвеєра. Ці сенсори призначені для детектування проходження деталей, реєстрації їх кількості, а також перевірки правильності послідовного переміщення продукції між зонами. Такий підхід дає змогу автоматично виявляти відхилення у маршруті або випадки неповного проходження [11].

З метою розширення функціональних можливостей системи та реалізації концепції «розумного середовища» до платформи Arduino інтегровано додаткові сенсорні модулі, зокрема температурний датчик, газовий сенсор та мікрофонний модуль. Температурний датчик дає змогу контролювати рівень нагрівання в межах зони складання, що критично важливо для запобігання перегріву обладнання або матеріалів. Газовий сенсор здійснює безперервний аналіз повітряного середовища на наявність небезпечних або шкідливих газових сполук, що забезпечує додатковий рівень безпеки. Мікрофонний модуль дозволяє фіксувати аномальні шумові сигнали, які можуть свідчити

про несправності в механічній частині обладнання або про інші порушення нормального ходу процесу.

Логіка функціонування системи побудована на принципах rule-based підходу, з використанням умовних операторів if-else. Така структура дозволяє реалізувати детерміновану модель реагування на сигнали від сенсорів без залучення складних обчислювальних методів або попереднього навчання. Це забезпечує високу швидкодію, надійність і простоту реалізації, що особливо актуально в умовах обмежених обчислювальних ресурсів мікроконтролера.

Інтерфейс взаємодії з користувачем реалізовано за допомогою LCD-дисплея, який виконує функцію виведення поточних параметрів, повідомлень та сповіщень про помилки. Завдяки цьому оператор отримує актуальну інформацію про стан системи в режимі реального часу, що дозволяє своєчасно реагувати на відхилення та підвищує загальну ефективність процесу. З урахуванням модульності реалізації, дана структура є відкритою для подальшого масштабування, наприклад, шляхом додавання нових сенсорів або розширення функцій інтерфейсу (рис. 2.1).

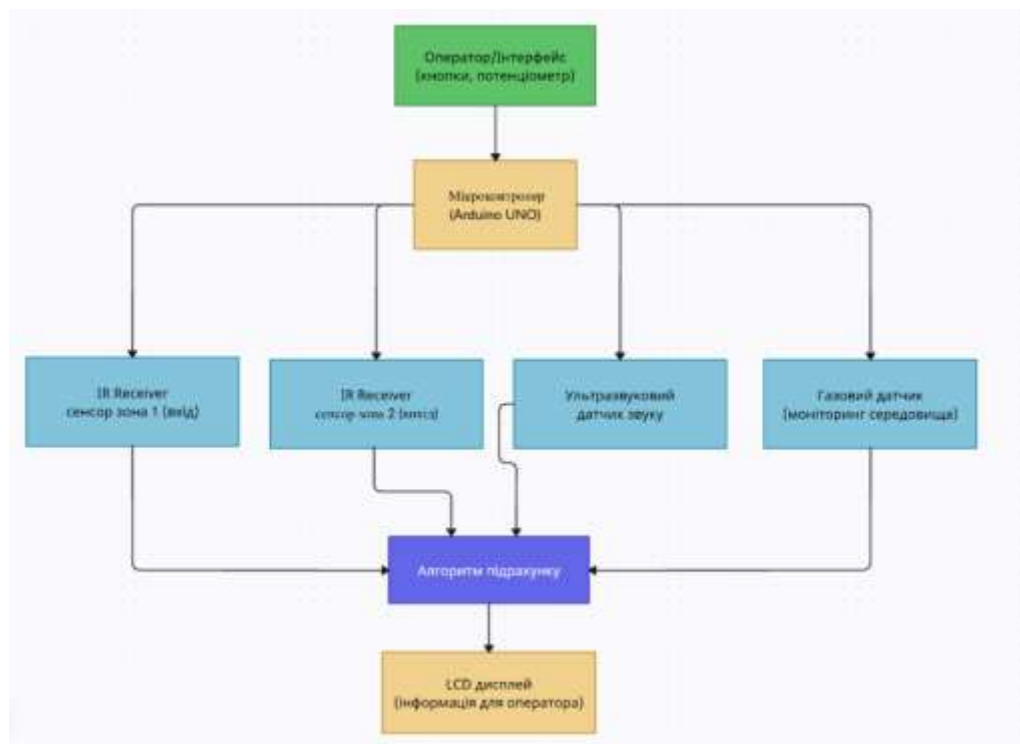


Рисунок 2.1 – Схема загальної архітектури апаратної частини

Архітектура інтелектуального модуля моніторингу технологічного процесу складання побудована за принципами модульності та структурної організації програмного забезпечення. Основою архітектури є графічний інтерфейс користувача, реалізований за допомогою бібліотеки Tkinter. Через головне вікно користувач отримує доступ до різних функціональних розділів системи, включаючи моніторинг параметрів середовища, інформаційні панелі, а також інші інструменти для взаємодії з програмою.

Меню навігації забезпечує логічну структуру доступу до функціональних модулів, зокрема до модуля моніторингу, який відповідає за збір, обробку та відображення даних від віртуальних або реальних сенсорів. Зокрема, реалізовано обробку показників температури та концентрації газу. Отримані дані аналізуються відповідно до заданих порогових значень, після чого результати відображаються в інтерфейсі програми у зручному для користувача форматі.

Функціональні можливості модуля доповнюються механізмами обробки та перевірки достовірності отриманих даних. Передбачено виявлення перевищень граничних значень, а також генерацію відповідних повідомлень користувачу. Для забезпечення можливості подальшого аналізу дані можуть зберігатися у внутрішній структурі програми або експортуватися у зовнішні файли, наприклад у форматі CSV. У разі розширення функціоналу архітектура дозволяє легко інтегрувати нові сенсори, джерела даних або алгоритми обробки без необхідності значного перегляду існуючого коду (рис. 2.2).

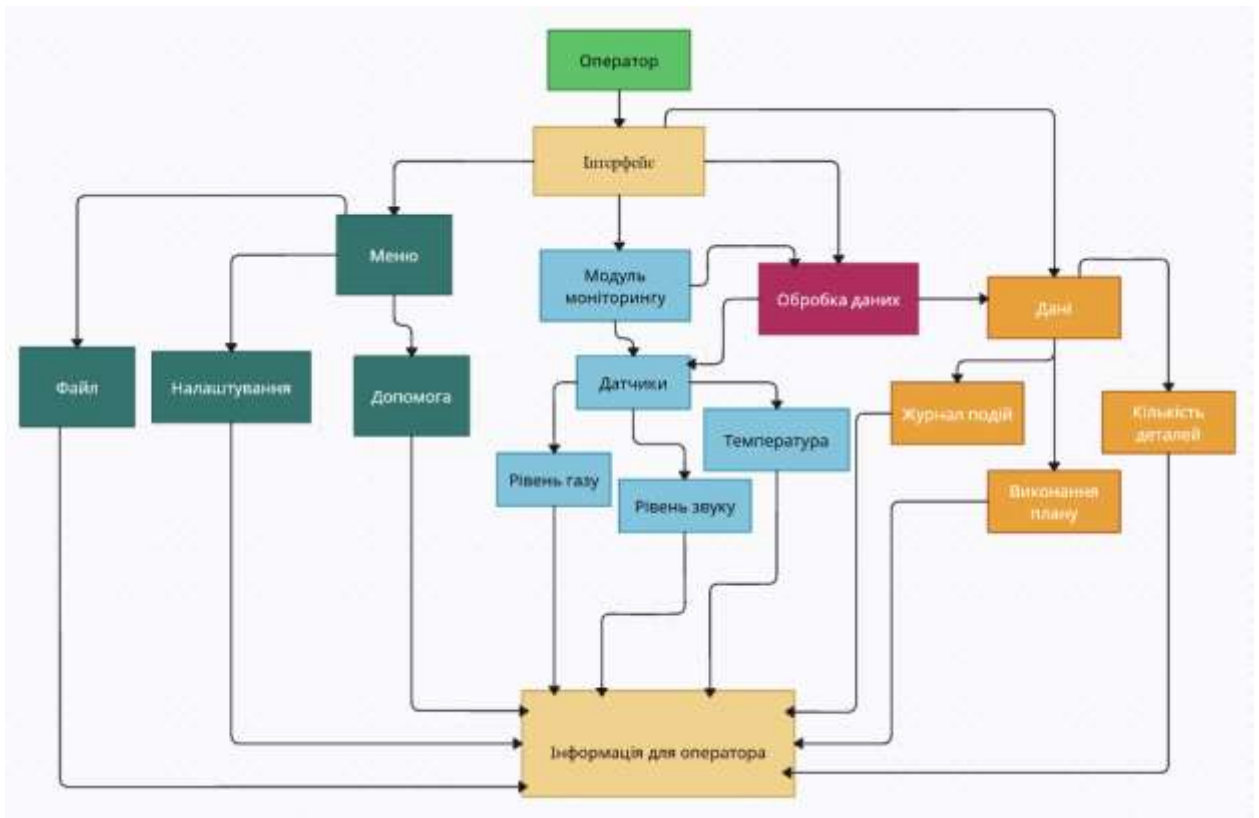


Рисунок 2.2 – Схема загальної архітектури програми для управління інтелектуальним модулем

Таким чином, архітектура модуля є гнучкою, масштабованою та орієнтованою на забезпечення користувацької зручності при моніторингу ключових параметрів технологічного процесу, що повністю відповідає вимогам концепції Індустрія 4.0.

3 РОЗРОБКА ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО МОДУЛЮ ДЛЯ МОНІТОРИНГУ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ СКЛАДАННЯ В РАМКАХ КОНЦЕПЦІЇ ІНДУСТРІЯ 4.0

3.1 Апаратне забезпечення інтелектуального модуля

Апаратне забезпечення інтелектуального модуля моніторингу ґрунтується на мікроконтролері Arduino, до якого підключено низку периферійних пристроїв, необхідних для реалізації функціоналу системи. Для здійснення контролю проходження деталей у складанні використано інфрачервоні сенсори, що дозволяють фіксувати появу об'єкта в контрольній зоні та забезпечують точний підрахунок. Додатково система обладнана датчиками фізичних параметрів середовища:

Інфрачервоні сенсори (рис. 3.1) використовуються для контролю проходження об'єктів у зоні спостереження. Вони забезпечують безконтактне виявлення деталей, що рухаються по конвеєру, дозволяючи точно фіксувати момент їх появи або зникнення. Завдяки високій чутливості та швидкодії такі сенсори є оптимальним рішенням для підрахунку виробів у режимі реального часу.

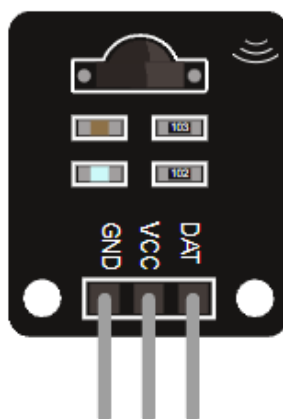


Рисунок 3.1 – Інфрачервоний сенсор

Замість температурного сенсору я використовував потенціометр призначений для безперервного контролю теплового режиму у зоні здійснення технологічного процесу. У якості елементної бази використовуються цифрові або аналогові датчики (наприклад, DS18B20 або LM35), здатні з високою точністю вимірювати температуру в реальному часі. Отримані значення застосовуються для виявлення відхилень від заданих нормативів, що дозволяє своєчасно реагувати на перегрів або порушення умов експлуатації обладнання. Надмірне зниження або підвищення температури може свідчити про збої в системі охолодження, порушення режимів роботи або інші технологічні відхилення (рис. 3.2).



Рисунок 3.2 – Потенціометр

Газовий сенсор використовується для виявлення наявності летких речовин або диму в повітрі. Наприклад, застосування датчика типу MQ-2 або аналогічного дає змогу виявляти концентрації горючих газів, метану, пропану або парів спирту. Це особливо актуально у виробничих умовах, де можливі витоки речовин, що становлять потенційну загрозу для безпеки персоналу та стабільної роботи обладнання. Підвищення концентрації газу вище допустимого рівня ініціює сигнал тривоги або зупинку процесу для запобігання аварійним ситуаціям (рис. 3.3).



Рисунок 3.3 – Датчик газу

Акустичний сенсор призначений для реєстрації рівня шуму в навколишньому середовищі. Він реагує на інтенсивність звукових коливань і дозволяє фіксувати перевищення порогових значень, що може бути наслідком аномальної роботи механізмів, розбалансування вузлів або виникнення несправностей. Дані від шумового сенсора використовуються як додатковий параметр для діагностики стану обладнання в умовах автоматизованого моніторингу. Таким чином, система здатна виявляти не лише фізичні, але й акустичні відхилення у функціонуванні виробничих систем (рис. 3.4).



Рисунок 3.4 – Датчик шуму

LCD-дисплей (рідкокристалічний дисплей) використовується для виведення оперативної інформації, зокрема кількості оброблених деталей, поточного значення температури або повідомлень про помилки. Його

використання дає змогу організувати локальний моніторинг без необхідності постійного підключення до комп'ютера (рис. 3.5).

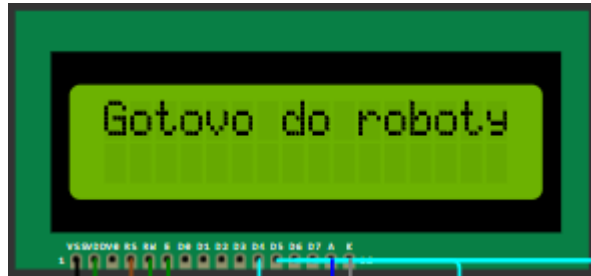


Рисунок 3.5 – LCD-дисплей

Використання Arduino Uno обумовлене її зручністю, відкритістю платформи, достатнім функціоналом для підключення необхідних сенсорів та можливістю легкої інтеграції з комп'ютерною частиною. Її застосування дозволяє перевести контроль середовища з ручного режиму в автоматизований, забезпечити оперативність реагування на критичні ситуації, а також створити гнучку архітектуру, придатну для розширення й подальшої модернізації. Вона не лише виконує технічну функцію зчитування сигналів, а й забезпечує концептуальну основу для побудови системи, що відповідає вимогам Індустрії 4.0 – системи, в якій взаємодія фізичних і цифрових компонентів є безперервною та адаптивною (рис 3.6).

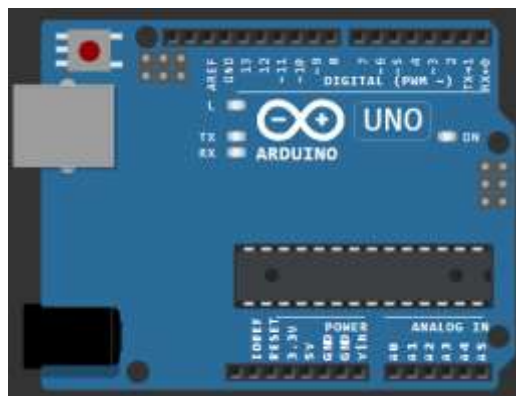


Рисунок 3.6 – Плата Arduino Uno

Алгоритм керування інтелектуальним модулем реалізовано у середовищі програмування для мікроконтролера Arduino Uno з використанням мови C++. Програмна логіка забезпечує централізоване опрацювання даних з декількох сенсорів у реальному часі, а також надає користувачеві зворотний зв'язок через LCD-дисплей.

У якості основних вхідних елементів використовуються два інфрачервоних сенсори, що контролюють проходження об'єктів через дві контрольні зони. Реалізовано послідовну перевірку активації сенсорів для забезпечення правильного маршруту проходження об'єкта. У випадку порушення послідовності або відсутності деталі понад встановлений ліміт часу (10 секунд), система автоматично генерує повідомлення про помилку.

Крім того, інтегровано додаткові функції контролю навколишнього середовища. Зокрема, аналоговий датчик температури дозволяє оцінювати рівень нагріву системи; при перевищенні допустимого діапазону (наприклад, понад 50 °C або нижче 10 °C) активується тривожне повідомлення. Газовий сенсор постійно відстежує рівень забруднення повітря; у разі перевищення критичного порогу (1000 одиниць за аналоговим сигналом) на дисплеї виводиться попередження про ймовірний витік газу. Також ультразвуковий сенсор контролює наявність об'єктів у зоні, визначаючи відстань до них. Якщо об'єкт відсутній або знаходиться за межами допустимої дистанції (300 см), це також трактується як відхилення.

Усі повідомлення відображаються на LCD-дисплеї у зручному для оператора форматі. Вивід інформації здійснюється контекстно: у нормальному режимі відображається статус очікування або кількість облікованих деталей, у разі помилок - відповідне попередження.

Завдяки такій структурі алгоритму вдалося забезпечити надійність і гнучкість роботи системи без необхідності використання складних обчислень чи машинного навчання, що цілком відповідає концепції створення розумного модуля моніторингу в межах Індустрії 4.0.

Для реалізації функцій моніторингу було розроблено програму, яка керує сенсорами та відображає діагностичну інформацію на LCD-дисплеї. Код написаний мовою C++ у середовищі Arduino IDE і завантажений на мікроконтролер Arduino Uno.

Код програми представлено нижче:

```
#include <LiquidCrystal.h>

LiquidCrystal lcd(12, 11, 4, 6, 7, 8);

#define SENSOR1 2

#define SENSOR2 3

#define TEMP_SENSOR A1

#define GAS_SENSOR A2

#define TRIG_PIN 5

#define ECHO_PIN 13

int count = 0;

bool detectedInZone1 = false;

bool waitingForZone2 = false;

unsigned long lastDetectionTime = 0;

unsigned long lastMovementTime = 0;

unsigned long lastDistanceDisplayTime = 0;

const unsigned long inactivityLimit = 10000;

const unsigned long movementTimeout = 10000;

const unsigned long distanceDisplayInterval = 20000;

long lastDistance = -1;
```

```
void setup() {  
    Serial.begin(9600);  
  
    pinMode(SENSOR1, INPUT_PULLUP);  
  
    pinMode(SENSOR2, INPUT_PULLUP);  
  
    pinMode(TRIG_PIN, OUTPUT);  
  
    pinMode(ECHO_PIN, INPUT);  
  
    lcd.begin(16, 2);  
  
    lcd.print("Gotovo do roboty");  
  
    delay(1000);  
  
    lcd.clear();  
  
}  
  
long readDistanceCM() {  
    digitalWrite(TRIG_PIN, LOW);  
  
    delayMicroseconds(2);  
  
    digitalWrite(TRIG_PIN, HIGH);  
  
    delayMicroseconds(10);  
  
    digitalWrite(TRIG_PIN, LOW);  
  
    long duration = pulseIn(ECHO_PIN, HIGH, 30000);  
  
    if (duration == 0) return -1;  
  
    long distance = duration * 0.034 / 2;  
  
    return distance;  
  
}  
  
void showDistance(long dist) {
```

```
lcd.clear();

lcd.print("Distance: ");

lcd.print(dist);

lcd.print("cm");

}

void loop() {

    bool zone1 = digitalRead(SENSOR1) == LOW;

    bool zone2 = digitalRead(SENSOR2) == LOW;

    unsigned long currentTime = millis();

    int rawTemp = analogRead(TEMP_SENSOR);

    float temperatureC = map(rawTemp, 0, 1023, 0, 60);

    if (temperatureC < 10.0 || temperatureC > 50.0) {

        lcd.clear();

        lcd.print("Pomylka temp!");

        lcd.setCursor(0, 1);

        lcd.print("Temp: ");

        lcd.print(temperatureC, 1);

        lcd.print((char)223);

        lcd.print("C");

        delay(1000);

        return;

    }

    int gasValue = analogRead(GAS_SENSOR);
```

```
Serial.print("Gas sensor: ");  
  
Serial.println(gasValue);  
  
if (gasValue > 1000) {  
  
    lcd.clear();  
  
    lcd.print("Pomylka:");  
  
    lcd.setCursor(0, 1);  
  
    lcd.print("Vtechka Gasy!");  
  
    delay(1000);  
  
    return;  
  
}  
  
long dist = readDistanceCM();  
  
if (dist != -1) {  
  
    if (dist > 300) {  
  
        lcd.clear();  
  
        lcd.print("Pomylka:");  
  
        lcd.setCursor(0, 1);  
  
        lcd.print("Dyst > 300cm");  
  
        delay(1000);  
  
        return;  
  
    }  
  
    if (lastDistance == -1 || abs(dist - lastDistance) > 2) {  
  
        lastMovementTime = currentTime;  
  
    }  
  
}
```

```
    lastDistance = dist;

    if (currentTime - lastDistanceDisplayTime >= distanceDisplayInterval) {

        showDistance(dist);

        lastDistanceDisplayTime = currentTime;

    }

}

if (currentTime - lastMovementTime > movementTimeout) {

    lcd.clear();

    lcd.print("Pomylka ruhu!");

    lcd.setCursor(0, 1);

    lcd.print("Nemae detali");

    delay(1000);

    return;

}

if (zone1 && !detectedInZone1) {

    detectedInZone1 = true;

    waitingForZone2 = true;

    lastDetectionTime = currentTime;

    lcd.clear();

    lcd.print("Detal' v zoni skladu");

    Serial.println("Detal' v zoni skladu");

}

if (waitingForZone2 && zone2) {
```

```
count++;

detectedInZone1 = false;

waitingForZone2 = false;

lastDetectionTime = currentTime;

lcd.clear();

lcd.print("Oblik: dostavleno");

lcd.setCursor(0, 1);

lcd.print("Zahalom: ");

lcd.print(count);

Serial.print("Dostavleno. Vsoho: ");

Serial.println(count);

while (digitalRead(SENSOR1) == LOW || digitalRead(SENSOR2) ==
LOW) {
    delay(50);
}

if (!zone1 && !zone2 && !waitingForZone2) {
    lcd.clear();

    lcd.print("Ochikuvannya detaley");
}

if (!detectedInZone1 && zone2) {
```

```
lcd.clear();

lcd.print("Pomylka!");

lcd.setCursor(0, 1);

delay(1000);

while (digitalRead(SENSOR2) == LOW) {

    delay(50);

}

}

if (currentTime - lastDetectionTime > inactivityLimit && !zone1 &&
!zone2) {

    lcd.clear();

    lcd.print("Nema ruhu");

    lcd.setCursor(0, 1);

    lcd.print(">10 sek chekannya");

}

delay(100);

}
```

3.2 Розроблення апаратної частини реалізованого модулю моніторингу в складі технологічного процесу

Розроблена система виконує функцію інтелектуального модуля моніторингу технологічного процесу складання, реалізованого на базі

мікроконтролера з використанням набору сенсорів і засобів виводу інформації.

Основною функціональною особливістю пристрою є здатність до автономного спостереження за ключовими параметрами виробничого середовища, що забезпечує контроль наявності деталей у зонах складання, відстеження їх переміщення, а також моніторинг критичних фізичних величин, таких як температура, концентрація газу в повітрі та відстань до об'єкта [12].

На рисунку 3.7 зображено віртуальну схему, створену у середовищі Wokwi, яка слугує прототипом апаратної частини інтелектуального модуля моніторингу. Даний макет реалізує сенсорну систему збору даних із різних датчиків та передачі цієї інформації для подальшого аналізу та візуалізації.

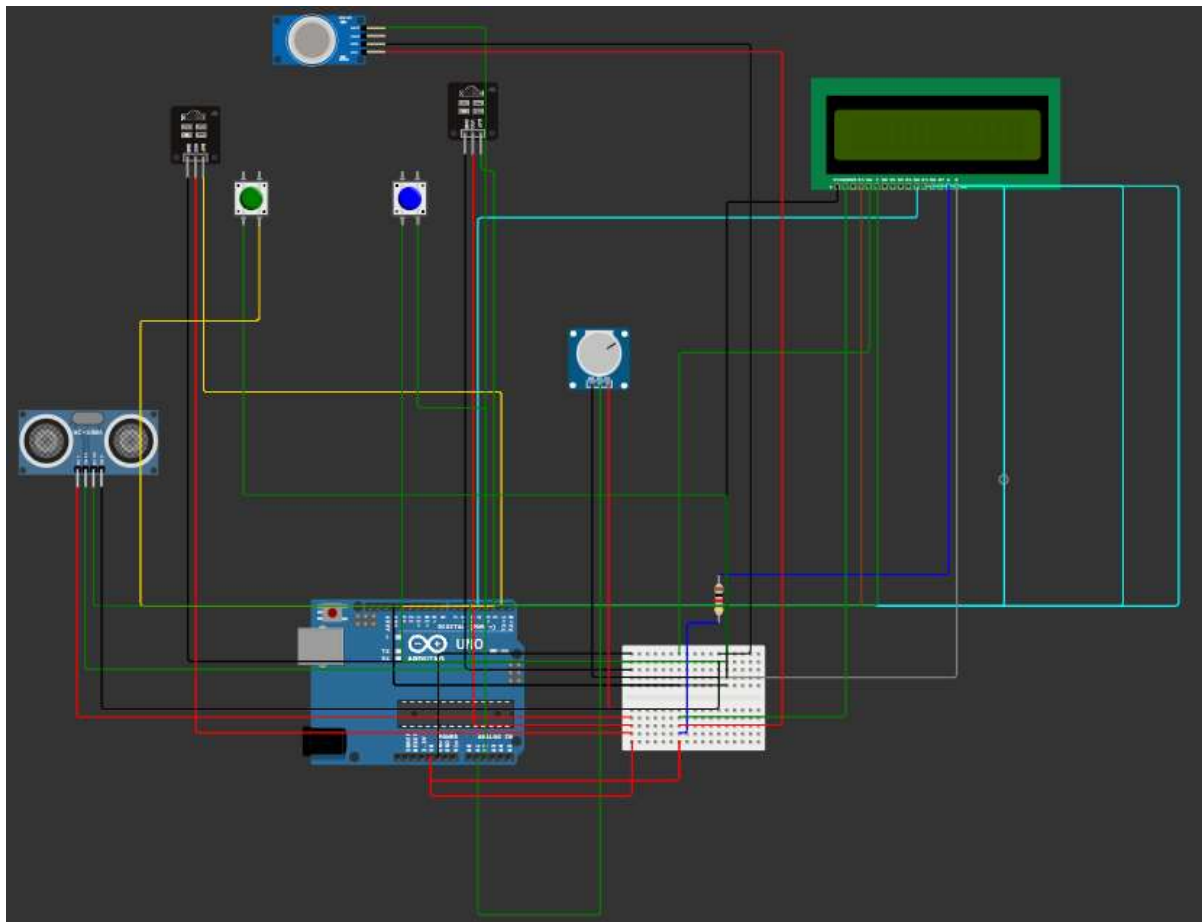


Рисунок 3.7 – Схема реалізованого модулю моніторингу

Алгоритм функціонування базується на аналізі сигналів, отриманих з цифрових та аналогових сенсорів. За допомогою сенсорів присутності фіксується факт переміщення об'єкта між двома контрольними точками, що дозволяє реалізувати точний облік доставлених деталей. Підрахунок здійснюється лише у разі послідовного спрацювання сенсорів, що виключає хибні спрацювання, а результат виводиться на рідкокристалічний дисплей та в консоль серійного порту.

Температурний контроль реалізований шляхом обробки аналогового сигналу з відповідного датчика, значення якого переводиться у температуру в градусах Цельсія. У випадку виходу температури за межі допустимого технологічного інтервалу система фіксує аварійну ситуацію і негайно повідомляє про неї користувача. Аналогічним чином працює й модуль контролю витоку газу, який реагує на підвищення концентрації вище встановленого порогового значення, що дає змогу виявити потенційно небезпечні умови в зоні складання [13].

Моніторинг відстані до об'єктів забезпечується ультразвуковим сенсором, значення з якого аналізуються на предмет стабільності та перевищення граничних допустимих меж. У разі різкої зміни відстані або її перевищення понад допустиме значення, система виводить попередження, що дозволяє виявити порушення у подачі деталей. Крім того, реалізована логіка контролю бездіяльності, яка фіксує відсутність активності в зоні контролю протягом визначеного інтервалу часу. Це дає змогу своєчасно виявляти зупинки у технологічному процесі та реагувати на потенційні відхилення.

Інформація про стан системи, кількість опрацьованих об'єктів, аварійні ситуації та поточні значення параметрів виводиться на інтегрований рідкокристалічний дисплей, що забезпечує зручний візуальний інтерфейс для користувача. Розроблена схема є надійною, простою в реалізації та гнучкою в адаптації до інших виробничих умов, що відповідає концепції цифрової трансформації промисловості.

Такий модуль може бути впроваджений у складі автоматизованої виробничої лінії в рамках концепції Індустрія 4.0. Система дозволяє оперативно реагувати на аварійні ситуації, зменшити простої, вести облік оброблених деталей та підвищити безпеку персоналу. Всі процеси автоматизовані та не потребують постійного втручання оператора.

Завдяки простоті архітектури, модуль є легко адаптованим для інших технологічних процесів складання з можливістю розширення за рахунок додаткових сенсорів або модулів зв'язку (наприклад, Wi-Fi або Bluetooth для передачі даних на центральний сервер або відображення інформації у вебінтерфейсі).

Уся апаратна взаємодія моделюється на рівні Arduino IDE (у Wokwi), а також підтримується програмним забезпеченням, розробленим на Python, яке виконує візуалізацію, аналітику та управління даними в рамках концепції Індустрія 4.0.

3.3 Розроблення програмної частини реалізованого модулю моніторингу в складі технологічного процесу

Для реалізації моніторингу стану технологічного процесу була розроблена десктопна програма на мові Python, яка виконує збір, обробку та візуалізацію даних від сенсорів, підключених до мікроконтролера Arduino. Інтерфейс побудований із використанням бібліотеки tkinter, а графічна візуалізація значень здійснюється за допомогою matplotlib.

Функціональність програмного модуля охоплює комплексне представлення даних, що надходять від сенсорів, підключених до апаратної частини пристрою, реалізованої на базі мікроконтролера Arduino.

Інтерфейс містить інформацію про поточний стан системи, включаючи індикатори температури, рівня газу та звукових коливань. Дані параметри оновлюються в режимі реального часу, що дозволяє оператору контролювати технологічний процес без затримок. У випадку виходу значень за встановлені

межі програма автоматично ініціює аварійні повідомлення з відповідним візуальним маркером та реєстрацією події у журналі [14].

Частиною програми є наявність механізму, який дозволяє зберігати історію подій, пов'язаних з роботою пристрою, наприклад, зміну стану системи, виникнення аварійних ситуацій або дії оператора. Таким чином, реалізується функція формального обліку процесу, що є важливим для аналізу ефективності роботи або для виявлення відхилень у роботі модулю.

Програмне забезпечення також реалізує функцію відображення графічних залежностей параметрів у часовому розрізі. Це забезпечує можливість візуального аналізу динаміки змін температури, рівня газу або звуку, що підвищує інформативність і наочність моніторингу. Для побудови графіків використано часові мітки, що дозволяє прив'язати зміни до конкретного моменту виконання процесу. Крім того, передбачена система ручного керування, яка дозволяє оператору зупиняти, відновлювати або перезапускати роботу системи безпосередньо з графічного інтерфейсу.

Розроблена програма функціонує локально і не потребує підключення до спеціалізованих промислових платформ, що значно спрощує її впровадження та налаштування. Водночас її структура дозволяє подальше масштабування, зокрема додавання нових сенсорів, розширення функціоналу та інтеграцію із хмарними сервісами для віддаленого контролю. Такий підхід повністю відповідає вимогам концепції Індустрії 4.0 щодо гнучкості, прозорості та адаптивності виробничих процесів [15,16].

Розроблене програмне забезпечення є невід'ємною частиною інтелектуального модуля моніторингу, реалізуючи взаємодію між фізичним пристроєм і оператором, забезпечуючи зручність, інформативність та безперервність контролю за станом технологічного процесу.

На рисунку 3.8 представлено основне вікно програмного інтерфейсу інтелектуального модуля моніторингу, що є складовою частиною автоматизованої системи керування процесом складання в межах концепції Індустрія 4.0. Інтерфейс реалізовано у вигляді десктопного додатку з

мінімалістичним дизайном, що орієнтований на зручність та швидке сприйняття оператором ключових параметрів виробничого процесу.

У верхній частині розташоване меню, яке забезпечує доступ до базових функцій: відкриття файлів, налаштувань системи, довідкової інформації, а також перемикання між основним вікном програми та додатковим вікном з технічною інформацією. Основна частина вікна розділена на кілька логічних блоків.

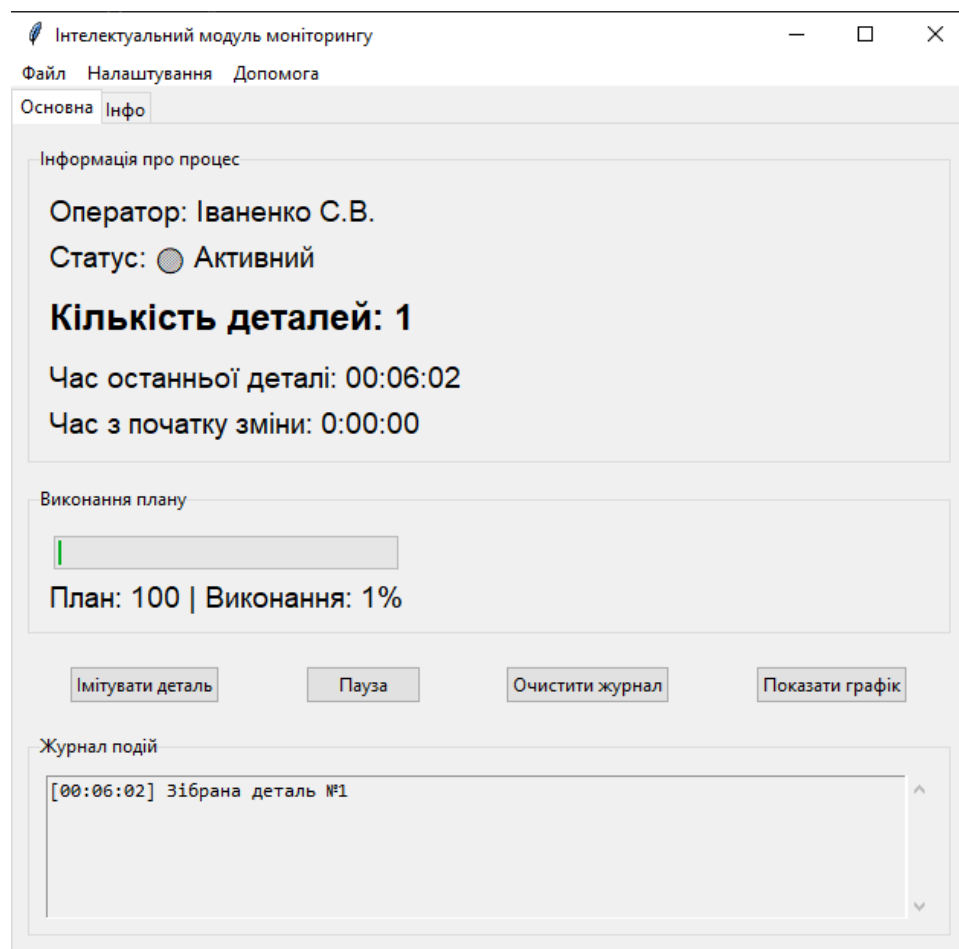


Рисунок 3.8 – Основне вікно програмного інтерфейсу інтелектуального модуля моніторингу

Перший блок відображає поточний стан технологічного процесу. У ньому міститься інформація про прізвище та ініціали оператора, що наразі працює на зміні, а також про його статус – у даному випадку активний. Наводиться кількість зібраних деталей, яка станом на момент знімка становить

одну одиницю. Також відображається час виготовлення останньої деталі (2 хвилини 20 секунд) та загальний час з початку зміни, який поки що дорівнює нулю.

Нижче розташовано блок, який відповідає за моніторинг виконання виробничого плану. У ньому графічно та чисельно показано, скільки деталей потрібно виготовити (встановлено план у 100 одиниць), і який відсоток від цього плану вже виконано (1%). Прогрес-бар дозволяє візуально оцінити хід виконання завдання.

У нижній частині вікна реалізовано панель керування. Користувач має можливість запустити емуляцію виготовлення деталі, тимчасово зупинити процес, очистити журнал подій або переглянути графік продуктивності. Кнопка «Імітувати деталь» імітує завершення складання чергової деталі, що дозволяє тестувати функціональність програмного модуля без фізичного підключення до обладнання. Кнопка паузи дозволяє призупинити облік активності без завершення зміни. Журнал подій у нижній частині екрану реєструє усі ключові дії, що відбуваються під час зміни. У наведеному прикладі зафіксовано, що на момент 00:02:20 була зібрана деталь №1.

Загалом, інтерфейс модуля орієнтований на практичне застосування в умовах виробничого середовища. Його простота, наочність та функціональність дозволяють оператору легко відстежувати хід технологічного процесу та своєчасно реагувати на відхилення від норми. Програма створює умови для інтеграції з системами збору даних, збереження статистики та подальшого аналізу ефективності виробництва.

У вкладці «Info» інтерфейсу інтелектуального модуля моніторингу реалізовано виведення даних із сенсорів, що забезпечують контроль довкілля у робочій зоні складання. Такий функціонал є важливою частиною концепції Індустрія 4.0, де збір, аналіз і візуалізація контекстної інформації про навколишнє середовище є необхідними для забезпечення безпеки, якості продукції та адаптивності виробничих систем.

Інтерфейс поділено на три основні секції, кожна з яких відповідає за виведення одного з параметрів: температури, рівня газу та рівня шуму. Всі значення відображаються в реальному часі та можуть змінюватися за допомогою повзунків, що, ймовірно, використовуються для емуляції роботи відповідних датчиків у тестовому режимі [15].

У верхній частині вікна розташовано блок контролю температури. Тут відображається поточне значення температури, яке у наведеному прикладі становить 25.0 °C. Під числовим значенням розташовано повзунок, який дозволяє змінювати значення температури вручну. Такий підхід особливо корисний під час тестування алгоритмів реагування на перевищення граничних параметрів.

Нижче розташовано блок контролю газового середовища. В даному випадку відображається рівень концентрації газу, який становить 500 ppm (parts per million). Це може свідчити про інтеграцію з газовим датчиком, призначеним для виявлення витоків або наявності шкідливих речовин у повітрі. Застосування подібного сенсорного контролю важливе для забезпечення безпеки персоналу та запобігання аварійним ситуаціям.

Третім інформаційним блоком є моніторинг рівня шуму, який на скріншоті дорівнює 0 dB. Цей параметр може відображати фоновий звуковий тиск у зоні складання, що дозволяє відслідковувати наявність небажаних звукових сигналів або перевищення допустимих норм. Як і у попередніх випадках, тут реалізований повзунок, який дає змогу варіювати значення в межах допустимого діапазону.

Загалом дана частина програмного модуля демонструє здатність системи інтегрувати додаткові канали моніторингу та реагування, що дозволяє підвищити інформативність і надійність процесу керування. Завдяки простому інтерфейсу користувач має змогу швидко відстежити поточні умови в зоні складання, що створює передумови для автоматичного коригування поведінки обладнання або оповіщення оператора у разі перевищення критичних меж (рис. 3.9).

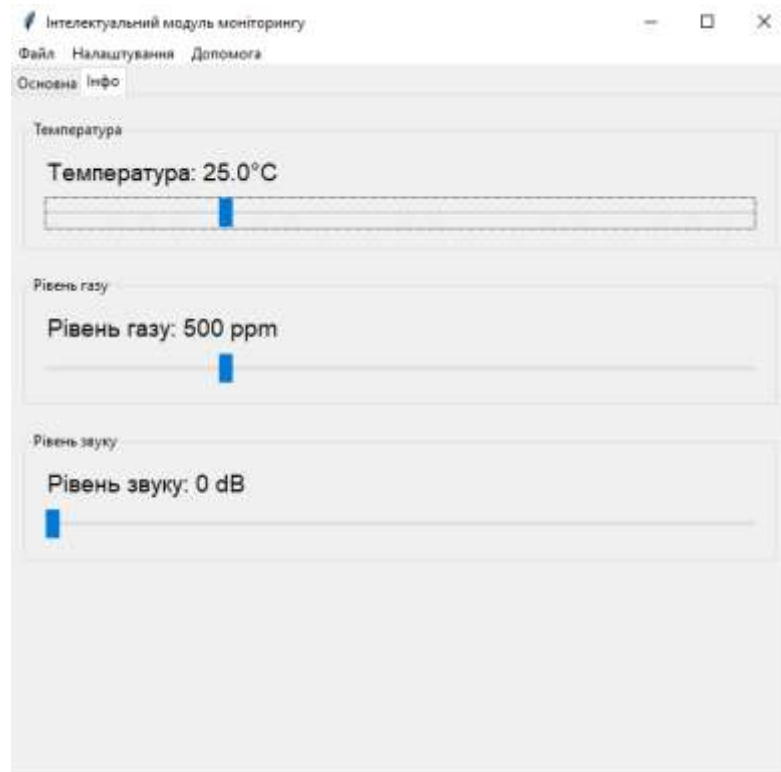


Рисунок 3.9 – Інтерфейс інтелектуального модуля моніторингу

Датчик температури: при зниженні температури нижче встановленого порогу (наприклад, $<10^{\circ}\text{C}$) або при її перевищенні (наприклад, $>35^{\circ}\text{C}$), система автоматично реєструє подію як критичну. Відбувається миттєве відображення вікна з попередженням, що інформує користувача про загрозу. Це дозволяє своєчасно вжити заходів для стабілізації умов роботи (наприклад, перевірити вентиляцію або нагрівальні елементи) (рис. 3.10).

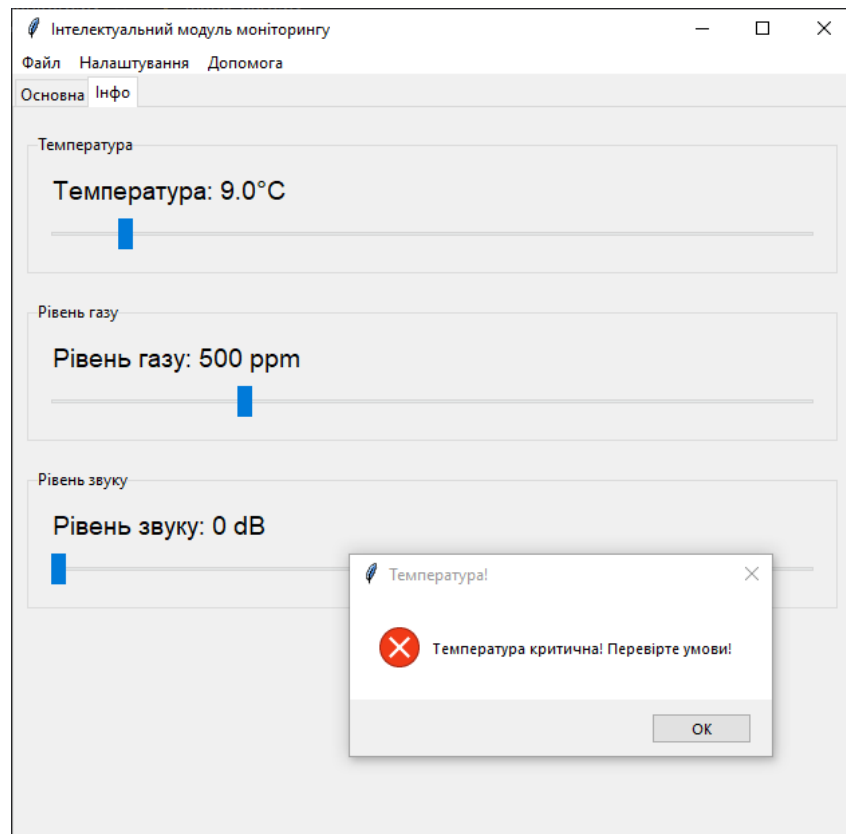
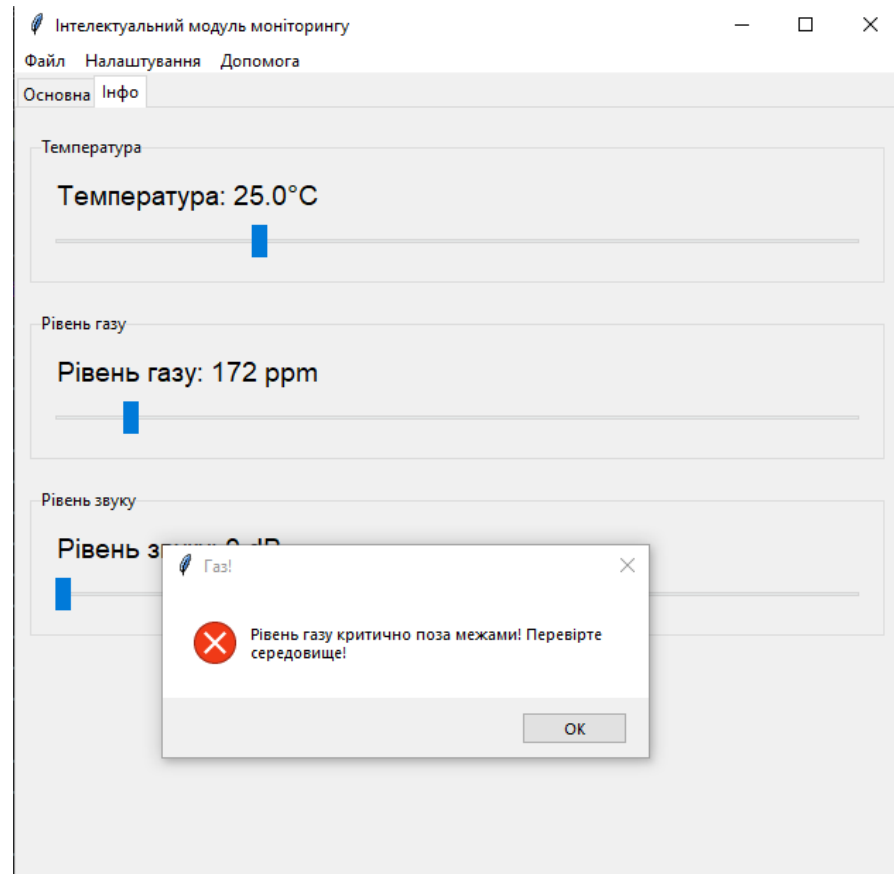


Рисунок 3.10 – Помилка при некоректній температурі

Датчик рівня газу: у випадку перевищення граничного значення рівня газу (наприклад, понад 800 ppm для CO₂ чи іншого визначеного газу), система аналогічно формує сповіщення про критичну ситуацію. Це особливо актуально для забезпечення безпеки в умовах складання, де можливе скупчення шкідливих парів. Попередження також з'являється у вигляді діалогового вікна, яке блокує подальші дії користувача до його підтвердження (рис. 3.11).



Рисунк 3.11 – Помилка при некоректному рівні газу

Рівень звуку: при фіксації надмірного шуму (наприклад, >80 дБ) система інформує оператора про можливу аварійну ситуацію (механічне пошкодження, поломка обладнання або порушення умов праці). Реакція програми полягає у показі аналогічного вікна попередження з поясненням ситуації та рекомендаціями щодо перевірки джерела шуму (рис. 3.12).

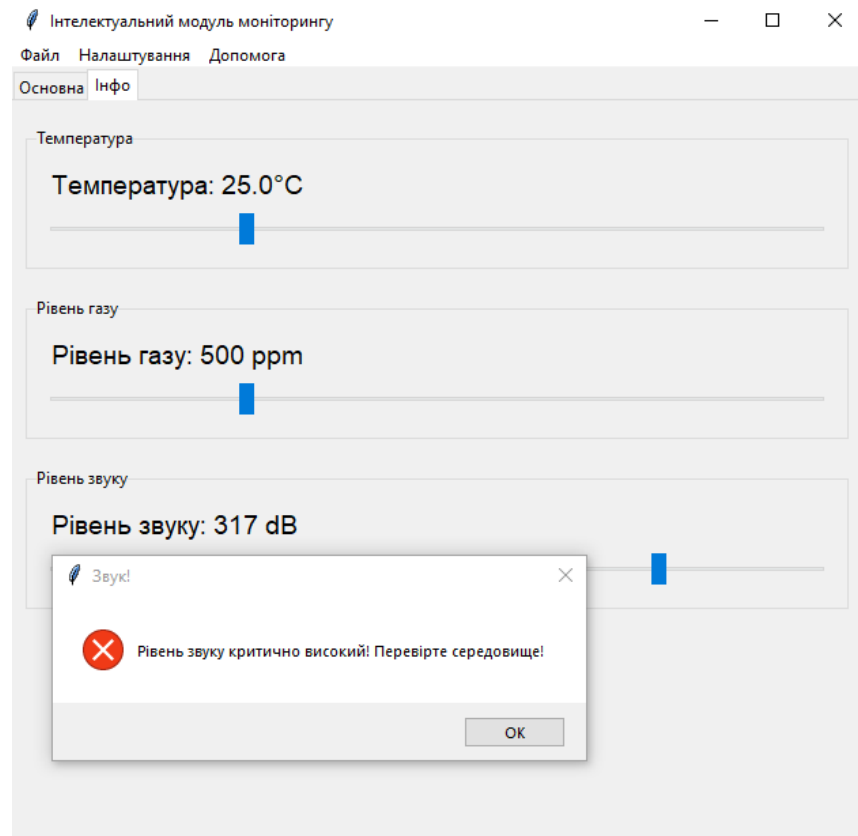


Рисунок 3.12 – Помилка некоректний рівень звуку

У верхній частині інтерфейсу інтелектуального модуля моніторингу (рис. 3.13) реалізовано зручне горизонтальне меню, яке забезпечує швидкий доступ до основних функцій програми. Це меню складається з трьох основних пунктів: «Файл», «Налаштування» та «Допомога», кожен з яких має підпункти, що виконують конкретні дії.

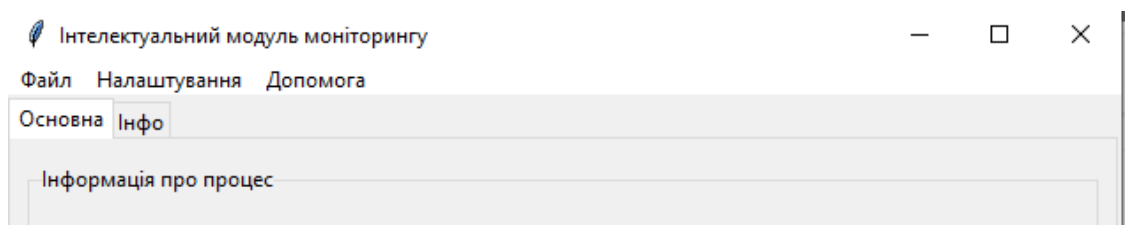


Рисунок 3.13 – Меню інтелектуального модуля моніторингу

Пункт «Файл» містить два основні підпункти. Перший – «Зберегти звіт» – дозволяє оператору створити файл зі зведеною інформацією про виконання зміни. Такий звіт може містити дані про кількість зібраних деталей, час

виконання операцій, дії користувача, а також хронологічний журнал подій. Це забезпечує можливість аналізу ефективності роботи та формування документації для керівництва або служби якості. Другий підпункт «Вихід» виконує стандартну функцію завершення роботи з програмою, закриваючи поточний сеанс (рис. 3.14).

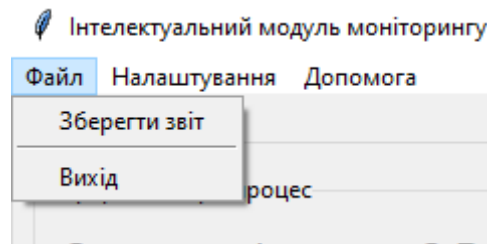


Рисунок 3.14 – Пункт «Файл» у меню інтелектуального модуля моніторингу

Пункт «Налаштування» призначений для оперативного коригування ключових параметрів, які пов’язані з персоніфікацією зміни та виробничими планами. Зокрема, оператор має змогу змінити ПІБ працівника, який виконує поточну зміну, що дозволяє точно ідентифікувати відповідального користувача. Окрім того, передбачена можливість встановити або змінити план виробництва, тобто вказати цільову кількість деталей, яку необхідно зібрати за зміну. Такий підхід дозволяє гнучко реагувати на зміну завдань і оперативно адаптувати систему до поточних виробничих потреб (рис. 3.15).

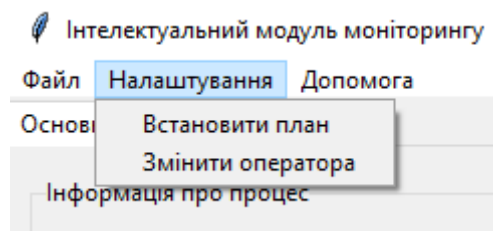


Рисунок 3.15 – Пункт «Налаштування» у меню інтелектуального модуля моніторингу

Пункт «Допомога» містить підпункт «Про програму», який виконує інформаційну функцію. При виборі цього пункту відкривається вікно з відомостями про програму: її назву, версію, авторів . Це забезпечує користувача необхідною довідкою та спрощує зворотний зв'язок із розробниками у разі виникнення питань чи потреби у супроводі (рис. 3.16).

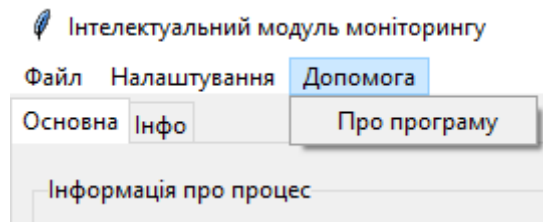


Рисунок 3.16 – Пункт «Допомога» у меню інтелектуального модуля моніторингу

Загалом меню забезпечує інтуїтивно зрозумілий доступ до всіх важливих функцій системи, підвищуючи її гнучкість, зручність та адаптивність до потреб конкретного виробництва.

3.4 Теорія автоматичного управління

У рамках даної кваліфікаційної роботи досліджується система автоматичного управління, яка є складовою частиною інтелектуального модуля моніторингу технологічного процесу складання. Такий модуль розробляється відповідно до ідеології Індустрія 4.0, яка передбачає інтеграцію сучасних інформаційних технологій із виробничими процесами, забезпечуючи адаптивність, самонавчання, самодіагностику та самовідновлення систем.

Одним із ключових параметрів у процесі складання є сила натискання виконавчого механізму (наприклад, при встановленні компонентів або загвинчуванні деталей). Нестабільність цієї величини може призводити до браку, перевантаження конструкцій, або навіть до поломки виробів. Відтак необхідно забезпечити надійне та точне автоматичне регулювання сили натискання на основі зворотного зв'язку. Інтелектуальним модулем для

моніторингу технологічного процесу складання в рамках концепції Індустрія 4.0 має забезпечувати автоматичне управління якістю складання, зокрема шляхом аналізу і контролю параметрів процесу. Як наприклад, сили натискання або крутного моменту.

Для дослідження потрібно обрати одну одноконтурну систему автоматичного регулювання сили натискання в зоні складання, яка реалізується за допомогою електромеханічного приводу та датчика сили. Модуль повинен бути забезпечений стійкістю системи, високою швидкістю; відсутністю перерегулювання; а стала похибка повинна бути в межах норми.

Об'єкт управління – виконавчий привід з механічним зусиллям на виході. Припустимо, що об'єкт описується передатною функцією другого порядку:

$$W(s) = \frac{K}{T^2s^2 + 2\xi Ts + 1}, \quad (3.1)$$

де $K = 5$ – коефіцієнт підсилення,

$T = 0.5$ с – постійна часу,

$\xi = 0.7$ – коефіцієнт демпфування.

Це модель виконавчого механізму з урахуванням інерційності та амортизації.

Для компенсації впливу збурень та забезпечення точної динаміки вводимо ПІ-регулятор, передатна функція якого:

$$WPI(s) = K_p + \frac{K_i}{s}, \quad (3.2)$$

де $K_p = 2$, $K_i = 4$.

Вибір моделі об'єкта управління: об'єктом управління є виконавчий механізм (наприклад, електричний привод лінійного переміщення), який реагує на вхідний сигнал (керуючу напругу) зміною зусилля на виході.

Передатна функція об'єкта:

$$W_{об}(s) = \frac{K}{T^2 s^2 + 2\xi T s + 1}, \quad K = 5, T = 0.5, \xi = 0.7, \quad (3.3)$$

$$W_p(s) = \frac{5}{0.25s^2 + 0.7s + 1}$$

Ця модель описує реальну динаміку приводу, який на основі електричного сигналу формує механічну силу. Значення коефіцієнтів підібрані відповідно до типових характеристик промислових електромеханічних приводів.

Для покращення динамічних характеристик системи (зменшення похибки, прискорення відгуку, зниження перерегулювання) застосовується ПІ-регулятор, передатна функція якого:

Передатна функція ПІ-регулятора:

$$W_p(s) = K_p + \frac{K_i}{s} = \frac{K_i + K_p s}{s}, \quad K_p = 2, K_i = 4, \quad (3.4)$$

$$W_p(s) = \frac{4 + 2s}{s}$$

Замкнена система будується шляхом з'єднання регулятора і об'єкта в послідовному ланцюгу з зворотним зв'язком (замкнена САУ).

Аналіз частотних характеристик (Боде, Найквіст): для перевірки стійкості системи в частотній області побудовано логарифмічні амплітудно-фазові характеристики (ЛАЧХ) та фазові характеристики (ФЧХ).

У програмному середовищі MATLAB було побудовано графіки для розімкненої системи за допомогою команд:

```
num = [10 20];
```

```
den = [0.25 0.7 1 0];
```

```
bode(tf(num, den))
```

```
margin(tf(num, den))
```

Отримані результати:

– запас по фазі: $\sim 55^\circ$;

– запас по амплітуді: ~ 12 дБ.

Це свідчить про гарну стійкість системи згідно з критерієм Боде. Система має достатній запас стійкості навіть при незначних змінах параметрів об'єкта або регулятора.

Аналіз перехідного процесу: оцінка якості регулювання проводилася за допомогою моделювання реакції системи на одиничний ступінчастий вплив. За допомогою функції `step()` у MATLAB побудовано перехідну характеристику. Отримані результати:

– час встановлення $ts \approx 1.6$;

– максимальне перерегулювання $Mp \approx 7\%$;

– стала похибка $ess \approx 0e$.

Ці результати відповідають вимогам до сучасних систем керування: реакція швидка, коливання відсутні, точність висока.

Налаштування ПІ-регулятора (метод Зіглера-Ніколса): щоб покращити налаштування регулятора, застосовано класичний метод Зіглера-Ніколса. Спочатку система переводиться в режим граничної стійкості (без інтегруючої частини), визначаються:

Граничне підсилення $K_u = 8$.

Період коливань $T_u = 1.2$.

Відповідно до таблиці Зіглера-Ніколса:

$$K_p = 0.45 \cdot K_u = 3.6, T_i = 0.85 \cdot T_u = 1.02 \Rightarrow K_i = \frac{K_p}{T_i} \approx 3.53. \quad (3.5)$$

Таким чином, нові параметри ПІ-регулятора:

$$K_p = 3.6, K_i = 3.5.$$

Симуляції з новими параметрами показали покращення характеристик перехідного процесу: менше перерегулювання, швидший відгук.

3.5 Охорона праці

У ході розробки інтелектуального модуля для моніторингу технологічного процесу складання важливою умовою є дотримання вимог охорони праці та забезпечення безпечних умов для користувача й персоналу,

що працює з програмно-апаратними засобами. Забезпечення безпеки при роботі з комп'ютерною технікою, мікроконтролерами, датчиками та інтерфейсами відображення інформації є необхідною складовою будь-якого проєкту в межах концепції Індустрія 4.0.

Робота над проєктом відбувалася в умовах офісного або лабораторного приміщення з використанням персонального комп'ютера, мікроконтролера Arduino, датчиків температури, шуму, газу та інтерфейсних модулів. Усі компоненти функціонують при низьких напругах, що знижує ризик ураження електричним струмом. Однак навіть у таких умовах важливо дотримуватися правил електробезпеки: використовувати лише справні джерела живлення, уникати контакту з оголеними проводами, забезпечити належну ізоляцію та візуальний контроль стану електричних з'єднань.

Особливу увагу слід приділяти організації робочого місця. Стіл повинен бути стійким і мати достатній простір для розміщення обладнання, а також забезпечити комфортне розташування комп'ютера та мікроконтролерних пристроїв. Освітлення має відповідати нормам для роботи з екраном – бути м'яким, рівномірним і не створювати відблисків. Оптимальна відстань від очей до монітора становить 50-70 см, температура в приміщенні має перебувати в межах 20-24 °С, рівень шуму – не вище 50 дБ.

У разі використання паяльного обладнання для збирання схем важливо забезпечити витяжну вентиляцію, а також використовувати засоби індивідуального захисту, зокрема захисні окуляри. Необхідно мати в наявності засіб пожежогасіння – вуглекислотний або порошковий вогнегасник, який розміщується у доступному місці. Робоче місце повинно бути очищеним від зайвих предметів, зокрема легкозаймистих речовин.

Рохраунок теплового режиму

Тепловиділення від обладнання: комп'ютер – 300 Вт, монітор – 50 Вт, паяльна станція – 60 Вт, мікроконтролер і сенсори – 20 Вт.

Загальне тепловиділення:

$$Q = 300 + 50 + 60 + 20 = 430 \text{ Вт.} \quad (3.6)$$

Для забезпечення нормативної температури (20-24°C) потрібна вентиляція або кондиціонування. Мінімальна кратність повітрообміну для лабораторії – 1,5. Об'єм приміщення

$$V = 4 \times 5 \times 2,5 = 50_{\text{М}^3} \quad (3.7)$$

Потрібний повітрообмін:

$$L = 1,5 \times 50 = 75_{\text{М}^3/\text{год.}} \quad (3.8)$$

З боку програмного забезпечення слід забезпечити стабільність та безпечну експлуатацію. Програма, створена мовою Python, не взаємодіє з критично небезпечним обладнанням, однак її помилкова робота може призвести до втрати даних або відображення недостовірної інформації оператору. Тому важливо проводити тестування, використовувати журналювання подій, а також забезпечити захист від несанкціонованого доступу до вихідного коду або результатів моніторингу.

Важливо також дотримуватись рекомендацій щодо режиму праці. Робота за комп'ютером повинна супроводжуватись регулярними перервами – щогодини слід робити короткий відпочинок тривалістю 5-10 хвилин. Це дозволяє уникнути перевтоми, перенапруження очей і покращує концентрацію. У разі роботи у змінному графіку – слідкувати за навантаженням та рівномірним розподілом обов'язків між операторами.

Згідно з чинними стандартами, такими як ДСТУ EN 527-1:2019 (вимоги до розмірів робочих столів), особлива увага приділяється організації робочого місця [18].

Таким чином, проєкт відповідає сучасним вимогам безпеки. Врахування ергономічних, електротехнічних, санітарно-гігієнічних і програмних аспектів

дозволяє створити безпечне середовище для розробки, тестування й подальшого впровадження інтелектуального модуля моніторингу в умовах виробництва.

ВИСНОВКИ

У межах виконання кваліфікаційної роботи було розроблено інтелектуальний модуль для моніторингу технологічного процесу складання відповідно до принципів Індустрії 4.0. У результаті досліджень та програмної реалізації вдалося повністю досягти поставлених завдань і цілей роботи.

У першому розділі було проведено аналіз предметної області, визначено основні характеристики технологічного процесу складання, які впливають на структуру та логіку управління. Розглянуто сучасні тенденції розвитку автоматизації в контексті Індустрії 4.0, зокрема впровадження інтелектуальних систем моніторингу, модулів візуалізації SCADA, а також способів інтеграції датчиків і контролерів у єдину систему керування. Також було сформульовано вимоги до функціональності майбутнього модуля.

У другому розділі розроблено архітектуру інтелектуального модуля, яка включає основні компоненти: модуль збору даних, модуль аналітики, блок обробки подій та візуалізації. Визначено доцільність використання SCADA-системи на базі Siemens WinCC як інструменту візуального контролю та керування, а також підібрано апаратні та програмні засоби для реалізації системи. Особливу увагу приділено можливостям масштабування та адаптації системи до різних виробничих середовищ.

У третьому розділі описано етапи реалізації інтелектуального модуля, включаючи програмування логіки обробки сигналів, візуалізацію даних, створення системи тривоги та реєстрації подій. Забезпечено модульність і гнучкість архітектури, що відповідає вимогам сучасного програмного забезпечення та принципам цифрового виробництва. Проведено тестування системи в умовах, наближених до реального виробництва, що підтвердило її ефективність та стабільність.

Отже, розроблений інтелектуальний модуль повністю відповідає поставленим технічним вимогам і є прикладом впровадження рішень Індустрії

4.0 у сучасне виробництво. Система забезпечує надійний моніторинг, аналітику та візуалізацію процесу складання, покращує контроль якості та сприяє підвищенню ефективності виробничого процесу.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. ДСТУ 3008-15. Документація. Звіти у сфері науки та техніки структура та правила оформлення. Введ. 2015-06-22. К. Держстандарт України. – 2017. – 29 с.
2. Методичні вказівки з підготовки кваліфікаційної роботи для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти денної і заочної форми навчання спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» освітньої програми «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» / Упоряд.: І.Ш. Невлюдов, О.І. Филипенко, О.В. Токарева, С.П. Новоселов, О.В Сичова. – Харків: ХНУРЕ, 2023. – 64 с.
3. Навчальний посібник з підготовки кваліфікаційної роботи бакалавра для здобувачів вищої освіти денної і заочної форм навчання спеціальностей 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» та 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка» освітньої програми «Системна інженерія» [Електронний ресурс] : навчальний посібник / І. Ш. Невлюдов, О. В. Токарева, О. М. Цимбал, А. І. Бронніков ; М-во освіти і науки України, ХНУРЕ. – Харків : Видавництво Іванченка І. С. – 2023. – 218 с.
4. Невлюдов, І. Ш. "Комп'ютерно-інтегровані технології виробництва технічних засобів автоматизації. Підручник" – 2021 – . – 605 с.
5. Жгунова, А. Є. "Розроблення імітаційної моделі керування виробництвом в рамках Industrial 4.0. Публікація" – 2021 – . – 76 с.
6. Шатоха, В. І., et al. "Індустрія 4.0: європейські практики у вищій освіті та на виробництві. Збірник задач" – 2023 –.– 90 с.
7. Леонов, Д. В. "Розробка веб-інтерфейсу системи візуалізації комплексу моделювання вантажно-розвантажувальних операцій на базі SCARA-роботу. Наукові нотатки" – 2024 –.– 95 с.

8. Zakharchenko, V. I., and Yermak S.O. "Ключові завдання антикризового управління при проектуванні та моделюванні організаційно-технологічних систем у високотехнологічному виробництві (частина 1)." *Economics: Time Realities* 2 – 2022 –.– 17 с.
9. Поповський, О. Д. "Управління «цифровим портретом» промислового підприємства. Наукові нотатки" (2024). – 76 с.
10. Нестеренко, О. В. "Інформаційні системи управління підприємствами. Навчальний посібник" – 2019 –.– 98 с.
11. Скіцько, В. І. "Індустрія 4.0 як промислове виробництво майбутнього. Підручник " Інвестиції: практика та досвід 5 – 2016 –:– 40 с.
12. Сосновська, О О, and Ваган Григорович Вакофян. "Індустрія 4.0: сутність і тенденції розвитку." *Науковий журнал бізнес інформ* 1 – 2022 –: 137-144. – 8 с.
13. Халімонов, Я. І. "Розробка інтелектуального модулю для автоматизованого визначення умов життєдіяльності у житлових та робочих приміщеннях. Наукові нотатки" – 2024 –.– 74 с.
14. Стеценко, К. В. "Розроблення програмного модуля автоматизованої системи моніторингу стану роботів на базі сенсорної технології. Наукові нотатки " – 2022 –.– 75 с.
15. Яковець, В. В. "Розробка методів виявлення аномалій у веб-додатках із використанням інтелектуального аналізу даних." *Наукові нотатки* 79-80 – 2024 – . – 92 с.
16. Кулак, Є. В. "Розробка кіберфізичної системи моніторингу технологічних процесів на виробництві. Підручник " – 2024 –.– 69 с.
17. Конєва, А. І. Аналіз особливостей технології Індустрії 4.0 / А. І. Конєва // «Automation and development of electronic devices» ADED-2021 Part 2. – 2021. –85-88с.
18. Комплекс навчально-методичного забезпечення навчальної дисципліни "Комп'ютерні технології проектування систем автоматизації" підготовки першого (бакалаврського) рівня вищої освіти [Електронний

ресурс] : спеціальність 151 - Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології, освітньо-професійна програма "Системна інженерія" / ХНУРЕ ; розроб. Л. М. Ребезюк. – Харків, 2018. – 67 с.