

Хмельницький національний університет

Факультет інформаційних технологій

Кафедра автоматизації, комп'ютерно-інтегрованих технологій та робототехніки

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

Автоматизована система контролю та сигналізації аварійних станів обладнання

Назва теми

Рівень вищої освіти Перший (бакалаврський)

Галузь знань 15 – Автоматизація та приладобудування

Спеціальність 151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

Освітня програма «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

КвРАКІТ. 022106.01.14.ПЗ

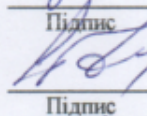
Шифр

Виконав здобувач 4 курсу, група АКІТ-22-1
Шифр


Підпис

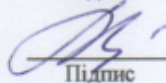
Сгор НОВІКОВ
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Керівник канд. техн. наук, доц.
Науковий ступінь, учене звання


Підпис

Юрій ФОРКУН
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Нормоконтролер канд. техн. наук, доц.
Науковий ступінь, учене звання


Підпис

Галина РАДЕЛЬЧУК
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

До захисту допускаю:

Завідувач кафедри автоматизації,
комп'ютерно-інтегрованих технологій та
робототехніки


Підпис

Людмила КОРЕЦЬКА
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

17.06.2026
Дата

Хмельницький 2026

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет	<u>Інформаційних технологій</u>
Кафедра	<u>Автоматизації, комп'ютерно-інтегрованих технологій та робототехніки</u>
Рівень вищої освіти	<u>перший (бакалаврський)</u>
Галузь знань	<u>15 – Автоматизація та приладобудування</u>
Спеціальність	<u>151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології</u>
Освітня програма	<u>Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології</u>
Виконано	ЗАТВЕРДЖУЮ
Виконано	Завідувач кафедри <u>АКІТтаР</u>
Виконано	<u>Людмила КОРЕЦЬКА</u>
Виконано	<u>07 лютого 2026 р.</u>

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

Новікову Єгору Дмитровичу

Прізвище, ім'я, по батькові студента

1 Тема роботи Автоматизована система контролю та сигналізації аварійних станів обладнання

Керівник роботи Форкун Юрій Вікторович, канд. техн. наук, доц

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

Затверджено наказом ректора університету від 20.01.2026 р. № 7

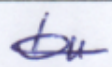
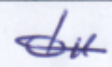


2 Строк подання студентом роботи на кафедру 02.06.2026 р.

3 Вихідні дані до роботи Матеріали переддипломної практики

4 Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) аналітичний огляд систем контролю та сигналізації аварійних станів обладнання, розробка структурної та принципової схем, а також вибір та аналіз елементної бази, розробка програми керування мікроконтролером

5 Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень) Презентаційні матеріали (слайди)

6 Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Антиплагіат	Федула М. В., доцент кафедри АКІТтаР		
Нормоконтроль	Радельчук Г. І., доцент кафедри АКІТтаР		

7 Дата видачі завдання 07 лютого 2026 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Назва розділу кваліфікаційної роботи	Строк виконання	Примітка
1 Вступ	15.03.2026	Виконано
2 Аналітичний огляд систем контролю та сигналізації аварійних станів обладнання	15.30.2026	Виконано
3 Розробка структурної та принципової схем, а також вибір та аналіз елементної бази	15.04.2026	Виконано
4 Розробка програми керування мікроконтролером	30.04.2026	Виконано
5 Оформлення пояснювальної записки до КРБ	15.05.2026	Виконано
6 Оформлення презентаційних матеріалів	30.05.2026	Виконано

Студент

Підпис

Стор НОВІКОВ

Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Керівник кваліфікаційної роботи

Підпис

Юрій ФОРКУН

Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Підпис, дата		Прізвище, ініціали	Розділ
завдання принцип	завдання введення	Федуля М. В. доцент кафедри АКІТ'яр	Антивібрація
		Рябярчук Т. І., доцент кафедри АКІТ'яр	Нормоконтроль

Дія введена з 07 лютого 2026 р.

АНОТАЦІЯ

Тема кваліфікаційної роботи: «Автоматизована система контролю та сигналізації аварійних станів обладнання».

Автор роботи: Новіков Єгор Дмитрович

Керівник роботи: Форкун Юрій Вікторович

Пояснювальна записка: 64 с., 13 рис., 40 джерел.

Графічна частина: 10 презентаційних слайдів.

АВАРІЙНИЙ СТАН, АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА КОНТРОЛЮ, ВИМІРЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ, ДІАГНОСТИКА ОБЛАДНАННЯ, МІКРОКОНТРОЛЕР ATMEL, СИГНАЛІЗАЦІЯ, ТЕХНІЧНИЙ ОБ'ЄКТ.

Мета роботи: розробка автоматизованої системи контролю та сигналізації аварійних станів обладнання на базі програмованого мікроконтролера Atmel, яка забезпечує вимірювання інформативних параметрів технічного об'єкта, аналіз відхилень від допустимих режимів і формування попереджувальних та аварійних сигналів для обслуговуючого персоналу.

Розроблена система має потенціал для подальшого розвитку. У майбутньому її можна доповнити журналом аварійних подій, збереженням налаштувань в EEPROM, розширенням кількості сенсорних каналів, передаванням даних на верхній рівень автоматизації або застосуванням більш складних алгоритмів діагностики. Водночас навіть у базовому варіанті вона демонструє завершену логіку роботи: від вимірювання параметрів до прийняття рішення та формування сигналу для персоналу або зовнішньої системи.







Підпис студента

02.08.2026

Дата

ЗМІСТ

ВСТУП	5
1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД СИСТЕМ КОНТРОЛЮ ТА СИГНАЛІЗАЦІЇ АВАРІЙНИХ СТАЇВ ОБЛАДНАННЯ	8
1.1 Аналіз задач,	8
1.2 Аналіз аналогічних пристроїв в Україні.....	14
1.3 Обрання елементної бази	18
1.4 Висновки до першого розділу	22
2 РОЗРОБКА СТРУКТУРНОЇ ТА ПРИНЦИПОВОЇ СХЕМ, А ТАКОЖ ВИБІР ТА АНАЛІЗ ЕЛЕМЕНТНОЇ БАЗИ.....	24
2.1 Розробка структурної схеми.....	24
2.2 Вибір та аналіз елементної бази.....	29
2.3 Розробка принципової електричної схеми	35
2.4 Висновки до другого розділу	42
3 РОЗРОБКА ПРОГРАМИ КЕРУВАННЯ МІКРОКОНТРОЛЕРОМ.....	46
3.1 Створення алгоритму роботи пристрою.....	46
3.2 Розробка блок-схеми алгоритму роботи програми.....	48
3.3 Створення програми із вставкою основних елементів програми	50
3.4 Висновки до третього розділу	54
ВИСНОВКИ.....	57
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ.....	61

<i>КвРАКІТ. 022106.01.14.ПЗ</i>								
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	Автоматизована система контролю та сигналізації аварійних станів обладнання Пояснювальна записка	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Розроб.</i>		<i>Новіков Є.Д.</i>		<i>02.06.20</i>				
<i>Перевір.</i>		<i>Форкун Ю.В.</i>		<i>02.06.20</i>			4	64
<i>Реценз.</i>						ХНУ, АКІТ-22-1		
<i>Н. контр.</i>		<i>Радельчук Г. І.</i>		<i>17.06.20</i>				
<i>Затверд.</i>		<i>Корецька Л. О.</i>		<i>18.06.20</i>				

ВСТУП

Сучасний розвиток промислових і допоміжних технічних систем характеризується не лише підвищенням їх продуктивності, а й суттєвим посиленням вимог до надійності, безпеки та передбачуваності режимів експлуатації. Якщо обладнання працює безперервно або в напружених циклічних режимах, навіть короткочасна відмова може призвести до простою, втрати ресурсу, пошкодження суміжних вузлів або створення небезпечної ситуації для персоналу. Саме тому в сучасній практиці все більшого значення набувають автоматизовані системи контролю та сигналізації аварійних станів обладнання, які дозволяють виявляти небезпечні режими ще до переходу об'єкта в критичний стан [1–3].

У більшості реальних технічних систем аварія не є абсолютно раптовою. Перед нею зазвичай спостерігаються певні передумови: зростання температури, підвищення струму споживання, посилення вібрації, спрацювання допоміжного захисту, нестандартний стан кінцевих вимикачів, перегрів силових елементів або навіть нестабільність живлення. Якщо ці симптоми відстежуються автоматично, система може не лише повідомити про вже наявну проблему, а й фактично виконувати функцію раннього попередження. У цьому полягає головна цінність автоматизованого підходу: він дає персоналу час на реакцію, а технічній системі – шанс уникнути більш серйозної відмови.

Для спеціальності АКІТ така тема є показовою, оскільки вона поєднує в межах одного проєкту відразу кілька ключових інженерних завдань: аналіз інформативних параметрів обладнання, вибір архітектури пристрою, розробку структурної та принципової схем, формування алгоритму оцінювання аварійного стану, програмування мікроконтролера і побудову засобів взаємодії з користувачем. Саме через таку комплексність тема є вдалою для бакалаврської роботи студента четвертого курсу: вона дає змогу показати не окрему вузьку навичку, а цілісний підхід до розв'язання задачі автоматизації.

					<i>КвРАКІТ. 022106.01.14.ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
						5
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

Обрана тема ще добре підкреслює різницю між простою контрольно-вимірювальною системою і повноцінною автоматизованою системою діагностики. Якщо пристрій лише виводить на дисплей температуру або струм, він залишає користувача наодинці з необхідністю самостійно інтерпретувати значення. Якщо ж система аналізує кілька параметрів одночасно, враховує пороги, часові затримки, пріоритети та ознаки відмови каналів, то вона вже стає активним технічним інструментом прийняття рішення. Саме ця логіка й покладена в основу даної роботи.

У межах бакалаврської роботи автоматизовану систему контролю та сигналізації аварійних станів обладнання доцільно розглядати як локальний мікроконтролерний пристрій, орієнтований на контроль температури, струму, вібрації та дискретних аварійних входів. Такий набір параметрів достатньо універсальний, щоб система могла застосовуватися до електродвигунів, вентиляторів, насосних агрегатів, силових шаф, лабораторних стендів та інших технічних вузлів, для яких важливе раннє виявлення небезпечного режиму. Водночас подібна конфігурація не є надмірно складною та відповідає реальним можливостям бакалаврського проєкту.

Окрему увагу слід приділити проблемі хибних спрацювань. У практиці експлуатації обладнання це одна з найпоширеніших причин недовіри до систем сигналізації. Якщо пристрій реагує на кожен короткочасний сплеск струму, випадковий механічний удар або одиничну помилку вимірювання як на повноцінну аварію, персонал швидко перестає сприймати тривогу серйозно. Водночас надто інертна система також є небезпечною, бо запізнюється з реакцією. Саме тому під час розробки аварійного пристрою обов'язково необхідно враховувати гістерезис, підтвердження події в часі, фільтрацію сигналів та самоконтроль вимірювальних каналів [4–6].

З позиції елементної бази логічним є використання програмованого мікроконтролера Atmel AVR. Контролери цього сімейства мають достатній набір периферійних модулів, підтримують роботу з аналоговими і цифровими

					<i>КвРАКІТ. 022106.01.14.ПЗ</i>	Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

сенсорами, дозволяють реалізовувати локальні меню та добре документовані. При цьому в роботі свідомо не використовується АТmega328, оскільки для багатоканальної аварійної системи бажано мати більший запас портів, пам'яті та апаратних інтерфейсів. Такий вибір робить роботу більш інженерно виваженою і менш шаблонною [7–10].

Практична цінність запропонованої розробки полягає в тому, що вона може бути використана як локальний засіб раннього виявлення небезпечних режимів для різних видів обладнання. Така система не замінює повністю промислові сертифіковані захисти, але здатна доповнювати їх або виконувати роль доступного пристрою попереджувального технічного моніторингу. Саме в цьому і полягає її прикладна корисність: вона знаходиться на стику між навчальним проектом і реальною технічною потребою.

Метою бакалаврської роботи є розробка автоматизованої системи контролю та сигналізації аварійних станів обладнання на базі програмованого мікроконтролера Atmel, яка забезпечує вимірювання інформативних параметрів технічного об'єкта, аналіз відхилень від допустимих режимів і формування попереджувальних та аварійних сигналів для обслуговуючого персоналу.

					<i>КвРАКІТ. 022106.01.14.ПЗ</i>	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД СИСТЕМ КОНТРОЛЮ ТА СИГНАЛІЗАЦІЇ АВАРІЙНИХ СТАНІВ ОБЛАДНАННЯ

1.1 Аналіз задач

Автоматизовані системи контролю та сигналізації аварійних станів обладнання призначені для своєчасного виявлення ознак відмови, попередження персоналу про небезпечний режим і, у разі потреби, передачі керуючого або блокувального сигналу на суміжну систему автоматики. На відміну від звичайних вимірювальних приладів, такі системи не обмежуються індикацією параметра на дисплеї. Вони повинні перетворювати інформацію від кількох джерел у зрозумілий для експлуатаційного персоналу стан: «норма», «попередження», «аварія», «відмова сенсора», «перевантаження», «перегрів», «аномальна вібрація» тощо.

До базових задач подібних систем належить контроль теплового режиму обладнання. Перегрів є однією з найпоширеніших передаварійних ознак для електродвигунів, силової електроніки, трансформаторів, підшипникових вузлів, компресорів та вентиляційних установок. У практичних умовах важливо не лише зафіксувати перевищення температури, а й визначити його тривалість, швидкість наростання та відношення до робочого режиму. Наприклад, короткочасний сплеск при пуску може бути припустимим, тоді як повільне, але стале перевищення температури вже є ознакою деградації стану обладнання.

Другою важливою групою задач є контроль електричних параметрів, передусім струму споживання та напруги живлення. Для значної частини обладнання саме струм є прямим непрямым показником перевантаження, заклинювання механізму, погіршення змащення, надмірного навантаження на валу або короткого замикання в силовій частині. Автоматизована система повинна не лише вимірювати струм, а й інтерпретувати його відхилення від нормального режиму. У цьому контексті особливого значення набуває аналіз пускових і робочих струмів, а також необхідність розділяти короткочасний

					<i>КвРАКІТ. 022106.01.14.ПЗ</i>	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

пусковий кидок і стійке аварійне перевантаження [10-15].

Третій важливий канал контролю пов'язаний із механічним станом обладнання. Для приводів, електродвигунів, компресорів, насосів і редукторів інформативним параметром є вібрація або різкий механічний удар. Підвищений рівень вібрації може свідчити про розбалансування, послаблення кріплення, руйнування підшипника, перекіс вала або резонансні режими. У системах аварійного контролю ці параметри часто використовуються як рання діагностична ознака, тобто аварійна сигналізація спрацьовує ще до фактичної відмови механізму [16-18].

Окремий клас задач становить контроль дискретних аварійних станів. Йдеться про спрацювання кінцевих вимикачів, відкривання захисних дверцят, розрив захисного ланцюга, зникнення фази, втрату живлення, порушення положення заслінки, спрацювання зовнішнього термодатчика або аварійного кнопочного поста. На відміну від аналогових сигналів, такі входи мають чітко визначений стан і зазвичай інтерпретуються логічно. Проте їх значення для безпеки системи є надзвичайно високим. Саме через дискретні входи локальний мікроконтролерний пристрій часто інтегрується в загальний контур технологічної або безпекової автоматики.

Ще однією важливою задачею є класифікація та пріоритетність повідомлень. Не всі відхилення параметрів є однаково небезпечними. Тому система контролю аварійних станів повинна вміти розділяти попереджувальні й критичні режими. Наприклад, незначне перевищення температури або коротке підвищення струму може формувати лише попередження, тоді як одночасне перевищення температури й струму або різкий стрибок вібрації має трактуватися як аварія. Таким чином, подібна система фактично вирішує задачу логічного злиття інформації з кількох каналів.

З точки зору людино-машинної взаємодії системи цього класу повинні забезпечувати наочне та однозначне інформування оператора. Найпростішим варіантом є світлодіодна індикація трьох станів: норма, попередження, аварія.

					<i>КвРАКІТ. 022106.01.14.ПЗ</i>	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Більш розвинуті рішення мають символічний дисплей, звуковий сигналізатор, сервісне меню та канал передавання діагностичних повідомлень на верхній рівень. При цьому інформація повинна бути не просто детальною, а логічно впорядкованою. Для оператора важливо бачити не весь потік сирих даних, а конкретну причину спрацювання та параметр, який її викликав.

У технічному сенсі великою проблемою систем аварійної сигналізації є хибні спрацювання. Надто чутливі пороги, відсутність фільтрації, вплив завад або пускові режими можуть призвести до того, що система сигналізуватиме про аварію там, де фактично має місце лише короткочасне допустиме відхилення. Саме тому в аналогічних пристроях широко застосовують гістерезис, часове підтвердження, цифрове усереднення, багатократну перевірку стану та блокування повторної сигналізації на короткому інтервалі часу.

Основні підходи до створення подібних пристроїв можна умовно поділити на релейно-контактний, мікроконтролерний та мережево-розподілений. Релейно-контактний підхід історично був найпростішим: кожен аварійний сигнал формувався окремим термодатчиком, токовим реле чи кінцевим вимикачем. Його перевага - прозорість логіки та простота ремонту. Недолік - низька гнучкість і фактична відсутність можливості комбінованого аналізу кількох параметрів. Мікроконтролерний підхід дозволяє реалізувати складнішу логіку, вести сервісну індикацію й міняти поведінку системи програмно. Мережево-розподілений підхід застосовується вже у великих об'єктах, де кілька контролерів або датчикових вузлів працюють як частина SCADA чи BMS [19, 20].

Для бакалаврської роботи найбільш доцільним є саме мікроконтролерний підхід. Він дає можливість зберегти помірну апаратну складність, але водночас реалізувати реалістичний набір функцій: опитування кількох каналів, аналіз аналогових і дискретних сигналів, індикацію, звукову сигналізацію, сервісне повідомлення та ручне налаштування порогів. Крім того, така архітектура

					<i>КвРАКІТ. 022106.01.14.ПЗ</i>	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

добре підходить для пояснення на рівні студента четвертого курсу: у ній можна логічно показати і схемотехніку, і алгоритм, і програму [21].

Ще однією характерною задачею для систем контролю аварійних станів є діагностика самих каналів вимірювання. Якщо сенсор температури обірваний, а датчик струму дає нульовий або явно неможливий сигнал, система не повинна трактувати це як «норму». Вона має формувати окреме повідомлення про несправність вимірювального каналу. Це особливо важливо тому, що відмова системи діагностики небезпечна не менше, ніж відсутність аварійної сигналізації. Отже, в добре побудованому пристрої передбачено не тільки контроль об'єкта, а й самоконтроль інформаційних каналів.

У підсумку можна стверджувати, що аналогічні пристрої вирішують комплексну задачу раннього виявлення критичних режимів, логічної оцінки небезпеки, попередження персоналу та передавання сигналу в суміжні системи. Вони мають працювати стійко, не генерувати надмірної кількості хибних тривог, бути зрозумілими для обслуговуючого персоналу й допускати адаптацію до різних типів обладнання. Саме такі вимоги і визначають подальший напрям розробки власної автоматизованої системи контролю та сигналізації аварійних станів обладнання. Приклад параметрів, що можуть бути використані для раннього виявлення аварійного стану обладнання зображено на рисунку 1.1.

Ще одна специфічна задача стосується документування причин спрацювання. У найпростішому випадку достатньо поточної індикації на дисплеї. Але для аналізу відмов корисно, щоб система могла зберігати або хоча б послідовно відтворювати в сервісному режимі інформацію про останню аварію. Такий підхід дає можливість після зупинки обладнання зрозуміти, що саме стало причиною тривоги. Навіть якщо в бакалаврському пристрої не реалізується повний енергонезалежний журнал подій, сама ідея фіксації останнього аварійного стану є доцільною й технічно виправданою.

					<i>КвРАКІТ. 022106.01.14.ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
						11
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

Для частини обладнання важливо також розрізняти стани, пов'язані з технологічною інерцією. Наприклад, після запуску електродвигуна температура корпусу ще не є інформативною, натомість пусковий струм закономірно перевищує робочий. Для вентилятора або насоса допустимою може бути короткочасна вібрація під час виходу на режим. Якщо система не враховує цих особливостей, вона працює формально правильно, але інженерно невдало. Саме тому будь-яка ефективна аварійна логіка повинна спиратися не лише на порогові значення, а й на контекст режиму роботи обладнання.

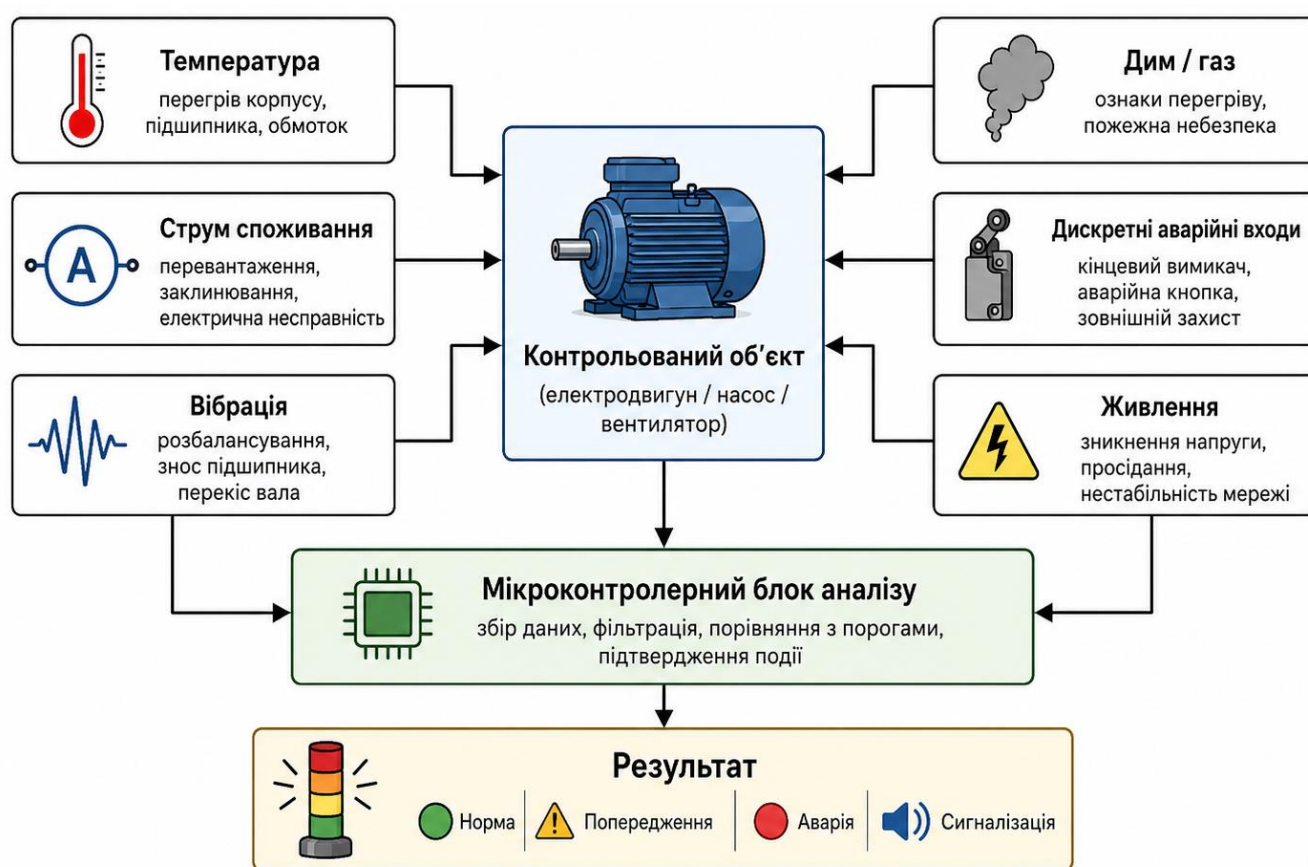


Рисунок 1.1 – Приклад параметрів, що можуть бути використані для раннього виявлення аварійного стану обладнання.

Додатково слід враховувати людський фактор. Надлишкова кількість тривоги, які не підтверджуються реальною небезпекою, призводить до поступової втрати уваги з боку персоналу. Це явище добре відоме в

промисловій автоматизації як «втома від сигналізації». Саме тому система повинна бути не тільки чутливою, а й вибірковою. Для цього потрібне ранжування аварій, блокування дубльованих повідомлень, фіксація найкритичніших подій та зручне квіттування вторинних тривог. У локальному пристрої бакалаврського рівня ці принципи можна реалізувати у спрощеному вигляді, але їх обов'язково слід врахувати при побудові логіки.

У багатьох випадках система сигналізації фактично виконує роль проміжної ланки між оператором і технологічним об'єктом. Вона перекладає мову фізичних величин у мову технічних станів. Наприклад, оператору не завжди зручно самостійно аналізувати, що означає температура 78 °С для конкретного вузла, струм 12,4 А або вібрація певного рівня. Натомість для нього значно корисніше отримати чітке повідомлення: «перегрів підшипника», «перевантаження привода», «аномальна вібрація», «спрацював зовнішній аварійний контакт». Саме тому якісна система повинна мати не лише вимірювальні канали, а й інтерпретаційний рівень, який пов'язує параметри з фізичним змістом небезпечної події.

З погляду теорії автоматизації важливо підкреслити, що аварійна сигналізація є окремим класом технічних систем, відмінним від класичних контурів безперервного регулювання. Якщо регулятор намагається підтримувати параметр у заданому значенні, то система аварійного контролю зосереджується на переході через межі безпечної області та на класифікації небезпечних станів. Це накладає особливі вимоги на її логіку. По-перше, важливим стає момент виявлення події, а не абсолютна точність вимірювання в усьому діапазоні. По-друге, критичним є формування однозначного рішення за неповною або зашумленою інформацією. По-третє, необхідно мінімізувати як пропуски реальних аварій, так і хибні спрацювання. Саме ця триєдина вимога значною мірою визначає архітектуру подібних систем.

Важливим аспектом сучасних систем аварійного контролю є зв'язок між контрольною функцією та стратегією технічного обслуговування. Якщо раніше

					<i>КвРАКІТ. 022106.01.14.ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
						13
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

ремонт часто виконувався за календарним графіком або вже після появи явної несправності, то сьогодні дедалі більшого значення набуває обслуговування за фактичним станом. Для такого підходу система сигналізації повинна не просто повідомляти про аварію, а створювати основу для раннього втручання. Саме тому навіть відносно проста локальна система, яка фіксує зростання температури, струму або вібрації, може суттєво впливати на культуру експлуатації обладнання. Вона дає змогу технічному персоналу перейти від реактивної моделі ремонту до проактивної, коли дефект усувається до моменту серйозної відмови.

1.2 Аналіз аналогічних пристроїв в Україні

Узагальнюючи відомі рішення, можна сказати, що світовий ринок тяжіє до двох полюсів. Перший полюс – це прості спеціалізовані модулі захисту, які добре виконують одну функцію, але майже не дають гнучкості. Другий – складні багатоканальні системи моніторингу, інтегровані в загальну архітектуру підприємства. Між цими двома крайнощами є простір для локального мікроконтролерного пристрою середнього рівня складності, що і є найбільш доцільним об'єктом бакалаврської розробки.

Відомі світові виробники пропонують багатофункціональні реле контролю стану двигунів, у яких поєднуються вимірювання струму, аналіз фазних режимів, тепловий захист і робота з допоміжними сигналами. Такі пристрої часто мають промислові інтерфейси та сервісне меню, але для навчального рівня вони занадто складні й закриті, рисунок 1.2. У бакалаврському проекті важливіше відтворити сам принцип побудови подібної системи на відкритій елементній базі [22].

На українському ринку значну роль відіграють модульні компоненти й універсальні мікроконтролерні рішення. Їх перевагою є доступність, можливість швидкого прототипування та велика кількість прикладів

					<i>КвРАКІТ. 022106.01.14.ПЗ</i>	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

застосування. Саме на такій базі зручно створювати пристрій, який не копіює конкретний комерційний продукт, а реалізує його функціональну ідею в спрощеному, але технічно завершеному вигляді.

Звертає на себе увагу і той факт, що в багатьох реальних системах пріоритет надається не великій кількості параметрів, а правильному вибору кількох найбільш інформативних. Це особливо актуально для локального пристрою. Якщо система намагається контролювати надто багато каналів без глибокої логіки, вона ризикує стати перевантаженою та малозрозумілою. Натомість компактний набір параметрів - температура, струм, вібрація, дискретні аварійні сигнали - забезпечує хороший баланс між інформативністю й реалізованістю.

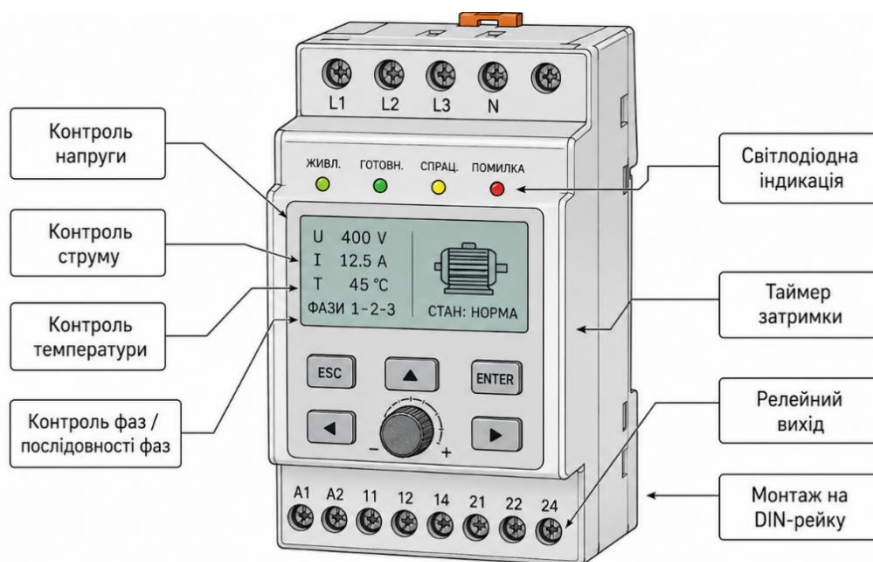


Рисунок 1.2 – Приклад промислового багатфункціонального реле контролю стану обладнання.

Узагальнюючи аналіз аналогів, можна зробити висновок, що для бакалаврської роботи доцільно реалізувати функціонально завершений, але не перевантажений пристрій. Він має містити найважливіші риси професійних систем: багатоканальність, пріоритетність подій, сервісну індикацію, квітування та

захист від хибних спрацювань. Саме такий баланс між простотою та змістовністю дозволяє створити переконливий інженерний проєкт.

Ще однією характерною рисою відомих систем є наявність сервісного або діагностичного каналу. Навіть якщо основна тривога подається локально у вигляді світла та звуку, виробники прагнуть дати можливість техніку побачити більше: точну причину зупинки, значення параметра, історію останнього спрацювання або хоча б код події. Це дає підстави вважати сервісний інтерфейс не додатковою опцією, а важливою ознакою сучасної системи контролю стану.

Український сегмент модульних рішень має ще одну сильну сторону: велику кількість доступних відлагоджуваних компонентів і практичних прикладів. Це дає змогу не лише теоретично обґрунтувати схему, а й у разі потреби перейти до реального макетування. Для бакалаврської роботи така прикладна наближеність є важливою, оскільки вона підтверджує, що розробка не є відірваною від реальної елементної бази й не спирається виключно на абстрактні моделі.

Серед рішень, орієнтованих на стан підшипників і обертових вузлів, цікавим є розподіл функцій між простими сигналізаторами та системами діагностики. Прості сигналізатори працюють за принципом перевищення граничного рівня вібрації, приклад локального струмового та температурного сигналізатора зображено на рисунку 1.3. Системи діагностики, навпаки, намагаються ще й визначити природу дефекту. Для бакалаврської роботи найбільш раціональною є саме перша концепція, але з елементами другої – тобто не просто факт перевищення, а ще й логічна оцінка, чи поєднується вібрація з іншими ознаками, наприклад струмовим або температурним перевантаженням.

Промислові реле контролю стану двигунів показують ще одну важливу особливість: значна частина їх цінності полягає не тільки у вимірюванні струму чи температури, а й у правильній інтерпретації часових режимів. Вони враховують затяжний пуск, перевищення часу виходу на режим, асиметрію фаз,

					<i>КвРАКІТ. 022106.01.14.ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
						16
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

кількість повторних запусків, теплову модель навантаження. Хоча така деталізація не буде повністю відтворюватися у бакалаврському пристрої, сам підхід до обробки події в часі є надзвичайно корисним. Він підказує, що навіть локальна система сигналізації має враховувати тривалість відхилення, а не лише факт його появи.



Рисунок 1.3 – Приклад локального струмового та температурного сигналізатора.

Детальніший розгляд аналогів дозволяє побачити, що більшість промислових виробів реалізують схожу функціональну філософію: вони не намагаються контролювати десятки параметрів без необхідності, а концентруються на тих сигналах, які мають найбільшу діагностичну цінність для конкретного класу обладнання. Саме це спостереження є важливим для даної роботи. Замість безсистемного нарощування кількості датчиків доцільніше обрати обмежений, але технічно змістовний набір параметрів, який забезпечує достатню повноту оцінки стану.

1.3 Обрання елементної бази

На основі проведеного аналізу можна сформулювати вимоги до власної системи. Вона повинна бути локальною, автономною, мати завершену логіку роботи й не залежати від складної мережевої інфраструктури. Пристрій має забезпечувати вимірювання кількох параметрів, багаторівневу сигналізацію, зручне пояснення причин спрацювання та можливість змінювати пороги без повного перепрограмування всієї логіки.

Як програмовану основу системи доцільно вибрати мікроконтролер Atmel AVR із достатньою кількістю портів, АЦП, цифрових інтерфейсів та резервом пам'яті. Це дасть можливість реалізувати дисплей, кілька сенсорів, дискретні входи, світлодіодну та звукову сигналізацію, а також сервісне меню. Саме орієнтація на програмовані елементи робить систему гнучкою та придатною до подальшого розвитку.

У функціональному відношенні пристрій має реалізувати принаймні такі можливості: циклічне опитування каналів, порівняння з порогоми, фільтрацію й підтвердження аварії, світлову та звукову індикацію, індикацію причини тривоги на дисплеї, квітування звуку, самодіагностику сенсорних каналів і сервісний режим налаштування. Саме такий перелік дозволяє вважати систему не просто вимірювальним пристроєм, а повноцінним локальним засобом технічного контролю.

З технічного погляду важливо також передбачити можливість розширення. Навіть якщо в базовій реалізації система контролює лише чотири групи параметрів, архітектура повинна допускати додавання нових сенсорів, ще одного релейного виходу, журналу подій або передавання телеметрії на верхній рівень. Такий резерв робить розробку більш інженерно зрілою.

Таким чином, напрям створення власного пристрою пов'язаний не лише з вибором програмованого контролера, а й із формуванням продуманої архітектури, у якій поєднуються модульність, гнучкість налаштування,

					<i>КвРАКІТ. 022106.01.14.ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
						18
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

багаторівнева сигналізація, завадостійкість і сервісна інформативність. Це створює міцний фундамент для другого і третього розділів роботи, приклад модульної системи технічного моніторингу, відомої на українському ринку, зображено на рисунку 1.4.



Рисунок 1.4 – Приклад модульної системи технічного моніторингу, відомої на українському ринку.

Важливою функцією системи має бути сервісний режим налаштування. Навіть якщо базові пороги закладаються в прошивку, оператор або наладчик повинен мати можливість змінити межі попередження й аварії під конкретний об'єкт. Саме така можливість робить пристрій універсальнішим і зменшує потребу в перепрограмуванні при кожній зміні умов експлуатації.

Окремим напрямом проєктування є забезпечення електромагнітної сумісності та завадостійкості. Для локальної аварійної системи це не менш важливо, ніж для повноцінної промислової автоматики, оскільки помилкові тривоги часто є наслідком саме апаратних завад, а не логічних помилок алгоритму. Це означає, що вже на концептуальному рівні слід передбачити розподіл силової та сигнальної землі, шунтування живлення, фільтрацію аналогових каналів і коректний драйвер вихідних навантажень.

Щодо сенсорних каналів, то доцільно віддавати перевагу рішенням із відкритою документацією, стабільною доступністю та зрозумілою інтеграцією з мікроконтролером. Це дозволяє не тільки реалізувати систему, а й коректно пояснити вибір елементної бази у бакалаврській роботі. З цієї причини в

					<i>КвРАКІТ. 022106.01.14.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

подальших розділах акцент робитиметься на цифрових і аналогових вузлах, які мають добре описані електричні параметри та стандартні способи підключення.

При виборі програмованого елемента важливо враховувати не тільки кількість портів і обсяг пам'яті, а й наявність резерву на майбутнє. У процесі розробки майже завжди виникає бажання додати ще один сервісний екран, ще один канал індикації, ще один режим підтвердження аварії або зберігання останньої події в EEPROM. Якщо контролер обрано без запасу, навіть невелике розширення логіки швидко вичерпує ресурси. Тому для системи такого типу виправдано брати контролер із певним функціональним резервом.

З погляду функціональної логіки доцільно розділити систему на два рівні: рівень попереджувального моніторингу і рівень аварійного оповіщення. Перший рівень повинен інформувати оператора про відхилення, яке ще не є критичним, але вже свідчить про небажану тенденцію.

Другий рівень має повідомляти про стан, який вимагає негайного втручання або зупинки. Саме таке двоступеневе рішення є найбільш природним для більшості технічних об'єктів.

Якщо розглядати пристрій з точки зору загальної архітектури, то він повинен бути модульним. Це означає, що температурний канал, струмовий канал, вібраційний канал, дискретні входи, індикація та вихідні драйвери мають бути достатньо незалежними один від одного. Такий підхід полегшує і схемотехнічне проєктування, і програмну реалізацію. Крім того, у разі подальшого розвитку пристрою він дозволяє замінювати окремі сенсори або додавати нові входи без радикальної перебудови всієї системи.

Модульний підхід було прийнято як основний принцип побудови пристрою, оскільки він дозволяє розділити систему на зрозумілі функціональні вузли: температурний, струмовий, вібраційний і газовий канали, дискретні входи, індикацію, звукову сигналізацію та релейний вихід. Завдяки такому розподілу кожен канал може налагоджуватися окремо, а подальше розширення системи не потребує повної перебудови її архітектури.

					<i>КвРАКІТ. 022106.01.14.ПЗ</i>	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Самодіагностику вимірювальних каналів було визначено як обов'язкову умову надійної аварійної системи. Відсутність відповіді сенсора, обрив лінії, явно неможливий сигнал або помилка інтерфейсу не повинні трактуватися як нормальний стан. Для таких випадків доцільно формувати окреме службове повідомлення, яке відрізняється від реального перевищення параметра і допомагає оператору швидко зрозуміти причину несправності.

Для зменшення кількості хибних спрацювань у концепцію пристрою було закладено фільтрацію, часову перевірку події та розділення рівнів «попередження» і «аварія». Такий підхід дає змогу не реагувати на одиничний імпульсний шум або короткочасний пусковий режим як на повну аварію. Водночас система зберігає здатність швидко реагувати на підтвержене й небезпечне відхилення параметра.

Особливу роль у майбутньому пристрої відіграє поєднання теплового, струмового та вібраційного контролю. Температура відображає повільне накопичення теплового перевантаження, струм швидко реагує на електричне або механічне перевантаження, а вібрація дає інформацію про стан обертових і механічних вузлів. Саме комбінація цих ознак робить висновок про аварійний стан більш достовірним, ніж аналіз одного окремого параметра.

Під час формування складу каналів було враховано, що надмірна кількість сенсорів не завжди покращує систему. Для локального пристрою важливішим є вибір невеликої кількості інформативних параметрів, які дійсно пов'язані з небезпечними режимами обладнання. Тому доцільним було обрано контроль температури, струму, вібрації, газових або димових ознак і дискретних аварійних сигналів.

Локальна індикація і організація аварійного оповіщення були розглянуті як частина загальної логіки пристрою, а не як другорядне доповнення. Оператор повинен бачити не лише факт спрацювання, а й причину переходу системи в режим попередження або аварії. Тому в подальшій структурі

					<i>КвРАКІТ. 022106.01.14.ПЗ</i>	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

пристрою передбачено дисплей, світлодіодні індикатори, звуковий сигналізатор і можливість квітування тривоги без скасування самої причини аварії.

Ще одним важливим узагальненням першого розділу є те, що ефективна система контролю аварійних станів не може будуватися лише навколо одного окремого параметра. Лише поєднання кількох інформативних каналів, логіки пріоритетів, засобів фільтрації та зрозумілої індикації створює технічно переконливий результат. Саме така постановка питання дозволяє перейти від спрощеної сигналізації по порозу до локальної автоматизованої системи, яка реально допомагає персоналу оцінювати стан обладнання. Для бакалаврської роботи цей висновок є принциповим, оскільки він визначає подальшу методику вибору елементної бази, побудови схем і розробки алгоритму.

1.4 Висновки до першого розділу

У першому розділі бакалаврської роботи було проведено аналітичний огляд систем контролю та сигналізації аварійних станів обладнання. Установлено, що такі системи мають виконувати не лише функцію простого виявлення перевищення окремого параметра, а й забезпечувати комплексну оцінку стану об'єкта. Для цього необхідно контролювати кілька інформативних величин, розрізняти рівні небезпеки, визначати причину спрацювання, формувати зрозуміле повідомлення для оператора та, за потреби, передавати сигнал на зовнішню систему керування або аварійного відключення.

У процесі аналізу було показано, що для раннього виявлення небезпечних режимів доцільно використовувати не один вимірювальний канал, а сукупність параметрів. До таких параметрів належать температура, струм споживання, вібрація, стан дискретних аварійних входів, а також ознаки диму або газового середовища. Кожен із цих каналів характеризує окремий аспект роботи обладнання: температурний канал дає змогу оцінити тепловий стан вузлів,

					<i>КвРАКІТ. 022106.01.14.ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
						22
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

струмовий – електричне навантаження, вібраційний – механічний стан, а дискретні входи – спрацювання зовнішніх захистів або кінцевих вимикачів.

Порівняння відомих світових і українських рішень засвідчило, що готові промислові системи є функціонально розвиненими, мають високу надійність і часто підтримують інтеграцію з верхнім рівнем автоматизації. Водночас такі системи є складними, дорогими та не завжди зручними для навчального проектування. Прості локальні сигналізатори, навпаки, мають доступну структуру, але часто контролюють лише один параметр і не забезпечують достатньої гнучкості. Для бакалаврської роботи було обґрунтовано доцільність створення власного локального багатоканального пристрою, який поєднує простоту апаратної реалізації з розширеною логікою аналізу аварійних станів.

За результатами аналізу було сформовано концептуальну модель майбутньої системи. Її основою обрано мікроконтролер Atmel, який має координувати роботу вимірювальних каналів, виконувати обробку сигналів, порівнювати параметри з установленими межами та формувати відповідні стани: “норма”, “попередження” або “аварія”. До складу системи передбачено включити чотири основні сенсорні канали, локальну індикацію, світлову й звукову сигналізацію, сервісний інтерфейс і релейний аварійний вихід.

Таким чином, у першому розділі було визначено основні функціональні вимоги до розроблюваного пристрою, проаналізовано відомі підходи до побудови систем аварійного контролю та обґрунтовано вибір багатоканальної мікроконтролерної архітектури. Отримані результати створюють основу для переходу до другого розділу, у якому виконується вибір елементної бази, розроблення структурної схеми та формування принципової електричної схеми автоматизованої системи контролю та сигналізації аварійних станів обладнання.

					<i>КвРАКІТ. 022106.01.14.ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
						23
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

2 РОЗРОБКА СТРУКТУРНОЇ ТА ПРИНЦИПОВОЇ СХЕМ, А ТАКОЖ ВИБІР ТА АНАЛІЗ ЕЛЕМЕНТНОЇ БАЗИ

2.1 Розробка структурної схеми

У другому розділі було виконано схемотехнічне опрацювання автоматизованої системи контролю та сигналізації аварійних станів обладнання. Розроблення розпочато зі структурної схеми, оскільки саме вона визначає склад функціональних вузлів, напрямки проходження інформаційних сигналів і загальну логіку взаємодії сенсорів, мікроконтролера, індикації та виконавчих виходів.

На рисунку 2.1 представлено структурну схему розробленої системи. Центральним вузлом прийнято мікроконтролерний блок на базі ATmega128A. До нього підключено температурний канал, струмовий канал, вібраційний канал, газовий або димовий канал, дискретні аварійні входи, LCD-дисплей, блок кнопок, світлодіодну індикацію, активний звуковий сигналізатор, релейний аварійний вихід, сервісний UART-інтерфейс і блок живлення.

Інформаційний потік у структурній схемі було організовано від контрольованого об'єкта до мікроконтролера. Сенсори перетворюють фізичні параметри в електричні або цифрові сигнали, після чого ATmega128A виконує їх зчитування, перевірку, фільтрацію, порівняння з порогами та формування підсумкового стану системи. Результат аналізу передається на дисплей, світлодіоди, бужер, релейний вихід і сервісний канал.

Сенсорний рівень було сформовано з каналів різної фізичної природи. DS18B20 забезпечує контроль температури, ACS712 формує аналоговий сигнал струму, ADXL345 використовується для виявлення вібраційних відхилень, а MQ-2 дає змогу зафіксувати газові або димові ознаки небезпечного процесу. Такий склад каналів узгоджений із висновками першого розділу, де було обґрунтовано потребу не в одному окремому датчику, а в сукупності кількох інформативних параметрів.

					<i>КвРАКІТ. 022106.01.14.ПЗ</i>	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

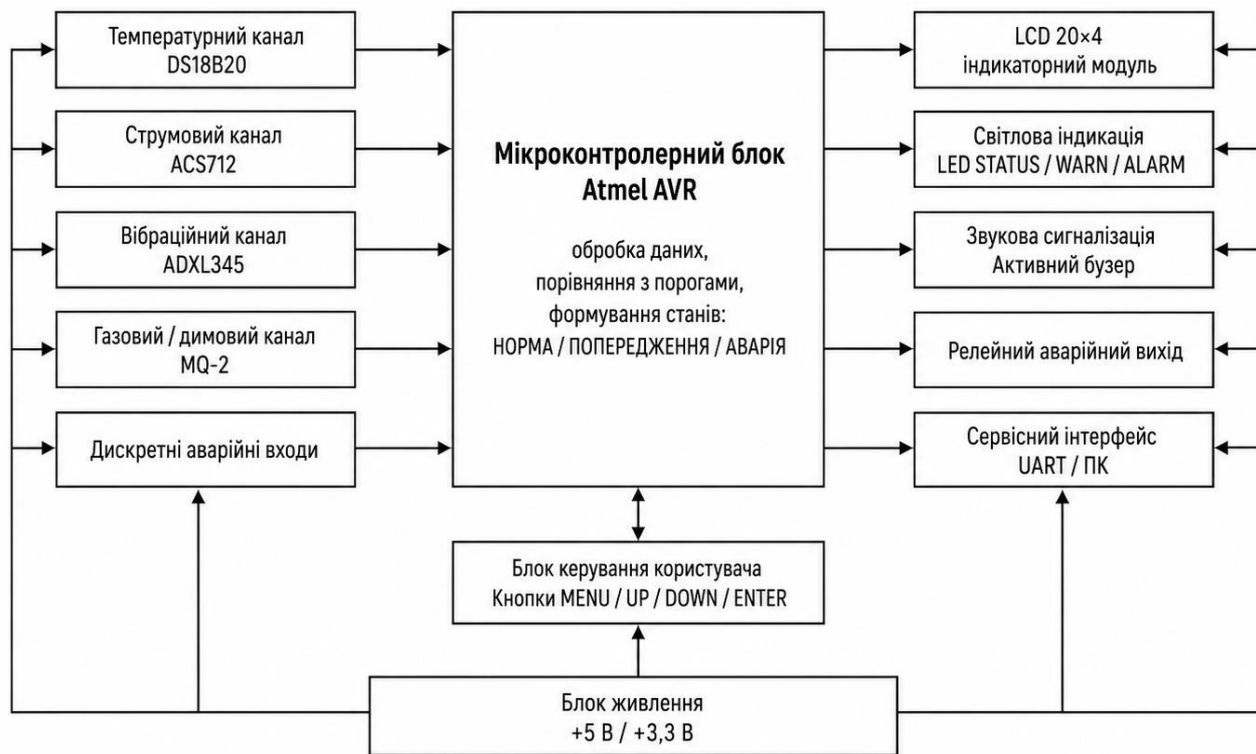


Рисунок 2.1 – Структурна схема автоматизованої системи контролю та сигналізації аварійних станів обладнання.

Вихідний рівень системи було поділено на інформаційний та аварійний. Інформаційний рівень реалізовано через LCD 20x4 з модулем PCF8574, на якому відображаються поточні параметри, стан каналів і причина тривоги. Аварійний рівень сформовано за допомогою LED-індикаторів, активного бузера та релейного виходу, що дозволяє привернути увагу оператора і передати сигнал на зовнішній пристрій.

Окремо в структурі було передбачено блок кнопок керування. Кнопки MENU, UP, DOWN, ENTER та АСК використовуються для перегляду режимів, переходу між екранами, підтвердження вибору й квітування звукового сигналу. При цьому квітування не скасовує саму причину аварії, а лише вимикає акустичне оповіщення, що відповідає логіці реальних систем сигналізації.

Дискретні аварійні входи було виділено в окремий функціональний блок, оскільки вони можуть мати вищий пріоритет, ніж вимірювальні канали. Через

ці входи до системи можуть підключатися зовнішні аварійні контакти, кінцеві вимикачі, термоконтакти або сигнали від інших захистів. У структурній схемі такий блок показує можливість інтеграції пристрою з реальним обладнанням.

Блок живлення було розглянуто як спільну основу роботи всіх вузлів. У системі використано шини +5 В і +3,3 В: перша забезпечує роботу мікроконтролера, дисплея, більшості сенсорів і вихідних елементів, друга потрібна для низьковольтних модулів.

Під час деталізації структурної схеми було прийнято рішення не об'єднувати всі сигнали в один умовний вимірювальний блок, а показати кожний канал окремо. Такий підхід зробив схему більш інформативною, оскільки температура, струм, вібрація, газові ознаки та дискретні аварійні входи мають різну фізичну природу, різний спосіб перетворення і різний пріоритет під час аналізу аварійної ситуації. У результаті структурна схема стала не лише загальною ілюстрацією пристрою, а й основою для подальшого вибору інтерфейсів, портів мікроконтролера та логіки програмного опитування.

Температурний канал у структурі було віднесено до групи повільно змінних параметрів. Його основне призначення полягає у виявленні перегріву корпусу, підшипникового вузла, електричної шафи або іншої контрольованої частини обладнання. Оскільки температура не змінюється миттєво, для цього каналу було передбачено періодичне опитування з подальшим порівнянням із порогоми попередження та аварії. Така логіка дозволяє уникнути надмірної реакції на випадкові одиничні зміни показів, але водночас забезпечує виявлення стійкого перегріву.

Струмовий канал у структурній схемі було розглянуто як канал швидшого реагування. Зміна струму споживання може виникати при перевантаженні механізму, заклинюванні, короткочасному пусковому режимі або порушенні нормальної роботи навантаження. Тому для цього каналу в структурній логіці передбачено не тільки зчитування аналогового значення, а й програмне розділення допустимого короткочасного відхилення та стійкого

					<i>КвРАКІТ. 022106.01.14.ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
						26
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

перевищення. Такий підхід робить систему придатною для контролю обладнання, коли пускові процеси не повинні трактуватися як аварія.

Вібраційний канал було введено в структуру як засіб оцінювання механічного стану обладнання. Його розміщення окремим блоком обґрунтовано тим, що механічні дефекти часто проявляються раніше, ніж відбувається значне зростання температури або струму. Акселерометр ADXL345 у структурній схемі виконує роль цифрового сенсорного вузла, який передає дані до мікроконтролера та може формувати сигнал переривання при перевищенні встановленого рівня. Завдяки цьому в алгоритмі можна реалізувати швидке реагування на удар, різку вібрацію або нестандартний механічний режим.

Газовий або димовий канал було передбачено як додатковий канал безпеки. Його включення до структурної схеми розширює функціональність пристрою від простого контролю електромеханічних параметрів до контролю потенційно небезпечного середовища. Для цього каналу було передбачено два інформаційні напрямки: аналогову оцінку рівня сигналу та дискретну ознаку перевищення порога. Такий поділ дозволяє програмі не тільки виявляти факт спрацювання модуля, а й аналізувати тенденцію зміни показника.

Дискретні аварійні входи в структурній схемі було винесено окремо від сенсорних каналів, оскільки вони не вимірюють фізичну величину, а передають готову логічну подію. До них можуть підключатися зовнішні контакти, термореле, кінцеві вимикачі, аварійні кнопки або сигнали від допоміжних захистів. У системі такі входи мають високий пріоритет, тому їх спрацювання може відразу переводити пристрій у стан аварії або вимагати підтвердження залежно від налаштувань. Це дозволяє використовувати розроблений пристрій як частину ширшого контуру безпеки.

Мікроконтролерний блок у структурній схемі було визначено як центральний вузол не тільки з погляду електричних з'єднань, а й з погляду прийняття рішень. Він виконує опитування сенсорів, перетворення аналогових

					<i>КвРАКІТ. 022106.01.14.ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		27

сигналів, обмін по цифрових інтерфейсах, обробку кнопок, формування повідомлень на дисплеї та керування вихідними сигналами. У структурній схемі це відображено тим, що всі інформаційні потоки сходяться до ATmega128A, а всі дії системи формуються вже після програмного аналізу даних, а не безпосередньо від датчиків.

Блок індикації було спроектовано дворівневим. Перший рівень забезпечує швидке сприйняття стану за допомогою світлодіодів і бузера, а другий рівень подає розширену текстову інформацію на LCD-дисплей. Така організація є практично доцільною: оператор може швидко побачити факт нормальної роботи, попередження або аварії, а після цього уточнити причину спрацювання за текстовим повідомленням. Релейний вихід у структурній схемі виконує окрему функцію - передавання аварійного стану на зовнішній пристрій або блокування контрольованого обладнання.

Сервісний UART-інтерфейс у структурі було передбачено для налагодження та контролю роботи пристрою під час випробувань. Через цей канал можна передавати значення параметрів, стани каналів, повідомлення про помилки, результати самодіагностики та службову інформацію. Наявність такого інтерфейсу підвищує практичну цінність системи, оскільки дозволяє перевіряти правильність алгоритму без зміни основної схеми та без обов'язкового підключення до складної промислової мережі.

Загальний аналіз структурної схеми показав, що всі блоки мають чітко визначене функціональне призначення. Вимірювальні канали формують інформацію про стан обладнання, мікроконтролер виконує аналіз і прийняття рішення, індикаторні вузли повідомляють оператора, релейний вихід передає аварійний сигнал зовнішній системі, а блок живлення забезпечує необхідні електричні режими. Така побудова усуває невизначеність між окремими частинами пристрою та створює логічну основу для розробки принципової електричної схеми.

					<i>КвРАКІТ. 022106.01.14.ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
						28
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

Отже, структурна схема була побудована як завершена функціональна модель пристрою. Вона логічно пов'язує результати аналітичного огляду з подальшим вибором елементної бази й показує, яким чином окремі вимірювальні, індикаторні, керуючі та виконавчі вузли працюють у складі єдиної автоматизованої системи.

2.2 Вибір та аналіз елементної бази

При виборі програмованого елемента було порівняно мікроконтролери родини Atmel AVR: ATmega32A, ATmega64A та ATmega128A. Критеріями оцінювання стали кількість ліній введення-виведення, обсяг Flash-пам'яті, SRAM та EEPROM, наявність АЦП, апаратних інтерфейсів, таймерів, а також можливість одночасного підключення дисплея, сенсорів, кнопок, світлодіодів, бузера, реле й сервісного UART-каналу.

ATmega32A було розглянуто як доступний базовий варіант для нескладних пристроїв керування. Його ресурсів достатньо для простої системи з кількома входами та індикацією, однак для розроблюваного пристрою такий запас є обмеженим. Наявність LCD-дисплея, кількох сенсорних каналів, меню, аварійної логіки, EEPROM-збереження параметрів і сервісного обміну потребує більшої кількості портів та пам'яті.

ATmega64A було визначено як проміжне рішення з кращим запасом ресурсів. Цей контролер дозволяє реалізувати багатоканальний пристрій середньої складності, проте в роботі було прийнято рішення не обмежувати подальше розширення системи. Для аварійного контролю важливо мати резерв не тільки на базову програму, а й на додаткові режими, сервісні екрани, журнал останньої події та самодіагностику.

Основним мікроконтролером було обрано ATmega128A. Він має 128 КБ Flash-пам'яті, 4 КБ SRAM, 4 КБ EEPROM, 53 лінії введення-виведення, апаратні інтерфейси USART, SPI, TWI та 8-канальний 10-бітний АЦП. Такий

					<i>КвРАКІТ. 022106.01.14.ПЗ</i>	Арк.
						29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

набір ресурсів забезпечив можливість підключення температурного, струмового, вібраційного й газового каналів, LCD 20x4 через PCF8574, кнопок, LED-індикації, активного бузера, релейного виходу та сервісного інтерфейсу без дефіциту портів.

Таким чином, у схемі застосовано ATmega128A як центральний програмований елемент, рисунок 2.2. Його вибір обґрунтовано не тільки кількістю портів, а й загальною придатністю до реалізації повноцінної аварійної логіки: циклічного опитування каналів, порівняння з порогоми, квітування, EEPROM-збереження налаштувань, сервісного обміну та подальшого розширення функцій.




					
Технічні характеристики		Технічні характеристики		Технічні характеристики	
Тип	8-бітний AVR мікроконтролер	Тип	8-бітний AVR мікроконтролер	Тип	8-бітний AVR мікроконтролер
Flash	32 КБ	Flash	64 КБ	Flash	128 КБ
SRAM	2 КБ	SRAM	4 КБ	SRAM	4 КБ
EEPROM	1 КБ	EEPROM	2 КБ	EEPROM	4 КБ
GPIO	32	GPIO	53	GPIO	53
ADC	8 каналів, 10 біт	ADC	8 каналів, 10 біт	ADC	8 каналів, 10 біт
Тактова частота	до 16 МГц	USART	2	USART	2
Напруга живлення	2.7–5.5 В	Тактова частота	до 16 МГц	Тактова частота	до 16 МГц
Корпус	до 44 виводів	Напруга живлення	2.7–5.5 В	Напруга живлення	2.7–5.5 В
		Корпус	до 64 виводів	Корпус	до 64 виводів

Рисунок 2.2 – Зовнішній вигляд мікроконтролерів ATmega32A, ATmega64A та ATmega128A.

Температурний канал було реалізовано на базі DS18B20, рисунок 2.3. Цей цифровий 1-Wire сенсор обрано через просте підключення, достатню точність і можливість розміщення вимірювальної точки на відстані від основної плати.

Для аварійної системи це важливо, оскільки контрольований вузол не завжди зручно розташований поруч із мікроконтролерною частиною.

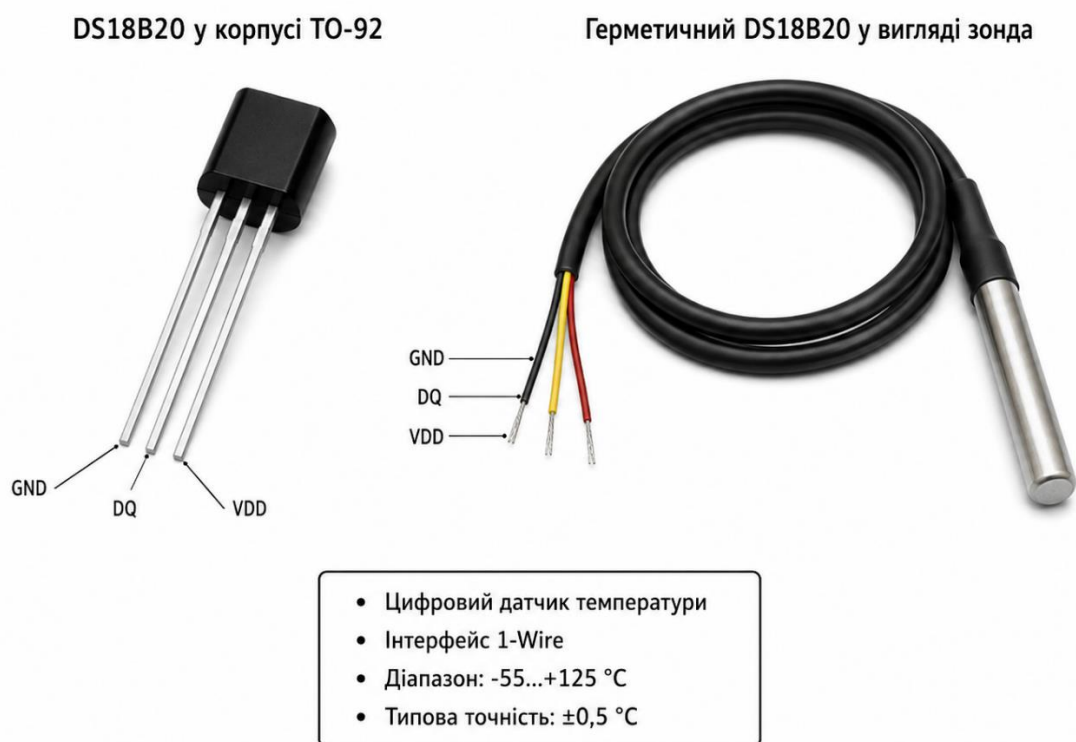


Рисунок 2.3 – Зовнішній вигляд датчика DS18B20.

Струмний канал було побудовано на датчику ACS712, рисунок 2.4. Його використання дозволило отримати аналоговий сигнал, пропорційний струму навантаження, і подати його на вхід АЦП мікроконтролера. Такий підхід добре демонструє перетворення електричної величини в сигнал, придатний для подальшої програмної обробки та порогового аналізу [23-25].

Вібраційний канал було реалізовано з використанням цифрового акселерометра ADXL345, рисунок 2.5, а для виявлення газових або димових ознак застосовано модуль MQ-2. ADXL345 обрано як більш інформативне рішення порівняно з простим контактним датчиком вібрації, оскільки він дозволяє оцінювати механічні коливання у трьох осях. MQ-2, зображено на рисунку 2.6, використано як додатковий канал виявлення небезпечних середовищ або ознак перегріву.

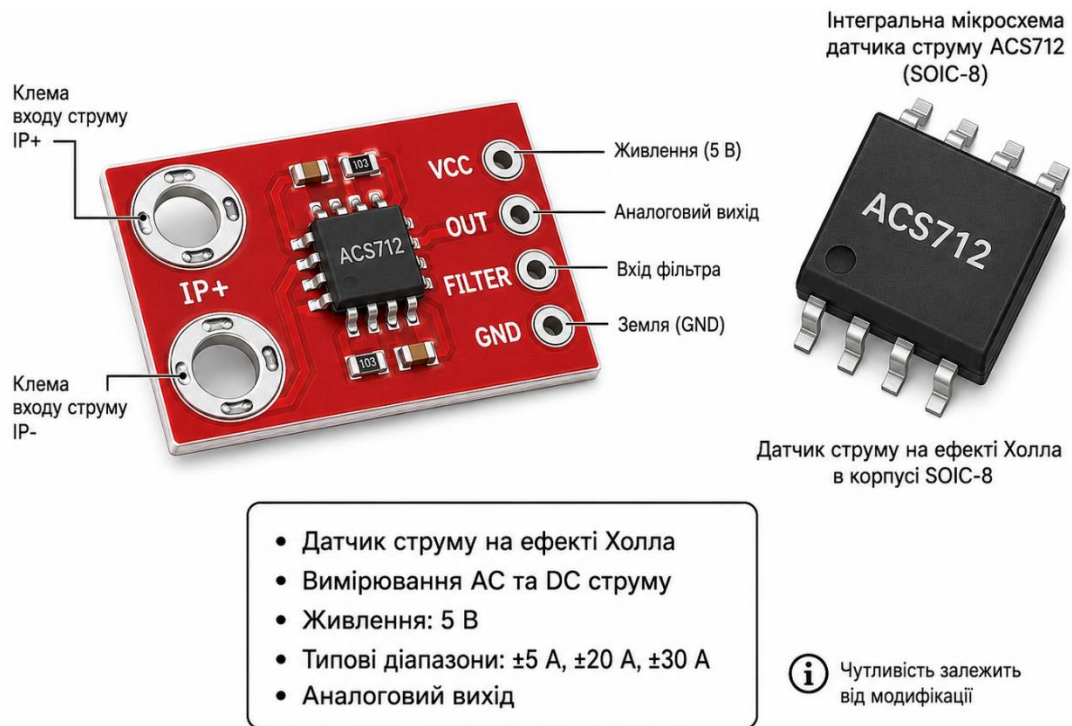


Рисунок 2.4 – Зовнішній вигляд датчика струму ACS712.

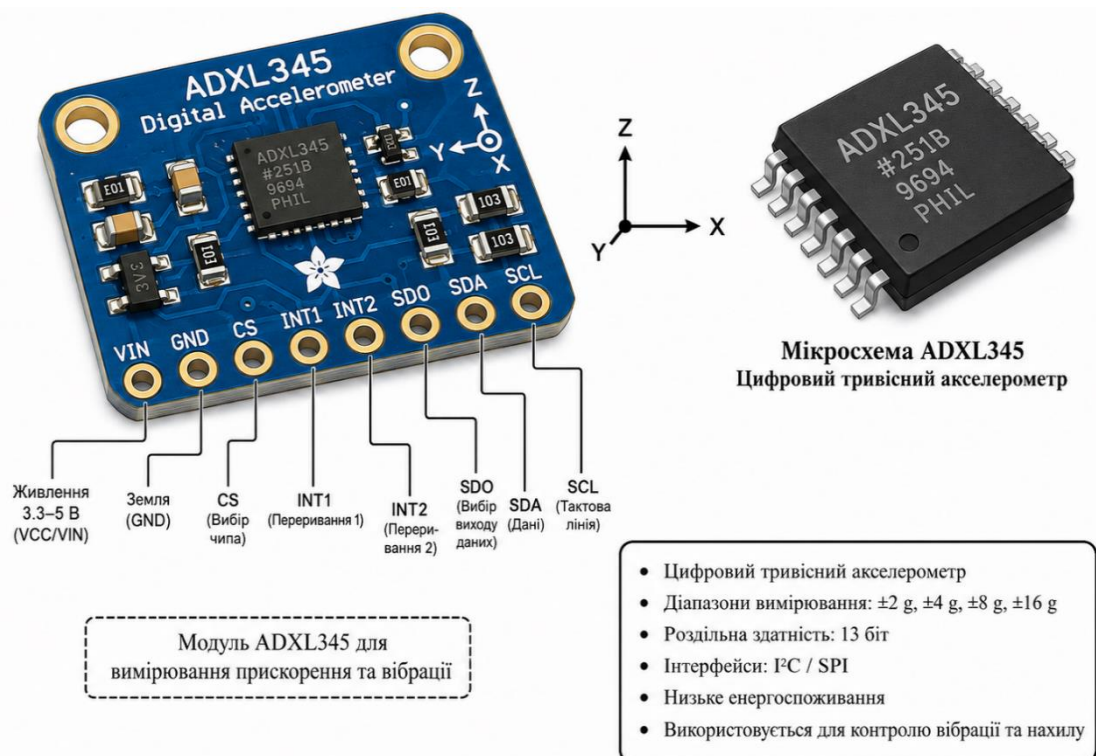


Рисунок 2.5 – Зовнішній вигляд цифрового акселерометра ADXL345.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата



Рисунок 2.6 – Зовнішній вигляд датчика MQ-2.

Для локального відображення інформації було обрано LCD 20x4 з модулем PCF8574. Застосування I²C-адаптера зменшило кількість зайнятих виводів ATmega128A і дозволило залишити більше портів для сенсорів, кнопок та вихідних сигналів, рисунок 2.7. Такий дисплей забезпечує достатньо місця для виведення параметрів, статусів каналів і причини активної тривоги.

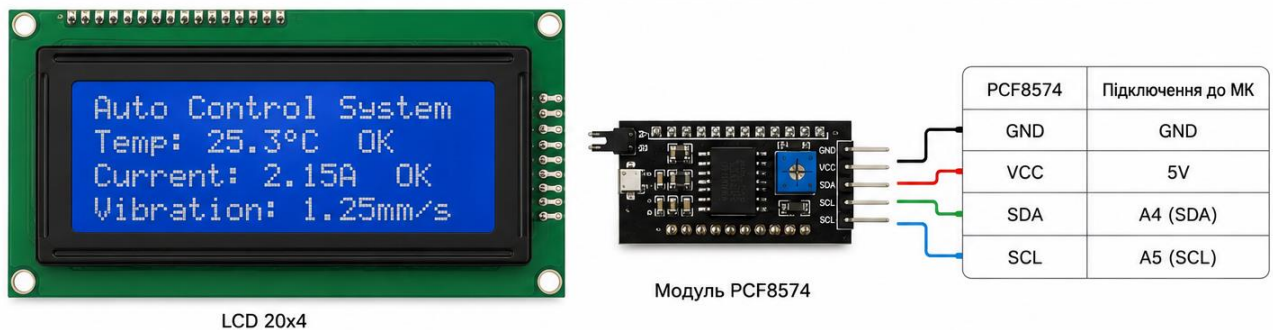


Рисунок 2.7 – Зовнішній вигляд LCD 20x4 з модулем PCF8574.

Світлозвукову сигналізацію було реалізовано за допомогою окремих LED-індикаторів і активного бузера. Для аварійного впливу на зовнішній об'єкт у схемі передбачено релейний вихід, керований через транзисторний ключ. Блок живлення сформовано на стабілізованих шинах +5 В і +3,3 В з

фільтрувальними конденсаторами, що забезпечує сумісність усіх вузлів системи [26-29].

У результаті елементну базу було сформовано як узгоджений набір модулів, а не як випадковий перелік деталей. АТmega128А виконує роль центрального вузла, сенсори забезпечують різні типи вимірювання, дисплей і індикація формують людино-машинний інтерфейс, а драйвери й реле створюють можливість реальної аварійної реакції.

Вибір елементів було підпорядковано логіці всієї системи. Кожний компонент оцінювався через його функцію в структурі пристрою, сумісність із сусідніми вузлами та вплив на надійність. Завдяки цьому апаратна частина набула цілісності: температурний, струмовий, вібраційний і газовий канали доповнюють один одного, а вихідні засоби сигналізації забезпечують зрозумілу реакцію на виявлену подію.

Окрім основних модулів, у схемі було передбачено допоміжні елементи: підтягувальні резистори, резистори світлодіодних ланцюгів, фільтрувальні конденсатори, вузол RESET, кварцовий резонатор, роз'єми для датчиків, сервісного UART та живлення. Саме ці елементи забезпечують практичну завершеність принципової схеми й роблять її придатною для подальшого макетування.

Блок живлення було прийнято як один із критичних вузлів системи. Нестабільність напруги в аварійному пристрої може призвести до хибного спрацювання або зависання контролера, тому в схемі застосовано вхідні й вихідні фільтрувальні конденсатори та стабілізатор AMS1117-3.3 для формування шини +3,3 В. Така організація дозволила забезпечити живлення як 5-вольтових, так і низьковольтних модулів.

Вихідні навантаження було підключено через транзисторні ключі на BC547. Таке рішення зменшує струмове навантаження на порти АТmega128А і дозволяє надійно керувати активним бузером та релеюною котушкою. Для реле

					<i>КвРАКІТ. 022106.01.14.ПЗ</i>	Арк.
						34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

додано захисний діод 1N4007, який шунтує імпульс самоіндукції під час вимкнення котушки.

LCD 20x4 у системі використано не тільки для відображення числових значень, а й для пояснення причини спрацювання. На ньому можуть відображатися повідомлення про перегрів, перевантаження, аномальну вібрацію, активний газовий канал або спрацювання зовнішнього аварійного контакту. Це робить пристрій більш зручним для оператора, ніж система з одними світлодіодами.

ADXL345 було обрано як сенсор із резервом можливостей. У межах цієї роботи він використовується для виявлення небезпечної вібрації, однак його цифровий інтерфейс і тривісне вимірювання залишають можливість подальшого розширення алгоритму. За потреби система може перейти від простої порогової логіки до складнішого аналізу механічного стану.

ACS712 було застосовано як зручний для макетування струмовий датчик, що формує напругу, придатну для вимірювання АЦП. DS18B20, у свою чергу, забезпечив простий і надійний цифровий температурний канал. Поєднання цих сенсорів із дискретними аварійними входами дозволило отримати збалансовану систему контролю, у якій електричні, теплові, механічні та логічні ознаки безпеки аналізуються спільно.

2.3 Розробка принципової електричної схеми

Принципову електричну схему було розроблено як практичну реалізацію структурної схеми. Центральним елементом схеми прийнято ATmega128A. До нього підключено DS18B20 по лінії TEMP_1Wire, ACS712 по аналоговому входу CURR_ADC, ADXL345 через I²C-лінії та сигнал VIB_INT1, MQ-2 через сигнали GAS_ADC і GAS_DO, LCD 20x4 з PCF8574 по шині I²C, кнопки керування, LED-індикатори, активний бужер, релейний вихід і сервісний UART.

					<i>КвРАКІТ. 022106.01.14.ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		35

На рисунку 2.9 наведено принципову електричну схему розробленої системи. Для зручності читання застосовано іменовані електричні кола: TEMP_1Wire, CURR_ADC, I2C_SDA, I2C_SCL, GAS_ADC, GAS_DO, VIB_INT1, DIN_FAULT1–DIN_FAULT3, LED_STATUS, LED_WARN, LED_ALARM, LED_COMM, BUZZER_CTRL, RELAY_ALARM, DEBUG_RX і DEBUG_TX. Завдяки цьому зв'язки між модулями однозначно простежуються без перевантаження креслення довгими лініями.

Температурний датчик DS18B20 було підключено до шини +5 В, землі та однопровідної лінії TEMP_1Wire. Для коректної роботи 1-Wire-інтерфейсу застосовано підтягувальний резистор 4,7 кОм до +5 В. Такий вузол забезпечує цифрове передавання температури до мікроконтролера і не потребує аналогового узгодження.

Струмовий датчик ACS712 було включено у розрив контрольованого силового кола через виводи IP+ та IP-. Його сигнальний вихід OUT підключено до кола CURR_ADC, яке надходить на вхід АЦП ATmega128A. Таким чином, вимірюваний струм перетворюється на напругу, що далі аналізується програмно.

Акселерометр ADXL345 було підключено як цифровий вібраційний сенсор. Його живлення виконано від шини +3,3 В, а сигнали SDA та SCL передано через вузол узгодження рівнів до I²C-шини мікроконтролера. Лінію INT1 використано як сигнал швидкого повідомлення про вібраційну подію. Вивід CS зафіксовано для режиму I²C, а SDO використано для вибору адреси пристрою.

Газовий або димовий датчик MQ-2 було підключено до шини +5 В. Аналоговий вихід AO заведено на коло GAS_ADC, а дискретний вихід DO - на коло GAS_DO. Такий спосіб підключення дозволяє використовувати як плавну оцінку рівня газового сигналу, так і швидко ознаку перевищення порога, сформовану модулем.

Три дискретні аварійні входи було виведено на окремі двополюсні роз'єми. Кожний роз'єм має сигнальне коло DIN_FAULT1, DIN_FAULT2 або DIN_FAULT3 та загальний провід. Таке рішення дозволяє підключити зовнішні

					<i>КвРАКІТ. 022106.01.14.ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
						36
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

аварійні контакти, кінцеві вимикачі або сигнали допоміжних захистів без зміни основної схеми.

Дисплей LCD 20x4 з модулем PCF8574 було підключено до шини +5 В, землі та спільних ліній I2C_SDA і I2C_SCL. Використання PCF8574 зменшило кількість зайнятих виводів мікроконтролера й забезпечило можливість виведення текстових повідомлень про стан системи, активний канал і причину тривоги.

Світлодіодну індикацію було виконано на чотирьох лініях: LED_STATUS, LED_WARN, LED_ALARM і LED_COMM. Кожний світлодіод підключено через послідовний резистор 470 Ом. Активний буюер підключено через транзистор BC547 з базовим резистором 1 кОм і резистором 10 кОм на землю. Таке рішення забезпечує керування звуковою сигналізацією без перевантаження порту мікроконтролера.

Релейний аварійний вихід було реалізовано через транзисторний ключ на BC547. Коло RELAY_ALARM керує базою транзистора через резистор 1 кОм, база додатково підтягнута до землі резистором 10 кОм, емітер підключено до землі, а колектор - до котушки реле. Паралельно котушці встановлено діод 1N4007 для захисту від імпульсу самоіндукції. Контакти реле виведено на роз'єм COM, NO, NC.

Сервісний UART-інтерфейс було виведено на окремий чотириконтактний роз'єм із лініями DEBUG_RX, DEBUG_TX, GND і +5 В. Цей вузол використовується для налагодження, передавання телеметрії, контролю поточних параметрів та фіксації службових повідомлень під час перевірки програми.

Блок живлення було побудовано на основі вхідного роз'єму +5 В і стабілізатора AMS1117-3.3. На вході та виході стабілізатора встановлено конденсатори 10 мкФ і 100 нФ. У результаті в схемі сформовано дві робочі шини: +5 В для мікроконтролера, дисплея, більшості сенсорів і виконавчих вузлів та +3,3 В для акселерометра ADXL345 і низьковольтної частини I²C.

У принциповій схемі було враховано різну природу сигналів. Аналогові виходи ACS712 і MQ-2 спрямовано на входи АЦП, цифрові сенсори та дисплей

					<i>КвРАКІТ. 022106.01.14.ПЗ</i>	Арк.
						37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

підключено через відповідні інтерфейси, а виконавчі навантаження винесено через ключові транзистори. Такий розподіл зменшує взаємний вплив каналів і підвищує надійність роботи системи.

Під час опрацювання схеми було також враховано ремонтпридатність і зручність налагодження. Роз'єми сенсорів, підписані сигнальні кола, сервісний UART, окремі шини живлення та зрозуміле позначення вихідних вузлів спрощують перевірку плати, пошук несправностей і подальше макетування пристрою.

Під час розроблення принципової схеми було прийнято рішення побудувати її за модульним принципом. Кожний функціональний вузол отримав власну зону підключення, а взаємодія з мікроконтролером виконана через підписані електричні кола. Це зроблено для того, щоб схема залишалася читабельною навіть при значній кількості сигналів. Такий підхід особливо важливий для багатоканальної системи, у якій одночасно використовуються аналогові входи, цифрові інтерфейси, дискретні входи, вихідні ключі та шини живлення.

Мікроконтролер ATmega128A у принциповій схемі було показано з усіма задіяними портами та службовими виводами. Для живлення цифрової частини використано виводи VCC і GND, для аналогової частини враховано AVCC, AGND та AREF. Таке схемне оформлення дозволило відокремити логіку підключення периферії від обов'язкових службових кіл мікроконтролера. Вивід AREF було доповнено конденсатором до землі, що відповідає вимогам стабільної роботи АЦП при зчитуванні аналогових сигналів від ACS712 та MQ-2.

Для запуску мікроконтролера було застосовано окремий вузол RESET. У схемі передбачено підтягування входу RESET до шини +5 В через резистор, конденсатор на землю для формування короткої затримки під час подачі живлення та кнопку ручного скидання. Завдяки цьому після ввімкнення живлення мікроконтролер переходить у визначений початковий стан, а під час налагодження оператор може виконати повторний запуск програми без вимикання живлення всього пристрою.

					<i>КвРАКІТ. 022106.01.14.ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
						38
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

Тактовий вузол було реалізовано на кварцовому резонаторі, підключеному до виводів XTAL1 і XTAL2. До обох виводів кварца додано конденсатори на землю. Це рішення забезпечує стабільну частоту роботи мікроконтролера, що важливо для коректної роботи UART, I²C-обміну, часових затримок, антидребезгу кнопок, підтвердження аварійних подій та періодичного опитування сенсорів. Таким чином, вузол тактування безпосередньо впливає не тільки на швидкодію, а й на часову правильність алгоритму.

Температурний канал на DS18B20 було виконано як цифровий однопровідний вузол. Його вивід DQ з'єднано з колом TEMP_1Wire, а це коло підтягнуто до +5 В резистором 4,7 кОм. Таке рішення забезпечує коректне формування логічних рівнів на шині 1-Wire і дозволяє передавати цифрові температурні дані без аналогового перетворення. Вибір такого способу підключення зменшує вплив шумів порівняно з аналоговими температурними датчиками та спрощує програмну інтерпретацію результату.

Струмовий канал на ACS712 було оформлено з урахуванням розділення силової та сигнальної частин. Виводи IP+ та IP- підключаються через двополіусний роз'єм у розрив контрольованого силового контуру, а сигнальний вивід OUT передає напругу на коло CURR_ADC. Це коло заведено на аналоговий вхід мікроконтролера. У такій конфігурації силовий струм не проходить через плату керування безпосередньо до мікроконтролера, а перетворюється модулем ACS712 у безпечний аналоговий сигнал для АЦП.

Вузол ADXL345 було реалізовано як низьковольтний цифровий сенсорний блок. Оскільки акселерометр працює від шини +3,3 В, а основна логіка мікроконтролера живиться від +5 В, для ліній I²C було передбачено узгодження рівнів. У схемі окремо показано сигнали I2C_SDA_3V3 та I2C_SCL_3V3, які через перетворювач рівнів пов'язуються із загальною I²C-шиною мікроконтролера. Таке рішення захищає акселерометр від перевищення допустимих логічних рівнів і забезпечує надійний цифровий обмін.

Для ADXL345 також було передбачено службові сигнали CS, SDO, INT1

					<i>КвРАКІТ. 022106.01.14.ПЗ</i>	Арк.
						39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

та INT2. Вивід CS зафіксовано у стані, який відповідає роботі по I²C, а SDO використано для вибору адреси пристрою. Сигнал INT1 заведено на окреме коло VIB_INT1, що дозволяє мікроконтролеру швидко реагувати на вібраційну подію без постійного частого опитування сенсора. Вивід INT2 залишено як резервний, що підвищує можливості подальшого розширення алгоритму.

Газовий або димовий модуль MQ-2 у схемі отримав два незалежні інформаційні виходи. Аналоговий сигнал АО підключено до кола GAS_ADC і використано для оцінювання рівня газового сигналу за допомогою АЦП. Дискретний вихід DO підключено до кола GAS_DO і може застосовуватися як готова ознака перевищення порога, сформована компаратором модуля. Таке дублювання інформації є корисним, оскільки дозволяє поєднати плавний контроль параметра з швидким логічним спрацюванням.

Дискретні аварійні входи було реалізовано через окремі двополюсні роз'єми. Для кожного входу передбачено сигнальне коло DIN_FAULT1, DIN_FAULT2 або DIN_FAULT3 та загальний провід. Таке схемне рішення робить підключення зовнішніх контактів простим і зрозумілим. У подальшій програмній логіці ці входи можуть оброблятися з внутрішніми підтягувальними резисторами, фільтрацією брязкоту контактів і часовим підтвердженням спрацювання.

Вузол LCD 20x4 з модулем PCF8574 було підключено до спільної I²C-шини. Завдяки цьому для керування дисплеєм використано лише дві сигнальні лінії: I2C_SDA та I2C_SCL. Це дозволило зекономити порти ATmega128A і залишити їх для сенсорів, кнопок та вихідних сигналів. Дисплей живиться від +5 В, що узгоджується з логікою PCF8574 та основною напругою мікроконтролера. У схемі цей блок виконує роль основного засобу текстового пояснення поточного стану системи.

Кнопки керування було підключено за однаковою схемою: один контакт кожної кнопки з'єднано з відповідним сигнальним колом, а другий - із землею. У програмі для цих входів передбачається використання підтягування до логіч-

					<i>КвРАКІТ. 022106.01.14.ПЗ</i>	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ної одиниці, тому натискання кнопки формує активний нуль. Таке рішення зменшує кількість зовнішніх резисторів, спрощує схему та добре узгоджується з програмним антидребезгом. Кнопка АСК отримала окреме значення, оскільки використовується для квітування звукової сигналізації без скасування причини аварії.

Світлодіодну індикацію було виконано через послідовні резистори 470 Ом, які обмежують струм кожного світлодіода. Окремі кола LED_STATUS, LED_WARN, LED_ALARM та LED_COMM дають змогу візуально розділити нормальний режим, попередження, аварію та активність обміну або сервісного режиму. Така організація індикації дозволяє оператору швидко оцінити стан пристрою навіть без читання інформації на дисплеї.

Активний буюер і реле було підключено не безпосередньо до портів мікроконтролера, а через транзисторні ключі на BC547. Це рішення було застосовано для захисту виходів ATmega128A від перевищення допустимого струму. У кожному ключі використано базовий резистор 1 кОм і резистор 10 кОм до землі, який гарантує вимкнений стан транзистора при невизначеному рівні керуючого сигналу. Для реле додатково встановлено діод 1N4007 паралельно котушці, що захищає транзистор від імпульсу самоіндукції при вимиканні.

Сервісний UART-роз'єм було виконано чотириконтактним. До нього виведено DEBUG_RX, DEBUG_TX, GND та +5 В. Це дозволяє підключити USB-UART перетворювач для налагодження програми, перегляду телеметрії та контролю службових повідомлень. У схемі цей вузол не бере участі у формуванні аварійного стану безпосередньо, однак значно полегшує перевірку правильності роботи алгоритму під час макетування та випробувань.

Блок живлення було реалізовано як окремий функціональний вузол із формуванням двох напруг: +5 В і +3,3 В. На вході та виході стабілізатора AMS1117-3.3 встановлено електrolітичні та керамічні конденсатори, що забезпечує фільтрацію низькочастотних і високочастотних завад. Шина +5 В використовується для живлення мікроконтролера, дисплея, DS18B20, ACS712,

					<i>КвРАКІТ. 022106.01.14.ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		41

Отже, принципова електрична схема стала логічним продовженням структурної схеми. Вона забезпечує коректний шлях проходження кожного сигналу: від фізичного параметра через сенсор до ATmega128A, від мікроконтролера – до індикації, звукового оповіщення, релейного виходу та сервісного інтерфейсу. Така побудова підтверджує внутрішню узгодженість апаратної частини роботи.

Поглиблений аналіз принципової схеми показав, що в ній реалізовано чітке розділення за типами сигналів. Аналогові канали заведено на входи АЦП, цифрові сенсори підключено через 1-Wire та I²C, дискретні сигнали використано як логічні входи, а навантаження винесено на транзисторні драйвери. Така структура зменшує ризик помилкового підключення, полегшує пошук несправностей і забезпечує логічну відповідність між електричною схемою та алгоритмом програми.

2.4 Висновки до другого розділу

У другому розділі було сформовано завершену апаратну основу автоматизованої системи контролю та сигналізації аварійних станів обладнання. На основі вимог, визначених у першому розділі, було розроблено структурну схему пристрою, визначено склад основних функціональних блоків, виконано вибір елементної бази та побудовано принципову електричну схему. Це дозволило перейти від загальної концепції системи до конкретного схемотехнічного рішення, у якому кожен функціональний вузол має визначене призначення, електричні зв'язки та роль у загальній логіці роботи пристрою.

Розроблена структурна схема показала, що система побудована за централізованим принципом, у якому всі вимірювальні, керуючі та індикаторні сигнали сходяться до мікроконтролерного блока.

У якості центрального програмованого елемента було застосовано мікроконтролер ATmega128A, його вибір обґрунтовано достатнім запасом ліній

					<i>КвРАКІТ. 022106.01.14.ПЗ</i>	Арк.
						43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

введення-виведення, наявністю вбудованого АЦП, підтримкою цифрових інтерфейсів, можливістю роботи з дискретними входами та достатнім обсягом пам'яті для реалізації алгоритму контролю, сервісної логіки й індикації станів системи. Порівняно з простішими мікроконтролерами, ATmega128A забезпечує кращий резерв для подальшого розширення пристрою.

Принципова електрична схема деталізувала всі з'єднання між модулями системи. У ній було показано підключення мікроконтролера, схеми RESET, кварцового резонатора, сенсорних модулів, блока кнопок, дисплея, світлодіодної індикації, активного бузера, релейного аварійного виходу, сервісного UART-інтерфейсу та блока живлення. Для живлення пристрою було передбачено шину +5 В і стабілізатор AMS1117-3.3 для формування напруги +3,3 В, необхідної для окремих низьковольтних вузлів.

Подібне рішення дозволяє виконувати стабільне узгодження модулів з різними вимогами до живлення та забезпечити стабільну роботу цифрової й аналогової частин не виходячи за допустимі межі навантаження контролера та не перегріваючи його.

Важливим результатом другого розділу стало те, що в апаратній частині було реалізовано не лише вимірювання параметрів, а й можливість активної реакції системи на аварійний стан. Для цього в схемі передбачено релейний аварійний вихід, який може використовуватися для передавання сигналу на зовнішню систему, блокування обладнання або ввімкнення додаткової сигналізації. Керування реле виконано через транзисторний ключ на BC547 із захисним діодом 1N4007, що забезпечує безпечне комутування індуктивного навантаження та захист мікроконтролера від імпульсів самоіндукції.

Отже, у другому розділі було виконано повний етап схемотехнічного проектування автоматизованої системи контролю та сигналізації аварійних станів обладнання. Було сформовано структурну схему, обрано елементну базу, визначено призначення основних сигналів і побудовано принципову електричну схему. Розроблена апаратна архітектура забезпечує контроль

					<i>КвРАКІТ. 022106.01.14.ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		44

температури, струму, вібрації, газових або димових ознак, а також дискретних аварійних входів. Наявність LCD-дисплея, кнопок, світлодіодної та звукової індикації, сервісного UART і релейного виходу робить систему функціонально завершеною. Це створило необхідну основу для переходу до третього розділу, у якому розглядається алгоритм роботи програми та програмна реалізація керування пристроєм.

					<i>КвРАКІТ. 022106.01.14.ПЗ</i>	Арк.
						45
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

3 РОЗРОБКА ПРОГРАМИ КЕРУВАННЯ МІКРОКОНТРОЛЕРОМ

3.1 Створення алгоритму роботи пристрою

У третьому розділі було розроблено алгоритм роботи програми керування мікроконтролером ATmega128A. Алгоритм узгоджено з принциповою електричною схемою: у ньому передбачено роботу з температурним датчиком DS18B20, струмовим каналом ACS712, акселерометром ADXL345, газовим датчиком MQ-2, дискретними аварійними входами, LCD 20x4, кнопками, світлодіодами, бузером, реле та сервісним UART.

Після подачі живлення програма виконує ініціалізацію мікроконтролера, портів введення-виведення, АЦП, інтерфейсу 1-Wire, I²C-шини, UART, дисплея, службових прапорців і початкових значень порогів. Окремо задаються режими виводів LED_STATUS, LED_WARN, LED_ALARM, LED_COMM, BUZZER_CTRL і RELAY_ALARM, а також входів кнопок і дискретних аварійних контактів.

Після ініціалізації було передбачено короткий етап самоперевірки. Програма контролює наявність цифрових модулів, перевіряє коректність відповідей сенсорів і встановлює початкові статуси каналів. Якщо виявлено помилку зв'язку або недопустимий сигнал, система формує службове повідомлення і не сприймає несправний канал як нормальний стан.

Основний цикл роботи було побудовано як послідовне опитування каналів. Спочатку зчитується температура з DS18B20, далі обробляється аналоговий сигнал струму з ACS712, після цього перевіряються значення або події від ADXL345, аналізується газовий канал MQ-2 та стан дискретних входів DIN_FAULT1–DIN_FAULT3. Така послідовність відповідає електричній структурі пристрою.

Після зчитування параметрів виконується їх програмна обробка. Для аналогових каналів застосовано усереднення або фільтрацію, для цифрових каналів перевіряється коректність даних, а для дискретних входів передбачено

					<i>КвРАКІТ. 022106.01.14.ПЗ</i>	Арк.
						46
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

антидребезг і підтвердження активного стану. Це зменшує ймовірність хибних спрацювань від завад, пускових процесів або одиничних імпульсів.

На наступному етапі алгоритм порівнює отримані значення з попереджувальними та аварійними порогоми. Якщо параметр наближається до небезпечної межі, формується попередження. Якщо поріг аварії перевищено або активовано зовнішній аварійний контакт, встановлюється аварійний стан. Комбінації ознак, наприклад одночасне зростання струму й температури, можуть підвищувати пріоритет події.

Для кожного стану було визначено окрему реакцію. У нормальному режимі активується LED_STATUS, інші тривожні виходи залишаються вимкненими. У режимі попередження вмикається LED_WARN і на дисплей виводиться службове повідомлення. В аварійному режимі активуються LED_ALARM, бужер і релейний вихід, а на LCD подається причина спрацювання.

Окремо в алгоритм було введено квітування тривоги. Натискання кнопки АСК вимикає звуковий сигнал, але не скасовує аварійний стан, якщо причина не зникла. Світлова індикація, текстове повідомлення та релейний вихід залишаються активними відповідно до логіки безпеки. Такий підхід узгоджується з практикою реальних систем аварійної сигналізації.

Алгоритм було побудовано як автомат станів. У ньому виділено режими ініціалізації, нормальної роботи, попередження, аварії, квітованої аварії та сервісного меню. Це дозволило чітко визначити умови переходів між режимами й уникнути ситуації, коли система випадково повертається до норми без усунення причини тривоги.

Сервісний режим було включено в алгоритм без зупинки основного контролю. Під час перегляду меню, зміни порогів або перевірки службових екранів система продовжує опитувати сенсори. Якщо виникає критична подія, аварійне повідомлення має пріоритет над сервісною інформацією.

					<i>КвРАКІТ. 022106.01.14.ПЗ</i>	Арк.
						47
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

Для зменшення хибних тривог було застосовано часове підтвердження подій. Температурний канал аналізується з урахуванням інерційності, струмовий канал -із помірним усередненням, вібраційний канал -із перевіркою повторюваності або інтенсивності події, а дискретні аварійні входи -з мінімальною затримкою після підтвердження стабільного рівня.

Отже, створений алгоритм не зводиться до простого порівняння показів із порогоми. Він враховує різну природу контрольованих параметрів, пріоритети безпеки, самодіагностику, квітування, сервісну взаємодію та необхідність стабільної роботи в циклічному режимі [36-40].

3.2 Розробка блок-схеми алгоритму роботи програми

Блок-схему алгоритму було розроблено для наочного подання послідовності роботи програми. Вона починається з подачі живлення, скидання системи, ініціалізації ATmega128A, налаштування портів, АЦП, 1-Wire, I²C, UART, таймера, дисплея та службових змінних. Після цього виконується самодіагностика і перехід до основного циклу контролю.

У межах основного циклу на блок-схемі показано зчитування температури з DS18B20, струму з ACS712, рівня газу або диму з MQ-2, даних вібрації з ADXL345 і дискретних аварійних входів. Далі дані проходять фільтрацію, перевірку достовірності та порівняння з установленими порогоми.

Ключовими розгалуженнями блок-схеми стали перевірки наявності попередження, аварії та натискання кнопки АСК. Якщо аварійний стан не підтверджено, система переходить до нормального режиму або попередження. Якщо аварія підтверджена, вмикаються LED_ALARM, активний бузер, релейний вихід і формується повідомлення для LCD та UART.

У блок-схемі окремо показано, що квітування не повертає систему до нормального режиму, рисунок 3.1. Воно лише вмикає звуковий сигнал, а аварійний статус зберігається до усунення причини. Завдяки цьому блок-схема

					<i>КвРАКІТ. 022106.01.14.ПЗ</i>	Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

відображає не тільки технічну послідовність команд, а й правильну експлуатаційну поведінку пристрою.

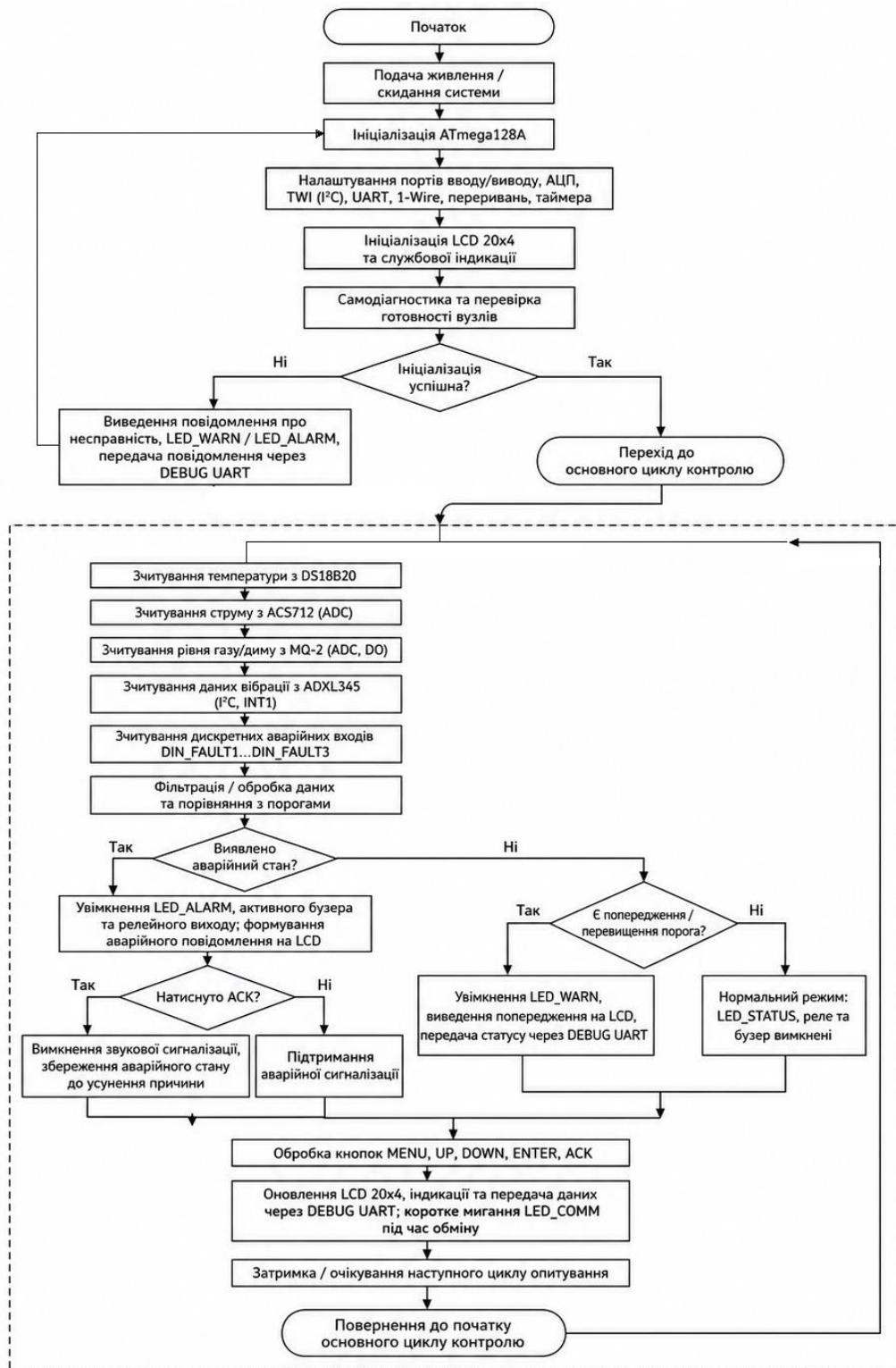


Рисунок 3.1 – Блок-схема алгоритму роботи програми автоматизованої системи контролю та сигналізації аварійних станів обладнання.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Розроблена блок-схема стала проміжною ланкою між принциповою електричною схемою і програмним кодом. Вона показує, як сигнали з конкретних виводів і модулів перетворюються на програмні стани, а потім -на команди керування дисплеєм, індикацією, бузером, реле й сервісним інтерфейсом.

На рисунку 3.1 представлено логіку переходів між основними режимами. У ньому окремо виділено ініціалізацію, опитування каналів, обробку даних, перевірку аварії, перевірку попередження, квітування та повернення до наступного циклу опитування. Така деталізація достатня для подальшого написання програми без логічних прогалин.

Блок-схема також відображає розділення світлової, звукової та релейної реакції. Світлова індикація використовується для постійного відображення стану, звук -для привернення уваги, а релейний вихід -для передавання аварійного сигналу назовні. Таке розділення було прийнято як більш безпечне й зручне для експлуатації.

Завдяки включенню сервісного UART-каналу блок-схема враховує не лише локальну роботу пристрою, а й налагодження. У кожному циклі може формуватися телеметричне повідомлення з поточними значеннями, статусом каналів і кодом активної події.

Отже, розроблена блок-схема повністю узгоджена з електричною схемою та поставленими завданнями. Вона демонструє, як мікроконтролерна система виконує збір даних, аналіз станів, сигналізацію, квітування і сервісне повідомлення в єдиному циклі керування.

3.3 Створення програми із вставкою основних елементів програми

Програмну реалізацію було побудовано за модульним принципом. Окремі функції відповідають за ініціалізацію, зчитування каналів, аналіз стану, оновлення дисплея, обробку кнопок, керування світлодіодами, бузером і реле, а

					<i>КвРАКІТ. 022106.01.14.ПЗ</i>	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

також за передавання службової інформації через UART. Такий підхід спростив налагодження і зробив програму придатною до подальшого розширення.

На початку програми було оголошено порогові значення, службові прапорці попередження, аварії та квітування, змінні для зберігання температури, струму, вібраційного стану, газового сигналу й стану дискретних входів. Крім того, було передбачено змінну для коду активної або останньої аварії, що використовується для виведення повідомлення на дисплей.

```
void init_system(void){
    lcd_init();
    adc_init();
    onewire_init();
    i2c_init();
    io_init();
}
void read_channels(void){
    temp_value = ds18b20_get_temp();
    current_value = convert_current(adc_read(CURRENT_CH));
    vib_state = adxl345_get_alarm();
    ext_alarm = !PIN_READ(ALARM_IN);
}
void analyze_state(void){
    warn_flag = (temp_value > TEMP_WARN) || (current_value > CUR_WARN);
    alarm_flag = (temp_value > TEMP_ALARM) || (current_value > CUR_ALARM)
                || vib_state || ext_alarm;
}
void apply_outputs(void){
    LED_GREEN = (!warn_flag && !alarm_flag);
    LED_YELLOW = (warn_flag && !alarm_flag);
    LED_RED = alarm_flag;
    BUZZER = (alarm_flag && !ack_flag);
}
int main(void){
    init_system();
    while(1){
        read_channels();
        analyze_state();
        apply_outputs();
        lcd_update();
        keyboard_service();
    }
}
```

Наведені фрагменти коду показують структуру програми: спочатку виконується `init_system()`, після чого в нескінченному циклі послідовно запускаються `read_channels()`, `analyze_state()`, `apply_outputs()`, `lcd_update()` і

									Арк.
									51
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	КвРАКІТ. 022106.01.14.ПЗ				

keyboard_service(). Така організація безпосередньо відповідає блок-схемі алгоритму та електричній структурі пристрою.

Функція read_channels() реалізує зчитування вимірювальних і логічних каналів. Температура надходить від DS18B20, струм обчислюється за результатом АЦП, вібраційний стан формується за даними ADXL345, а зовнішня аварія визначається за активністю дискретних входів. У реальній програмі ці дії доповнюються перевіркою помилок і фільтрацією даних.

Функція analyze_state() виконує основну логіку прийняття рішення. У ній встановлюються прапорці warn_flag та alarm_flag залежно від порогів температури, струму, вібрації, газового каналу та дискретних входів. Саме цей блок перетворює окремі виміряні величини на змістовний стан системи.

Функція apply_outputs() формує сигнали керування світловою та звуковою індикацією. LED_STATUS активується в нормальному режимі, LED_WARN -при попередженні, LED_ALARM -при аварії, а BUZZER працює тільки за наявності аварійного стану і відсутності квітання. За аналогічним принципом у програмі формується сигнал RELAY_ALARM.

У програмі було передбачено обробку кнопок MENU, UP, DOWN, ENTER та ACK. Перші чотири кнопки використовуються для сервісного меню, перегляду екранів і зміни параметрів, а ACK -для квітання звукового сигналу. Обробка кнопок виконується з програмним антидребезгом, щоб випадкові імпульси не змінювали стан системи.

Для збереження налаштувань було передбачено використання EEPROM. У цій пам'яті можуть зберігатися пороги попередження й аварії, останній код спрацювання або службові параметри. Це дозволяє пристрою зберігати налаштування після вимкнення живлення та робить його придатним до роботи з різними типами обладнання.

Сервісне меню було описано як набір екранів, що відображають поточні параметри, порогові значення, стан дискретних входів, активну аварію та

					<i>КвРАКІТ. 022106.01.14.ПЗ</i>	Арк.
						52
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

результати самодіагностики. Такий інтерфейс не потребує складної графіки, але суттєво підвищує зручність налагодження й експлуатації.

Для аналогового струмового каналу було передбачено калібрування нульового рівня. Початкове вимірювання без навантаження може використовуватися як базова точка, від якої надалі розраховується відхилення. Це підвищує стабільність показів ACS712 і демонструє врахування особливостей аналогової частини.

Структуру коду було доцільно поділити на логічні модулі sensors, alarms, display, keyboard і service. Навіть якщо в пояснювальній записці фрагменти наведено в скороченому вигляді, така організація показує, що програма розроблялася не як набір випадкових умов, а як керуюча система з чітким розподілом функцій.

Для кожного каналу було передбачено збереження не лише поточного значення, а й його статусу: норма, попередження, аварія або несправність каналу. Це спрощує подальший аналіз і дозволяє виводити на LCD та UART не тільки числа, а й зрозумілі для оператора повідомлення.

Програмна частина була побудована з урахуванням можливості подальшого розвитку. Додавання нового сенсора, ще одного релейного виходу, журналу подій або розширеного сервісного меню не потребуватиме повної зміни алгоритму, оскільки основні функції вже розділені за призначенням.

Для підвищення стійкості було реалізовано обробку виняткових ситуацій. Якщо сенсор не відповідає, АЦП повертає явно неможливе значення або інтерфейс передає некоректні дані, система формує окремий статус несправності каналу. Такий стан не зміщується зі звичайною аварією об'єкта.

Телеметрія через сервісний UART була використана як допоміжний інструмент налагодження. У повідомленні можна передавати температуру, струм, стан вібрації, рівень газового сигналу, активні дискретні входи, прапорець аварії, прапорець квітування та режим меню. Це дозволяє перевіряти роботу алгоритму в реальному часі.

					<i>КвРАКІТ. 022106.01.14.ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		53

Окремо в програмі було закріплено правило квітування. Кнопка АСК вимикає лише бузер, але не скидає LED_ALARM, повідомлення на LCD і релейний вихід, якщо причина аварії залишається активною. Така поведінка запобігає помилковому сприйняттю квітування як усунення несправності.

Часове підтвердження, усереднення й розділення попереджувальних та аварійних порогів було застосовано як основні програмні засоби зменшення хибних спрацювань. Для температури використано повільнішу реакцію, для струму - швидшу перевірку, для дискретних входів - підтвердження стабільного рівня, а для вібрації - аналіз повторюваності або інтенсивності події.

Таким чином, програмна частина завершила побудову системи як цілісного апаратно-програмного рішення. Саме програма забезпечує перехід від окремих електричних сигналів до зрозумілої класифікації станів, керування індикацією, аварійним реле, звуковим оповіщенням і сервісним інтерфейсом.

Розроблений підхід підтвердив, що навіть відносно простий локальний пристрій аварійного контролю потребує продуманої програмної архітектури. У ній враховано ініціалізацію, самодіагностику, зчитування каналів, фільтрацію, прийняття рішення, квітування та налагоджувальний обмін, тобто всі основні функції, заявлені в завданнях роботи.

3.4 Висновки до третього розділу

У третьому розділі було розроблено алгоритм роботи програми автоматизованої системи контролю та сигналізації аварійних станів обладнання. Алгоритм було узгоджено з розробленою принциповою електричною схемою, у якій центральним керуючим елементом виступає мікроконтролер ATmega128A. Програмну логіку побудовано як послідовний циклічний процес, що включає початкову ініціалізацію, налаштування портів введення-виведення, запуск інтерфейсів обміну, самодіагностику основних вузлів, опитування сенсорів,

					<i>КвРАКІТ. 022106.01.14.ПЗ</i>	Арк.
						54
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

обробку отриманих даних, перевірку порогових значень, формування станів системи та керування вихідними елементами сигналізації.

Було передбачено, що після подачі живлення програма виконує початкове налаштування мікроконтролера, АЦП, інтерфейсів I²C, UART, 1-Wire, таймерів, дискретних входів, виходів світлодіодної індикації, бузера та релейного аварійного виходу. Такий порядок ініціалізації дозволяє забезпечити узгоджену роботу всіх апаратних модулів ще до переходу системи в основний режим контролю. Окремо було враховано етап самодіагностики, під час якого перевіряється готовність сенсорних каналів, дисплея, сервісного інтерфейсу та основних виконавчих вузлів.

Блок-схема алгоритму структуровано відобразила переходи між основними режимами роботи пристрою. У ній показано нормальний режим, попереджувальний стан, аварійний режим, квитований стан після підтвердження тривоги користувачем, а також сервісний режим для перегляду параметрів і налагоджувальної інформації. Такий підхід дозволив не обмежувати програму простим порівнянням вимірних значень із порогами, а сформувавши повноцінну логіку роботи аварійного пристрою, у якій враховуються пріоритети подій, підтвердження аварії в часі, стан кнопок керування та реакція вихідних вузлів.

У межах алгоритму було окремо враховано зчитування температури з DS18B20, вимірювання струму через аналоговий вихід ACS712, отримання даних вібраційного каналу з ADXL345, контроль газового або димового середовища через MQ-2, а також аналіз дискретних аварійних входів DIN_FAULT1, DIN_FAULT2 і DIN_FAULT3. Для кожного каналу було передбачено власну логіку перевірки, що дозволяє відокремити нормальні значення від попереджувальних і аварійних станів. Це підвищує гнучкість системи, оскільки різні типи параметрів мають різну фізичну природу, швидкість зміни та різний рівень критичності.

					<i>КвРАКІТ. 022106.01.14.ПЗ</i>	Арк.
						55
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Було реалізовано логіку керування вихідними вузлами системи. Для нормального стану передбачено ввімкнення індикатора LED_STATUS. У разі наближення параметра до небезпечного рівня активується LED_WARN і формується попереджувальне повідомлення на LCD-дисплеї. Якщо виявлено аварійний стан, програма вмикає LED_ALARM, активний бузер і релейний аварійний вихід, а на дисплеї відображається причина спрацювання. Додатково передбачено можливість передавання службової інформації через сервісний UART, що робить систему зручнішою для налагодження та подальшої перевірки.

Окрему увагу в третьому розділі було приділено обробці кнопок керування. Було передбачено використання кнопок MENU, UP, DOWN, ENTER і АСК, які дозволяють оператору взаємодіяти з пристроєм, переглядати інформацію, переходити між режимами, підтверджувати дії та квітувати звукову сигналізацію. При цьому квіткування не скасовує сам факт аварії, а лише вмикає або обмежує звукове повідомлення до моменту усунення причини спрацювання. Такий підхід є правильним для аварійних систем, оскільки оператор отримує можливість зменшити звукове навантаження, але візуальна індикація небезпечного стану зберігається.

Таким чином, у третьому розділі було завершено програмно-алгоритмічний етап розробки автоматизованої системи контролю та сигналізації аварійних станів обладнання. Було доведено, що запропонована апаратна структура може бути реалізована на програмному рівні, а система здатна виконувати повний цикл роботи: від зчитування параметрів до формування попереджень, аварійних сигналів, повідомлень на дисплеї та службових даних через UART. Отримані результати підтверджують придатність розробленого пристрою до макетування, налагодження, перевірки працездатності та подальшого розширення.

					<i>КвРАКІТ. 022106.01.14.ПЗ</i>	Арк.
						56
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

У бакалаврській роботі було розроблено автоматизовану систему контролю та сигналізації аварійних станів обладнання на базі програмованого мікроконтролера Atmel. У ході виконання роботи було послідовно опрацьовано предметну область, визначено основні інформативні параметри аварійного контролю, обґрунтовано загальну структуру пристрою, вибрано елементну базу, розроблено структурну та принципову електричні схеми, побудовано алгоритм роботи й описано програмну реалізацію. Завдяки цьому робота охоплює не окремий вузол, а повну апаратно-програмну систему, призначену для виявлення передаварійних та аварійних режимів роботи обладнання.

У першому розділі було виконано аналітичний огляд систем контролю та сигналізації аварійних станів обладнання. Було встановлено, що для локального аварійного контролю найбільш доцільним є багатоканальний підхід, за якого стан об'єкта оцінюється не за одним параметром, а за сукупністю кількох інформативних ознак. До таких ознак було віднесено температуру, струм споживання, вібрацію, газові або димові прояви, а також дискретні аварійні входи. Кожен із цих параметрів характеризує окремий аспект роботи обладнання: тепловий, електричний, механічний або логічний стан зовнішніх захисних кіл.

Проведений аналіз аналогічних пристроїв показав, що промислові системи аварійного контролю мають розвинену функціональність, високу надійність і можливість інтеграції з іншими системами автоматизації, однак часто є складними, дорогими та закритими для навчального проєктування. Прості локальні сигналізатори, навпаки, є доступними й зрозумілими, але зазвичай контролюють лише один параметр і не забезпечують достатньої гнучкості. Це обґрунтувало доцільність розробки власного локального мікроконтролерного пристрою, який поєднує простоту реалізації з багатоканальним контролем і програмною логікою аналізу станів.

					<i>КвРАКІТ. 022106.01.14.ПЗ</i>	Арк.
						57
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У результаті першого розділу було сформовано напрям створення пристрою. Було прийнято рішення розробити локальну автономну систему, яка не потребує складної мережевої інфраструктури, але забезпечує контроль основних параметрів, формування попереджувальних і аварійних сигналів, відображення причини спрацювання, квітування тривоги та сервісну взаємодію з користувачем. Такий підхід дозволив перейти від загального аналізу предметної області до конкретного схемотехнічного проектування.

У другому розділі було розроблено структурну схему автоматизованої системи контролю та сигналізації аварійних станів обладнання. У ній було визначено склад основних функціональних блоків і напрямки проходження інформаційних та керуючих сигналів. Систему побудовано за централізованим принципом, відповідно до якого всі сенсорні сигнали, дискретні входи, органи керування та вихідні вузли підключаються до центрального мікроконтролерного блока. Така структура є зручною для реалізації, налагодження та подальшого розширення.

У процесі вибору елементної бази було обґрунтовано застосування мікроконтролера ATmega128A як центрального програмованого елемента. Його вибір пояснюється достатньою кількістю портів введення-виведення, наявністю вбудованого АЦП, підтримкою цифрових інтерфейсів, можливістю роботи з дискретними сигналами та достатнім обсягом пам'яті для реалізації алгоритму контролю. Температурний канал було реалізовано на датчику DS18B20, струмовий канал -на ACS712, вібраційний канал -на цифровому акселерометрі ADXL345, газовий або димовий канал -на модулі MQ-2, а локальне відображення інформації -на LCD 20x4 з модулем PCF8574.

На основі вибраної елементної бази було сформовано принципову електричну схему пристрою. У ній було показано підключення мікроконтролера ATmega128A, схеми RESET, кварцового резонатора, сенсорних модулів, дискретних аварійних входів, LCD-дисплея, кнопок керування, світлодіодної індикації, активного бузера, релейного аварійного

					<i>КвРАКІТ. 022106.01.14.ПЗ</i>	Арк.
						58
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

виходу, сервісного UART-інтерфейсу та блока живлення. Для живлення системи було передбачено шину +5 В і стабілізатор AMS1117-3.3 для формування напруги +3,3 В. Це дозволило узгодити вузли, які працюють із різними рівнями живлення.

У другому розділі було також передбачено технічні рішення, що підвищують практичну придатність системи. Для релейного аварійного виходу було застосовано транзисторний ключ на BC547 із захисним діодом 1N4007. Для активного бузера також використано транзисторне керування, що дозволяє не перевантажувати вихід мікроконтролера. Світлодіодна індикація реалізована через послідовні резистори, кнопки підключено до дискретних входів, а дисплей працює через I²C-модуль PCF8574, що зменшує кількість зайнятих портів. Таким чином, було сформовано повну апаратну основу пристрою.

У третьому розділі було розроблено алгоритм роботи автоматизованої системи та побудовано блок-схему програми. Алгоритм було узгоджено з принциповою електричною схемою та побудовано як циклічний процес. Він включає початкову ініціалізацію, налаштування портів, запуск інтерфейсів, перевірку готовності вузлів, опитування сенсорних каналів, аналіз дискретних входів, фільтрацію та обробку даних, порівняння з порогами, класифікацію станів, керування дисплеєм, світлодіодами, бузером, реле та сервісним UART.

У програмній частині було передбачено зчитування температури з DS18B20, вимірювання струму через ACS712, обробку даних з ADXL345, контроль газового або димового стану через MQ-2, аналіз дискретних входів DIN_FAULT1–DIN_FAULT3, керування LCD-дисплеєм, світлодіодами, бузером, реле та сервісним інтерфейсом. Окремо було враховано самодіагностику каналів і зменшення ймовірності хибних спрацювань за рахунок фільтрації, підтвердження події в часі та логічної перевірки станів. Це дозволило зробити систему не лише вимірювальною, а й такою, що виконує первинний аналіз небезпечних режимів.

					<i>КвРАКІТ. 022106.01.14.ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
						59
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

Практична цінність бакалаврської роботи полягає в тому, що запропонована система може бути використана як локальний засіб раннього виявлення передаварійних і аварійних режимів для електромеханічних приводів, вентиляційних установок, насосних агрегатів, силових шаф, лабораторних стендів та інших технічних об'єктів. Вона не замінює сертифіковані промислові системи захисту, але може доповнювати їх або виконувати роль навчально-прикладного пристрою технічного моніторингу. Особливо важливим є те, що система не тільки фіксує параметри, а й формує зрозумілу для оператора реакцію: індикацію, звуковий сигнал, повідомлення на дисплеї та релейний аварійний вихід.

Розроблена система має потенціал для подальшого розвитку. У майбутньому її можна доповнити журналом аварійних подій, збереженням налаштувань в EEPROM, розширенням кількості сенсорних каналів, передаванням даних на верхній рівень автоматизації або застосуванням більш складних алгоритмів діагностики. Водночас навіть у базовому варіанті вона демонструє завершену логіку роботи: від вимірювання параметрів до прийняття рішення та формування сигналу для персоналу або зовнішньої системи.

Отже, поставлена мета бакалаврської роботи була досягнута. У роботі було виконано аналіз предметної області, розглянуто аналоги, сформовано вимоги до власного пристрою, розроблено структурну та принципову електричні схеми, обґрунтовано вибір елементної бази, побудовано алгоритм роботи програми та описано програмну реалізацію. Сформульовані завдання вирішено повністю, а запропонована автоматизована система контролю та сигналізації аварійних станів обладнання є функціонально завершеним мікроконтролерним пристроєм, придатним для макетування, навчального використання, налагодження та подальшого інженерного вдосконалення.

					<i>КвРАКІТ. 022106.01.14.ПЗ</i>	Арк.
						60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. 1. Закон України «Про охорону праці» [Електронний ресурс]. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/2694-12> (дата звернення: 25.05.2026).

2. ДСТУ EN 60204-1:2019. Безпечність машин. Електрообладнання машин. Частина 1. Загальні вимоги. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2020.

3. НПАОП 40.1-1.32-01. Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок. Київ, 2001.

4. Microchip Technology. AVR Instruction Set Manual [Електронний ресурс]. URL: <https://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/AVR-Instruction-Set-Manual-DS40002198A.pdf> (дата звернення: 25.05.2026).

5. Microchip Technology. Atmel Flash Microcontrollers Product Portfolio [Електронний ресурс]. URL:

https://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Atmel-4099-Flash-Microcontrollers-Product-Portfolio_Brochure.pdf (дата звернення: 25.05.2026).

6. Microchip Technology. ATmega128A Product Page [Електронний ресурс]. URL: <https://www.microchip.com/en-us/product/atmega128a> (дата звернення: 25.05.2026).

7. Microchip Technology. ATmega128A Datasheet [Електронний ресурс]. URL: https://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Atmel-8151-8-bit-AVR-ATmega128A_Datasheet.pdf (дата звернення: 25.05.2026).

8. Microchip Technology. ATmega64A Datasheet [Електронний ресурс]. URL: <https://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Atmel-8160-8-bit-AVR-Microcontroller-ATmega64A-datasheet.pdf> (дата звернення: 25.05.2026).

9. Microchip Technology. ATmega32A Datasheet [Електронний ресурс]. URL: <https://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Atmega32A-DataSheet-Complete-DS40002072A.pdf> (дата звернення: 25.05.2026).

10. Microchip Technology. Atmel-ICE User Guide [Електронний ресурс]. URL:

					<i>КвРАКІТ. 022106.01.14.ПЗ</i>	Арк.
						61
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

https://ww1.microchip.com/downloads/aemDocuments/documents/OTH/ProductDocuments/UserGuides/Atmel-ICE_UserGuide.pdf (дата звернення: 25.05.2026).

11. Analog Devices. DS18B20 Datasheet [Електронний ресурс]. URL: <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/ds18b20.pdf> (дата звернення: 25.05.2026).

12. Analog Devices. DS18B20 Product Page [Електронний ресурс]. URL: <https://www.analog.com/en/products/ds18b20.html> (дата звернення: 25.05.2026).

13. A Working Prototype Using DS18B20 Temperature Sensor and Arduino for Health Monitoring.

14. Allegro MicroSystems. ACS712 Datasheet [Електронний ресурс]. URL: <https://www.allegromicro.com/-/media/files/datasheets/acs712-datasheet.ashx> (дата звернення: 25.05.2026).

15. Allegro MicroSystems. ACS712 Product Page [Електронний ресурс]. URL: <https://www.allegromicro.com/en/products/sense/current-sensor-ics/integrated-current-sensors/acs712> (дата звернення: 25.05.2026).

16. Analog Devices. ADXL345 Datasheet [Електронний ресурс]. URL: <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/adxl345.pdf> (дата звернення: 25.05.2026).

17. Eltazarov B. R. R. M. M. A. Z. K. S. REMOTE PATIENT MONITORING: DS18B20 SENSORS IN MEDICAL SYSTEMS. 2024. URL: <https://doi.org/10.5281/zenodo.14252710> (дата звернення: 25.05.2026).

18. Analog Devices. ADXL345 Product Page [Електронний ресурс]. URL: <https://www.analog.com/en/products/adxl345.html> (дата звернення: 25.05.2026).

19. Texas Instruments. ULN2003A Datasheet [Електронний ресурс]. URL: <https://www.ti.com/lit/gpn/ULN2003A> (дата звернення: 25.05.2026).

20. Texas Instruments. ULN2003A Product Page [Електронний ресурс]. URL: <https://www.ti.com/product/ULN2003A> (дата звернення: 25.05.2026).

21. Analysis of Relay Protection Problems in Micro-grid / F. Yan та ін. DEStech Transactions on Materials Science and Engineering. 2017. Smne. URL:

					<i>КвРАКІТ. 022106.01.14.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		62

<https://doi.org/10.12783/dtmse/smne2016/10588> (дата звернення: 25.05.2026).

22. Improved Differential Protection of Active Distribution Network Feeders Based on Ddtw of Positive Sequence Fault Components / X. Miao та ін. *SSRN Electronic Journal*. 2022. URL: <https://doi.org/10.2139/ssrn.4245627> (дата звернення: 25.05.2026).

23. STMicroelectronics. L78 Datasheet [Електронний ресурс]. URL: <https://www.st.com/resource/en/datasheet/l78.pdf> (дата звернення: 25.05.2026).

24. STMicroelectronics. L78 Product Page [Електронний ресурс]. URL: <https://www.st.com/en/power-management/l78.html> (дата звернення: 25.05.2026).

25. NXP Semiconductors. PCF8574/PCF8574A Datasheet [Електронний ресурс]. URL: https://www.nxp.com/docs/en/data-sheet/PCF8574_PCF8574A.pdf (дата звернення: 25.05.2026).

26. Hitachi. HD44780 LCD Controller Datasheet [Електронний ресурс]. URL: <https://cdn.sparkfun.com/assets/9/5/f/7/b/HD44780.pdf> (дата звернення: 25.05.2026).

27. Arduino Documentation. LiquidCrystal Library [Електронний ресурс]. URL: <https://docs.arduino.cc/libraries/liquidcrystal> (дата звернення: 25.05.2026).

28. Arduino Documentation. millis() [Електронний ресурс]. URL: <https://docs.arduino.cc/language-reference/en/functions/time/millis/> (дата звернення: 25.05.2026).

29. doc.arduino.ua. millis() – програмування Arduino [Електронний ресурс]. URL: <https://doc.arduino.ua/ru/prog/Millis> (дата звернення: 25.05.2026).

30. Arduino.ua. LCD 20×4 символний дисплей [Електронний ресурс]. URL: <https://arduino.ua/prod2420-lcd-2004-simvolnii-displei-20x4-jeltii> (дата звернення: 25.05.2026).

31. Arduino.ua. Цифровий датчик температури DS18B20 [Електронний ресурс]. URL: <https://arduino.ua/prod908-temperaturnii-datchik-ds18b20-v-korpuse> (дата звернення: 25.05.2026).

32. Arduino.ua. Датчик струму ACS712 [Електронний ресурс]. URL:

					<i>КвРАКІТ. 022106.01.14.ПЗ</i>	Арк.
						63
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

<https://arduino.ua/prod1118-datchik-toka-acs712-20a> (дата звернення: 25.05.2026).

33. Arduino.ua. Модуль бузера [Електронний ресурс]. URL: <https://arduino.ua/prod347-modul-zummera> (дата звернення: 25.05.2026).

34. Arduino.ua. Мембранна клавіатура 4×3 [Електронний ресурс]. URL: <https://arduino.ua/prod309-klaviatyrа-matricnaya-12-knopok> (дата звернення: 25.05.2026).

35. Arduino.ua. Модуль реле 5 В 10 А [Електронний ресурс]. URL: <https://arduino.ua/prod1706-modyl-rele-5v-10a-nizkogo-urovnya-low-level> (дата звернення: 25.05.2026).

36. Condition monitoring: Combating down time with vibration sensors. *World Pumps*. 2002. Т. 2002, № 428. С. 50–53. URL: [https://doi.org/10.1016/s0262-1762\(02\)80156-0](https://doi.org/10.1016/s0262-1762(02)80156-0) (дата звернення: 25.05.2026).

37. Winsen. MH-Z19B NDIR CO₂ Module Datasheet [Електронний ресурс]. URL: https://www.winsen-sensor.com/d/files/infrared-gas-sensor/mh-z19b-co2-ver1_0.pdf (дата звернення: 25.05.2026).

38. Measurement survey using acoustic measurement network and sound environment evaluation system by experience sampling / К. Togashi та ін. *INTER-NOISE and NOISE-CON Congress and Conference Proceedings*. 2021. Т. 263, № 1. С. 5063–5070. URL: <https://doi.org/10.3397/in-2021-2952> (дата звернення: 25.05.2026).

39. Fletcher R. S., Fisher D. K. Testing an Open-Source Multi Brand Sensor Node to Monitor Variability of Environmental Conditions inside a Greenhouse. *Agricultural Sciences*. 2021. Т. 12, № 03. С. 159–180. URL: <https://doi.org/10.4236/as.2021.123011> (дата звернення: 25.05.2026).

40. Sensirion. SHT3x-DIS Datasheet [Електронний ресурс]. URL: https://sensirion.com/media/documents/213E6A3B/63A5A569/Datasheet_SHT3x_DI_S.pdf (дата звернення: 25.05.2026).

					<i>КвРАКІТ. 022106.01.14.ПЗ</i>	Арк.
						64
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

РЕЦЕНЗІЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Дипломник: Новіков Єгор Дмитрович

Тема: Автоматизована система контролю та сигналізації аварійних станів обладнання

Спеціальність: 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

Обсяг кваліфікаційної роботи:

Кількість сторінок записки 64

1. Короткий зміст роботи та прийнятих рішень: Метою роботи є розробка автоматизованої системи контролю та сигналізації аварійних станів обладнання на базі програмованого мікроконтролера Atmel, яка забезпечує вимірювання інформативних параметрів технічного об'єкта, аналіз відхилень від допустимих режимів і формування попереджувальних та аварійних сигналів для обслуговуючого персоналу.

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

3. Характеристика виконання кожного розділу, ступінь використання останніх досягнень науки і техніки і передових методів роботи: у першому розділі виконано аналітичний огляд систем контролю та сигналізації аварійних станів обладнання; у другому розділі виконано розробку структурної та принципової схем, а також вибір та аналіз елементної бази; у третьому розділі виконано розробку програми керування мікроконтролером.

4. Позитивні сторони роботи: робота відзначається актуальністю тематики, обґрунтованим вибором апаратної платформи на базі мікроконтролера Atmel, комплексним підходом до розробки системи контролю та сигналізації аварійних станів, а також практичною спрямованістю отриманих результатів для підвищення надійності експлуатації обладнання.

5. Негативні сторони роботи: відсутність експериментальної перевірки системи на реальному промисловому обладнанні та недостатньо детальний розгляд питань розширення функціональних можливостей системи для роботи у складі сучасних автоматизованих комплексів.

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

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

8. Інші зауваження: відсутні

9. Оцінка дипломної роботи: задовільно 60 (E)

Рецензент (прізвище, ім'я, по батькові, посада, місце роботи) Петровський Сергій Степанович, доцент кафедри комп'ютерних наук

" 17 " червня 2026 р.

Петр (підпис)

Завідувачу кафедри автоматизації,
комп'ютерно-інтегрованих технологій та
робототехніки Людмилі КОРЕЦЬКІЙ
здобувача вищої освіти
Новікова Єгора Дмитровича
факультет ІТ, курс ІV, група АКІТ-22-1

ЗАЯВА

З правилами чинного Положення про систему забезпечення академічної доброчесності у Хмельницькому національному університеті, згідно з яким виявлення академічного плагіату є підставою для відмови в допуску кваліфікаційної роботи до захисту і застосування заходів академічної відповідальності, ознайомлений. Про використання спеціалізованих програмних засобів (СПЗ) StrikePlagiarism та Anti-Plagiarism для перевірки кваліфікаційних робіт здобувачів вищої освіти на наявність академічного плагіату оповіщений. Надаю університету право на передачу моєї роботи для обробки та збереження в базах даних СПЗ і використання роботи для виявлення академічного плагіату в інших роботах, які перевіряються СПЗ.

Також надаю свою згоду на обробку й збереження університетом моєї роботи в Інституційному репозитарії Хмельницького національного університету.

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

02.06.2026

дата



підпис

Протокол аналізу звіту подібності експертом

Заявляю, що я ознайомився (-лась) з Повним звітом подібності, який був згенерований Системою виявлення і запобігання плагіату щодо роботи:

Автор: Єгор НОВІКОВ

Співавтор:

Назва: Новіков_без_рамок

Експерт: Юрій ФОРКУН

Підрозділ: Кафедра автоматизації, комп'ютерно-інтегрованих технологій та робототехніки

Коефіцієнт подібності 1: 1.26%

Коефіцієнт подібності 2: 0.28%

Мікропробіли: 43

Заміна букв: 2

Інтервали: 0

Білі знаки: 0

Дата створення звіту: 2026-06-17 11:09:45.0

Після аналізу Звіту подібності констатую наступне:

Запозичення, виявлені в роботі є законними і не є плагіатом. Рівень подібності не перевищує допустимої межі. Таким чином робота незалежна і приймається.

Запозичення не є плагіатом, але перевищено граничне значення рівня подібностей. Таким чином робота повертається на доопрацювання.

Виявлено запозичення і плагіат або навмисні текстові спотворення (маніпуляції), як передбачувані спроби укріття плагіату, які роблять роботу невідповідною вимогам законодавства (Ст. 32. ЗУ Про вищу освіту, пункт 3.1, Ст. 42. ЗУ Про освіту) та вимог НАЗЯВО (Критерій 5), а також кодексу етики і процедур. Таким чином робота не приймається.

Обґрунтування:

2026-06-17

Доцент Микола Федула

Дата

експерт

Anti-Plagiarism v-15.258 (global version)

The maximum coincidence with one document 2.0%

Dictionaries check: en_US, ru_RU, ua_UA. **Errors in the documents: 10%**

ID: 275719 Title: БКР Автоматизована система контролю та сигналізації аварійних станів обладнання Added in a DB: 2026-06-17 Authors: Єгор НОВІКОВ Heads: Юрій ФОРКУН Consultants: Opponents:	Document		Sum coincidence on the DB	
	Symbols	Lexemes	Symbols	Lexemes
	95089	742	3392 (4%)	41 (6%)

Plagiarism sources

ID	Description	Plagiarism presence in the document	
		Symbols	Lexemes

РІШЕННЯ ЕКСПЕРТНОЇ КОМІСІЇ
КАФЕДРИ АВТОМАТИЗАЦІЇ, КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ТА
РОБОТОТЕХНІКИ ПРО ДОПУСК КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ ДО ЗАХИСТУ

Назва кваліфікаційної роботи: «Автоматизована система контролю та сигналізації аварійних станів обладнання»

Автор: Новіков Єгор Дмитрович

Освітня програма: Освітньо-професійна програма «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

Рівень вищої освіти: перший (бакалаврський)

Спеціальність: 151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

Науковий керівник: Форкун Юрій Вікторович, кандидат технічних наук, доцент

На основі аналізу кваліфікаційної роботи на дотримання вимог академічної доброчесності (у т. ч. відсутності ознак академічного плагіату) з урахуванням результатів перевірки роботи спеціалізованим програмним засобом(ами) комісія зробила такий висновок:

№	Висновок	Позначка про відповідність
1	Ознаки академічного плагіату	
1.1	Запозичення, виявлені в роботі є законними і не є академічним плагіатом. Робота приймається до захисту.	відповідає
1.2	Виявлені запозичення не є академічним плагіатом, розміщені в розділах, які не описують безпосередньо авторське дослідження, але кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи. Робота приймається до захисту, але має бути відкоригована.	
1.3	Виявлені запозичення не є академічним плагіатом, але частково розміщені в розділах, які описують безпосередньо авторське дослідження, а кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи. Робота може бути допущена до захисту після того як буде відкоригована та доопрацьована і успішно пройде повторну перевірку на академічний плагіат.	
1.4	Робота містить навмисні текстові спотворення, передбачувані спроби укриття текстових запозичень або інші прояви академічного плагіату. Робота містить фабрикацію або фальсифікацію даних. Робота не допускається до захисту.	
2	Інші види порушень академічної доброчесності	

Підтвердження:

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

1) у тексті роботи системами перевірки на плагіат виявлено схожість з деякими документами в частині загальноживаних обов'язкових словосполучень у стандартних бланках, у структурі змісту, назвах розділів/підрозділів, у назвах публікацій у переліку джерел посилання;

2) усі запозичення є фрагментарними або мають належним чином оформленні посилання;

3) виявлені модифікації тексту не впливають на відсоток схожості.

Сумарний обсяг всіх запозичень, визначений системою виявлення збігів ідентичності/схожості, складає 1,26% і адресується до 4 джерел, що, з урахуванням наведених обґрунтувань, відповідає характеру теми і свідчить на користь кваліфікаційної роботи.

Дата 17.06.2026

Завідувач кафедри

Гарант освітньої програми

Керівник кваліфікаційної роботи



Людмила КОРЕЦЬКА

Юрій ФОРКУН

Юрій ФОРКУН