Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії
(повна назва факультету)
Кафедра комп'ютерно-інтегрованих технологій
(повна назва кафедри)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

бакалавр
(назва освітнього ступеня)

на тему: Розроблення автоматизованої системи виявлення аномалій у технологічних даних для раннього попередження аварій

Виконав: студент IV курсу, групи КТс-41

спеціальності 174 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
(шифр і назва спеціальності)

_____ Кренько Р.А.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник _____ Станько А.А.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Нормоконтроль _____ Чихіра І.В.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри _____ Голотенко О.С.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Рецензент _____ Трембач Р.Б.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Тернопіль
2026

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії
(повна назва факультету)

Кафедра комп'ютерно-інтегрованих технологій
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
_____ Голотенко О.С.
(підпис) (прізвище та ініціали)
«_14_» _ квітня 2026 р.__

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня Бакалавр
(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 174 Автоматизація та комп'ютерно інтегровані технології
(шифр і назва спеціальності)

Студенту Креньку Ростиславу Анатолійовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розроблення автоматизованої системи виявлення аномалій у технологічних даних для раннього попередження аварій

Керівник роботи Станько Андрій Андрійович, доктор філософії
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від « 14 » квітня 2026 року № *4/9-185*

2. Термін подання студентом завершеної роботи 26 червня 2026р.

3. Вихідні дані до роботи Наукові публікації про виявлення аномалій у технологічних даних для раннього попередження аварій

4. Зміст роботи

Вступ. 1 Аналітична частина. 1.1 Аналіз технологічних даних у комп'ютеризованих системах управління. 1.2 Поняття аномалій у технологічних процесах та їх класифікація 1.3 Аналіз методів виявлення аномалій у технологічних даних. 1.4 Вимоги до системи раннього попередження аварій 1.5 Постановка дослідження та вибір підходу до реалізації системи 1.6 Висновок до першого розділу. 2 Проектна частина 2.1 Загальна архітектура системи виявлення аномалій. 2.2 Розроблення інформаційної моделі технологічних даних 2.3 Алгоритм виявлення аномалій у технологічних даних. 2.4 Проєктування програмних модулів системи. 2.5 Розроблення інтерфейсу оператора та підсистеми попереджень 2.6 Висновок до другого розділу.3 Спеціальна частина. 3.1 Формування тестового набору технологічних даних. 3.2 Моделювання роботи системи в різних режимах. 3.3 Оцінювання ефективності алгоритму виявлення аномалій. 3.4 Аналіз надійності та обмежень розробленої системи. 3.5 Рекомендації щодо практичного впровадження системи. 3.6 Висновок до третього розділу. 4 Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях. Висновки, Перелік джерел, Додатки

5. Перелік графічного матеріалу. 1 Титульна сторінка. 2 Тема, Мета, Об'єкт, Предмет дослідження. 3 Завдання дослідження. 4 Актуальність дослідження. 5 Джерела технологічних даних у КСУ. 6 Класифікація аномалій у технологічних даних. 7 Структурна схема автоматизованої системи. 8 Інформаційна модель даних. 9 Блок-схема алгоритму виявлення аномалій у технологічних даних. 10 Структура програмних модулів автоматизованої системи 11 Макет інтерфейсу оператора. 12 Приклад часових рядів технологічних параметрів 13 Послідовність обробки технологічних даних під час виявлення аномалії. 14 Графік виявлення аномальної ділянки технологічного параметра. 15 Структурна схема автоматизованої системи виявлення аномалій. 16 Структура програмних модулів системи 15 Висновки. 16 Завершальний.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Безпека в надзвичайних ситуаціях	к.т.н., доц. Сенчишин В.С.		

7. Дата видачі завдання 14 квітня 2026 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1.	Ознайомлення з завданням до кваліфікаційної роботи	14.04.2026	*Виконано*
2.	Підбір джерел про автоматизованої системи керування	02.06.2026	*Виконано*
3.	Вибір компонентної бази	04.06.2026	*Виконано*
4.	Розроблення автоматизованої системи керування	05.06.2026	*Виконано*
	лінією дозування та змішування компонентів		
5.	Переклад та опрацювання джерел	06.06.2026	*Виконано*
6.	Розроблення прототипу	07.06.2026	*Виконано*
7.	Розроблення візуалізації системи	08.06.2026	*Виконано*
8.	Оформлення розділу «Аналітична частина»	10.06.2026	*Виконано*
11.	Оформлення розділу «Проектна частина»	13.06.2026	*Виконано*
12.	Оформлення розділу «Спеціальна частина»	15.06.2026	*Виконано*
13.	Виконання розділу «Охорона праці та безпека в НС»	16.06.2026	*Виконано*
14	Підготовка графічного матеріалу	17.06.2026	*Виконано*
15.	Оформлення кваліфікаційної роботи	18.06.2026	*Виконано*
16.	Нормоконтроль	19.06.2026	*Виконано*
17.	Перевірка на плагіат	20.06.2026	*Виконано*
18.	Попередній захист кваліфікаційної роботи	23.06.2026	*Виконано*
19.	Захист кваліфікаційної роботи	24.06.2026	

Студент _____ Кренько Р.А.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____ Станько А.А.
(підпис) (прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Розроблення автоматизованої системи виявлення аномалій у технологічних даних для раннього попередження аварій // Кваліфікаційна робота освітнього рівня «Бакалавр» // Кренько Ростислав Анатолійович // Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії, кафедра автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій, група КТс-41 // Тернопіль, 2026 // С. 45, рис. – 11, табл. – 8, кресл. – 18, додат. – 9, бібліогр. – 27.

Ключові слова: автоматизована система, технологічні дані, аномалія, ПЛК, SCADA, інтерфейс.

Кваліфікаційна робота присвячена розробленню автоматизованої системи виявлення аномалій у технологічних даних для раннього попередження аварійних ситуацій.

У першому розділі проаналізовано технологічні дані в комп'ютеризованих системах управління.

У другому розділі розроблено архітектуру автоматизованої системи, інформаційну модель технологічних даних, алгоритм виявлення аномалій, структуру програмних модулів та макет інтерфейсу оператора.

У третьому розділі сформовано тестовий набір технологічних даних, змодельовано роботу системи в нормальних і аварійних режимах, оцінено ефективність алгоритму та подано рекомендації щодо практичного впровадження системи.

У четвертому розділі розглядаються питання, пов'язані з безпекою життя та основами охорони праці та безпеки.

Об'єкт дослідження: процес автоматизованого контролю технологічних параметрів у комп'ютеризованих системах управління.

Предмет дослідження: методи, алгоритми та програмні засоби виявлення аномалій у технологічних даних для раннього попередження аварійних ситуацій.

ANNOTATION

Development of an automated system for anomaly detection in technological data for early accident prevention // The educational level " Bachelor " qualification work // Krenko Rostyslav Anatoliiovych // Ternopil Ivan Pulyuy National Technical University, Faculty of Applied Information Technologies and Electrical Engineering, Department of Computer-Integrated Technologies, KTs-41 group // Ternopil, 2026 // P. 45, fig. - 11, tables - 8, chair. - 18, annexes - 9, ref. - 27.

Key words: automated system, process data, anomaly, PLC, SCADA, interface.

This thesis is devoted to the development of an automated system for detecting anomalies in process data for the early warning of emergency situations.

The first chapter analyses process data in computerised control systems.

The second chapter develops the architecture of the automated system, an information model of process data, an anomaly detection algorithm, the structure of software modules, and a mock-up of the operator interface.

The third chapter presents a test set of process data, simulates the system’s operation in normal and emergency modes, evaluates the algorithm’s effectiveness, and provides recommendations for the practical implementation of the system.

The fourth chapter addresses issues related to life safety and the fundamentals of occupational health and safety.

Object of study: the process of automated monitoring of process parameters in computerised control systems.

Subject of study: methods, algorithms and software tools for detecting anomalies in process data for the early warning of emergency situations.

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

АСУ — автоматизована система управління.

АСУ ТП — автоматизована система управління технологічним процесом.

ПЛК — програмований логічний контролер, призначений для збору, обробки сигналів і керування технологічним обладнанням.

SCADA (англ. Supervisory Control and Data Acquisition) — система диспетчерського контролю та збору даних.

HMI (англ. Human-Machine Interface) — людино-машинний інтерфейс для взаємодії оператора з автоматизованою системою.

БД — база даних, призначена для збереження технологічних параметрів, подій, попереджень і результатів аналізу.

IoT (англ. Internet of Things) — інтернет речей, концепція об’єднання пристроїв і датчиків у мережу для обміну даними.

OPC UA (англ. Open Platform Communications Unified Architecture) — промисловий стандарт обміну даними між компонентами автоматизованих систем.

Аномалія — відхилення значення або поведінки технологічного параметра від нормального режиму роботи.

Передаварійний стан — стан технологічного об’єкта, за якого параметри ще можуть не досягати аварійних меж, але вже свідчать про небезпечну тенденцію.

°C, бар, %, мм/с, А — одиниці вимірювання відповідно температури, тиску, вологості або рівня, вібрації та струму.

ЗМІСТ

ВСТУП

Актуальність теми. Сучасні технологічні об’єкти функціонують в умовах зростання складності виробничих процесів, кількості контрольованих параметрів і вимог до безпечної експлуатації обладнання. У комп’ютеризованих системах управління основним джерелом інформації про стан об’єкта є технологічні дані, що надходять від датчиків, вимірювальних перетворювачів, програмованих логічних контролерів, SCADA-систем, промислових мереж і баз історичних параметрів [16], [17], [21]. Такі дані дають змогу не лише відображати поточний стан процесу, а й виявляти приховані ознаки порушення режиму роботи.

Традиційні системи контролю часто використовують порогову логіку: якщо температура, тиск, рівень, вібрація або струм виходять за допустимі межі, формується аварійне повідомлення. Однак у багатьох випадках небезпечний стан формується поступово, а параметр ще певний час перебуває в допустимій зоні. Тому актуальною є задача автоматизованого виявлення аномалій у технологічних даних, тобто таких значень або послідовностей значень, які відрізняються від нормальної поведінки об’єкта та можуть бути ранніми ознаками аварії [1], [2].

Аномалія у технологічних даних не обов’язково означає аварію, проте може свідчити про несправність, передаварійний стан, порушення режиму або збій вимірювального каналу. Наприклад, поступове зростання температури може вказувати на порушення теплообміну, підвищення вібрації - на механічне зношування, а нестабільність струму електродвигуна - на перевантаження привода. Тому система раннього попередження повинна аналізувати не лише абсолютне значення параметра, а й динаміку його зміни в часі [5], [8].

Тема роботи безпосередньо пов’язана зі спеціальністю G7 “Автоматизація, комп’ютерно-інтегровані технології та робототехніка”, оскільки передбачає розроблення автоматизованої системи, що поєднує збір технологічних даних, їх обробку, алгоритмічний аналіз, формування попереджень і відображення результатів оператору. У межах освітньо-

професійної програми “Комп’ютеризовані системи управління та прикладне програмування” така задача має прикладний характер, оскільки охоплює як інженерне проєктування, так і програмну реалізацію компонентів системи.

Мета і задачі дослідження. Є розроблення автоматизованої системи виявлення аномалій у технологічних даних, яка забезпечує аналіз параметрів технологічного процесу, виявлення відхилень від нормального режиму роботи та формування ранніх попереджень про можливі аварійні ситуації.

Для досягнення поставленої мети у роботі необхідно розв’язати такі основні завдання:

– проаналізувати особливості технологічних даних,

– розглянути типи аномалій, порівняти методи їх виявлення,

– сформувати вимоги до системи,

– розробити її архітектуру, інформаційну модель і алгоритм аналізу,

– спроєктувати програмні модулі та операторський інтерфейс,

– сформувати тестовий набір даних,

– провести моделювання роботи системи й оцінити ефективність запропонованого підходу.

Об’єкт дослідження: процес автоматизованого контролю технологічних параметрів у комп’ютеризованих системах управління. Предметом дослідження є методи, алгоритми та програмні засоби виявлення аномалій у технологічних даних для раннього попередження аварійних ситуацій.

Предмет дослідження: методи, алгоритми та програмні засоби виявлення аномалій у технологічних даних для раннього попередження аварійних ситуацій у комп’ютеризованих системах управління.

Наукова новизна одержаних результатів кваліфікаційної роботи полягає в удосконаленні підходу до виявлення аномалій у технологічних даних шляхом поєднання порогового контролю, аналізу швидкості зміни параметра, ковзного середнього та інтегрального індексу аномальності для раннього визначення передаварійних станів.

Практичне значення одержаних результатів. полягає в можливості використання запропонованої автоматизованої системи для аналізу технологічних параметрів, своєчасного виявлення аномальних відхилень та формування попереджень для оператора про можливі передаварійні стани. Розроблені архітектура, інформаційна модель і алгоритм можуть бути адаптовані для комп’ютеризованих систем управління, SCADA-систем або навчально-дослідних стендів автоматизації.

1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

У першому розділі розглядаються теоретичні та прикладні основи розроблення автоматизованої системи виявлення аномалій у технологічних даних. Основна увага приділяється сутності технологічних параметрів у комп’ютеризованих системах управління, особливостям їх формування, типам аномалій, методам їх виявлення та вимогам до системи раннього попередження аварій.

Аналітична частина є основою для подальшого проєктування, оскільки саме в ній визначається, які дані аналізує система, які аномальні прояви повинні бути виявлені та які технічні вимоги мають бути враховані під час розроблення архітектури й алгоритму.

1.1 Аналіз технологічних даних у комп’ютеризованих системах управління

Технологічні дані є основою функціонування комп’ютеризованих систем управління. Вони відображають стан обладнання, параметри середовища, режими роботи агрегатів, навантаження на виконавчі механізми та результати взаємодії між елементами автоматизованої системи. До таких параметрів належать температура, тиск, вологість, рівень, витрата, вібрація, струм, напруга, швидкість обертання та дискретні стани виконавчих механізмів [16], [18].

Основними джерелами технологічних даних є датчики, вимірювальні перетворювачі, ПЛК, SCADA-системи, промислові мережі та бази історичних даних. Датчики перетворюють фізичні величини на електричні сигнали, контролери виконують їх зчитування й передавання, а SCADA-системи забезпечують моніторинг, архівування та диспетчеризацію процесу [17], [18]. Промислові протоколи та стандарти обміну даними, зокрема OPC UA, забезпечують взаємодію між рівнями автоматизації [21].

Важливою особливістю технологічних даних є їх часова природа. Для оцінювання стану об’єкта значення має не тільки поточний рівень параметра, а

й характер його зміни: тренд, швидкість зростання або зниження, періодичність коливань та відхилення від локального середнього рівня. Саме тому дані в системі виявлення аномалій доцільно розглядати як часові ряди [6], [20].

У реальних умовах технологічні дані можуть містити шуми, пропуски, затримки, некоректні вимірювання або ознаки несправності датчиків. Такі явища ускладнюють автоматизований аналіз і можуть призводити до хибних спрацювань або пропуску небезпечних ситуацій. Тому перед виявленням аномалій необхідною є попередня обробка: перевірка коректності значень, фільтрація шумів, усунення пропусків і згладжування короткочасних коливань [5], [19].

Рисунок 1.1 – Джерела технологічних даних у комп'ютеризованій системі управління

Таблиця 1.1 – Приклади технологічних параметрів та їх значення для контролю стану об’єкта

Параметр	**Одиниця**	**Джерело**	**Значення для контролю**	**Можливі аномальні прояви**
Температура	°C	Датчик температури, ПЛК	Оцінювання теплового режиму обладнання або середовища	Перегрівання, різкий стрибок, вихід за межі
Тиск	бар	Датчик тиску	Контроль трубопроводів, резервуарів, гідравлічних контурів	Зростання, падіння, пульсації
Вологість	%	Датчик вологості	Контроль кліматичних і складських умов	Перевищення рівня, нестабільність сигналу
Рівень рідини	%	Датчик рівня	Оцінювання заповнення резервуарів	Витік, переповнення, зависання показника
Витрата	л/хв	Витратомір	Контроль інтенсивності потоку	Різке падіння, перевищення, коливання
Вібрація	мм/с	Датчик вібрації	Діагностика механічного стану обладнання	Зростання амплітуди, періодичні піки
Струм електродвигуна	А	Вимірювач струму, ПЛК	Оцінювання навантаження електропривода	Перевантаження, короткочасні піки

Отже, технологічні дані є ключовим інформаційним ресурсом для раннього виявлення передаварійних станів. Їх аналіз дає змогу перейти від простого спостереження за поточними значеннями до оцінювання небезпечних тенденцій, що передують аварійній ситуації.

1.2 Поняття аномалій у технологічних процесах та їх класифікація

Аномалією у технологічних даних можна вважати значення, послідовність значень або характер зміни параметра, що суттєво відрізняються від нормальної поведінки технологічного об’єкта. Важливо розрізняти відхилення, несправність, передаварійний стан і аварію. Відхилення може бути допустимим коливанням, несправність пов’язана з порушенням роботи елемента системи, передаварійний стан вказує на підвищений ризик, а аварія є небезпечним граничним порушенням режиму [1], [4].

Точкові аномалії проявляються як окремі значення, що різко відрізняються від типового рівня. Контекстні аномалії залежать від режиму роботи або часу: значення може бути нормальним під час запуску, але небезпечним у стабільному режимі. Колективні аномалії проявляються через послідовність значень, яка разом свідчить про порушення, хоча окремі точки можуть не виходити за межі [1], [2].

Особливо важливими для раннього попередження є повільний дрейф параметра та стрибкоподібні зміни. Дрейф означає поступове зміщення параметра від нормального рівня, наприклад зростання температури або вібрації. Стрибкоподібна зміна є раптовим підвищенням або падінням параметра, що може свідчити про різке порушення процесу. Окрему групу становлять збої датчиків: пропуски, зависання, фізично неможливі значення або надмірний шум [8], [13].

У задачах раннього попередження аномалію доцільно розглядати як інформаційний сигнал, що потребує оцінювання. Не кожна аномалія є аварією, але багато аварій починаються з незначних відхилень, які можна виявити заздалегідь. Тому система повинна не тільки фіксувати факт порушення, а й визначати рівень небезпеки: нормальний, попереджувальний, критичний або аварійний.

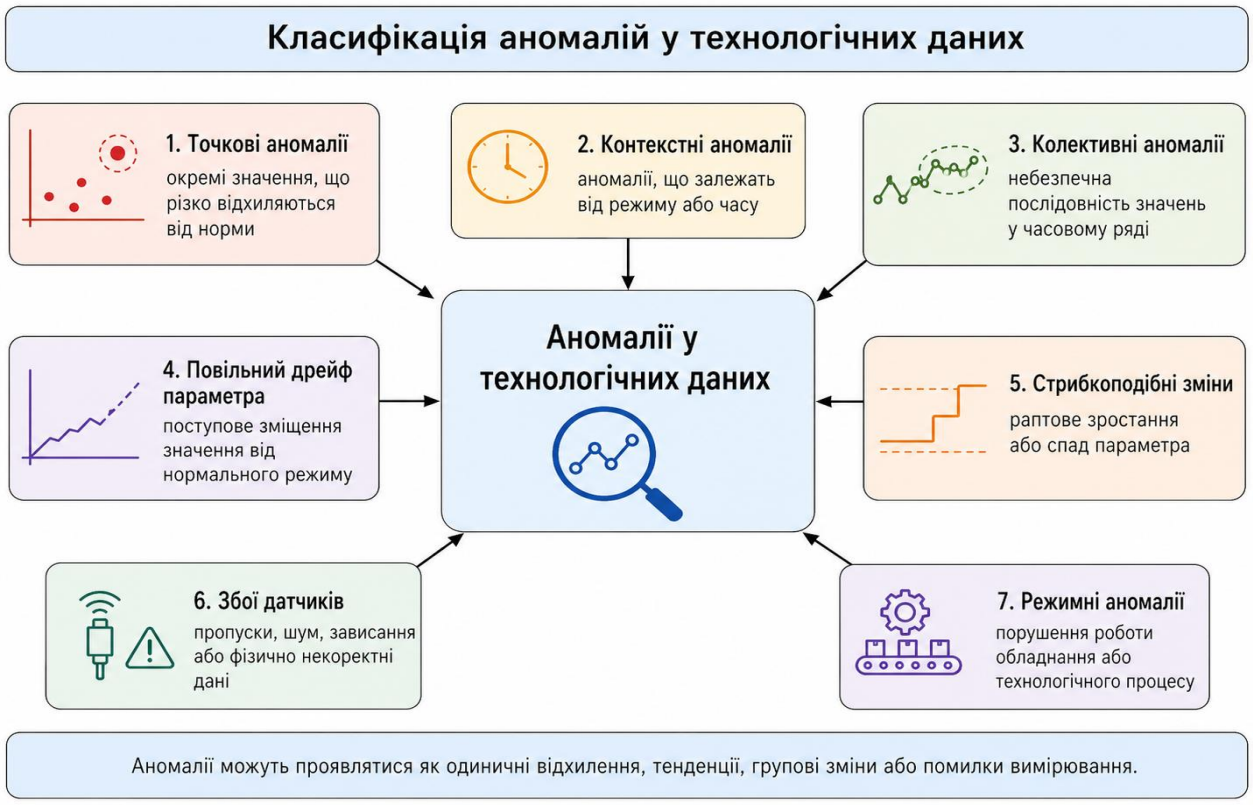


Рисунок 1.2 – Класифікація аномалій у технологічних даних

1.3 Аналіз методів виявлення аномалій у технологічних даних

Методи виявлення аномалій у технологічних даних можна поділити на порогові, статистичні, трендові, прогнозні, методи машинного навчання та гібридні підходи. Пороговий контроль є найпростішим: фактичне значення порівнюється з допустимими межами. Його перевагами є зрозумілість і простота реалізації, однак він не завжди виявляє передаварійні тенденції [19].

Статистичні методи ґрунтуються на аналізі середнього значення, дисперсії, стандартного відхилення та інших характеристик. Вони корисні для параметрів зі стабільною поведінкою, але потребують якісних історичних даних. Ковзне середнє дозволяє згладжувати випадкові коливання й оцінювати локальний нормальний рівень параметра, що важливо для виявлення поступових відхилень [6], [20].

Аналіз тренду й швидкості зміни параметра дає змогу виявляти небезпечну динаміку ще до перевищення порогового значення. Наприклад, швидке зростання тиску або струму може бути небезпечним навіть за

формально допустимого поточного значення. Прогнозні моделі та методи машинного навчання мають високий потенціал для складних процесів, але потребують якісних навчальних даних і складнішої валідації [8], [22].

Для цієї роботи доцільно використати комбінований підхід, який поєднує пороговий контроль, аналіз швидкості зміни, ковзне середнє та інтегральний індекс аномальності. Такий підхід є зрозумілим, придатним для бакалаврського рівня та дозволяє виявляти як різкі, так і поступові аномальні прояви [3], [5].

Таблиця 1.2 – Порівняльна характеристика методів виявлення аномалій у технологічних даних

Метод	**Сутність**	**Переваги**	**Недоліки**	**Доцільність**
Пороговий контроль	Порівняння з мінімальною та максимальною межею	Простота, зрозумілість	Не виявляє ранні тенденції	Базовий елемент алгоритму
Контроль діапазонів	Кілька рівнів меж: норма, попередження, критичний стан	Дає рівні небезпеки	Потребує налаштування	Доцільний для класифікації станів
Статистичний аналіз	Оцінювання відхилення від типового розподілу	Враховує нормальну поведінку	Залежить від історичних даних	Корисний для стабільних параметрів
Ковзне середнє	Згладжування значень у часовому вікні	Зменшує вплив шуму	Може давати затримку	Доцільне для дрейфу
Аналіз тренду	Визначення напряму зміни параметра	Виявляє небезпечні тенденції	Потребує часового інтервалу	Важливий для раннього попередження
Аналіз швидкості зміни	Різниця між поточним і попереднім значенням	Виявляє різкі зміни	Чутливий до шуму	Доцільний разом із фільтрацією
Машинне навчання	Навчання моделі на прикладах станів	Виявляє складні закономірності	Потребує даних і налаштування	Перспективний напрям
Гібридний підхід	Поєднання кількох методів	Підвищує надійність	Потребує узгодження правил	Основний підхід у роботі

1.4 Вимоги до системи раннього попередження аварій

Вимоги до автоматизованої системи визначають її функції, якість роботи та умови практичного використання. Система повинна збирати технологічні параметри, перевіряти коректність вхідних даних, виконувати попередню обробку, виявляти аномалії, визначати рівень небезпеки, формувати попередження, вести журнал подій і забезпечувати візуалізацію результатів для оператора.

Функціональні вимоги охоплюють роботу з даними та повідомленнями. Система має підтримувати зчитування поточних і історичних значень, розрахунок допоміжних показників, аналіз допустимих меж, швидкості зміни й відхилень, формування попереджень різних рівнів і збереження інформації про події в журналі. Повідомлення повинні містити назву параметра, фактичне значення, час, рівень небезпеки та причину спрацювання.

Нефункціональні вимоги пов’язані з надійністю, масштабованістю, зрозумілістю для оператора та можливістю інтеграції з АСУ. Система повинна бути стійкою до шуму й неповних даних, підтримувати додавання нових параметрів, надавати пояснювані результати та мати базовий захист від несанкціонованої зміни критичних налаштувань [25].

Таблиця 1.2 – Порівняльна характеристика методів виявлення аномалій у технологічних даних

Група	**Вимога**	**Зміст**	**Очікуваний результат**	**Група**
Функціональні	Збирання даних	Отримання параметрів від датчиків, ПЛК, SCADA або тестового набору	Потік даних для аналізу	Функціональні
Функціональні	Перевірка коректності	Виявлення пропусків, неможливих значень і збоїв сигналу	Зменшення помилок аналізу	Функціональні
Функціональні	Попередня обробка	Фільтрація, згладжування, розрахунок допоміжних показників	Підготовлені дані	Функціональні
Функціональні	Виявлення аномалій	Аналіз меж, тренду, швидкості зміни та відхилень	Визначення небезпечних станів	Функціональні
Функціональні	Попередження	Формування повідомлень для оператора	Своєчасне інформування	Функціональні
Функціональні	Журналювання	Збереження подій, повідомлень і дій системи	Можливість аналізу історії	Функціональні
Нефункціональні	Надійність	Стабільна робота з шумними або неповними даними	Зменшення хибних спрацювань	Нефункціональні
Нефункціональні	Масштабованість	Додавання нових параметрів і джерел	Розширення системи	Нефункціональні
Нефункціональні	Інтегрованість	Можливість зв’язку з ПЛК, SCADA, БД	Практична придатність	Нефункціональні
Нефункціональні	Захист налаштувань	Ролі користувачів і журналювання змін	Безпечна експлуатація	Нефункціональні

1.5 Постановка дослідження та вибір підходу до реалізації системи

Основна задача дослідження полягає в розробленні автоматизованої системи, яка отримує технологічні параметри, виконує їх попередню обробку, аналізує відхилення від нормального режиму, класифікує рівень небезпеки та формує попередження для оператора. Вхідними даними є часові послідовності температури, тиску, вологості, рівня, витрати, вібрації та струму

електродвигуна. Вихідними даними є стан параметра, рівень небезпеки, текст попередження й запис у журналі подій.

Система має виявляти вихід параметра за межі, швидке зростання або падіння, поступовий дрейф, стрибкоподібну зміну, нестабільність сигналу, пропуски, зависання датчика та комбіновані аномалії за кількома параметрами. Очікуваний результат - своєчасне попередження оператора про небезпечну тенденцію до настання аварійної ситуації.

Для реалізації обрано комбінований алгоритм. Він включає перевірку допустимих меж, аналіз швидкості зміни параметра, розрахунок ковзного середнього, оцінку відхилення від нормального режиму та формування інтегрального індексу аномальності. У загальному вигляді індекс можна подати формулою:

$$I_{\text{a}} = w_1 A\_lim + w_2 A\_rate + w_3 A\_avg + w_4 A\_trend \qquad (1.1)$$

де I_a - інтегральний індекс аномальності; A_lim - ознака наближення або виходу за межі; A_rate - ознака надмірної швидкості зміни; A_avg - ознака відхилення від ковзного середнього; A_trend - ознака небезпечного тренду; w_1–w_4 - вагові коефіцієнти. На основі індексу система визначає стан як нормальний, попереджувальний, критичний або аварійний.

Вибраний підхід є доцільним для бакалаврської роботи, оскільки він не потребує складного навчального набору даних, але дозволяє враховувати не лише абсолютні межі параметрів, а й динаміку їх зміни. Це створює основу для проєктування архітектури системи, інформаційної моделі та програмних модулів.

1.6 Висновок до першого розділу

У першому розділі проаналізовано технологічні дані як основу функціонування комп’ютеризованих систем управління та раннього попередження аварій. Встановлено, що такі дані мають часову природу, можуть надходити з різних джерел і містити шуми, пропуски або некоректні вимірювання, що потребує попередньої обробки.

Розглянуто типи аномалій у технологічних процесах і методи їх виявлення. Обґрунтовано вибір комбінованого алгоритму, який поєднує пороговий контроль, ковзне середнє, аналіз швидкості зміни та інтегральний індекс аномальності. Сформовані вимоги створюють основу для проєктування автоматизованої системи в наступному розділі.

2 ПРОЕКТНА ЧАСТИНА

У другому розділі виконується проєктування автоматизованої системи виявлення аномалій у технологічних даних. Система розглядається як програмно-інформаційна підсистема, що може працювати з тестовими даними або бути інтегрована з ПЛК, SCADA-системою чи базою історичних параметрів.

Проєктна частина охоплює розроблення архітектури, інформаційної моделі, алгоритму виявлення аномалій, програмних модулів і операторського інтерфейсу. Усі рішення формуються з урахуванням вимог до надійності, зрозумілості результатів та можливості подальшого впровадження.

2.1 Загальна архітектура системи виявлення аномалій

Автоматизована система виявлення аномалій повинна мати модульну багаторівневу архітектуру. До її складу входять рівень збору технологічних даних, рівень попередньої обробки, аналітичний модуль, база даних, підсистема формування попереджень і операторський інтерфейс. Така структура відповідає принципам побудови комп’ютеризованих систем управління [16], [18].

Рівень збору даних забезпечує приймання значень від датчиків, ПЛК, SCADA або тестового набору. Рівень попередньої обробки виконує перевірку повноти, фільтрацію, згладжування та підготовку даних до аналізу. Аналітичний модуль реалізує обраний алгоритм виявлення аномалій, а база даних зберігає поточні значення, історію, пороги, аномальні події та попередження.

Підсистема попереджень перетворює результати аналізу на повідомлення для оператора. Інтерфейс оператора відображає поточні параметри, графіки, індикатори стану, активні повідомлення і журнал подій. Система не замінює основний аварійний захист, а виконує функцію аналітичної надбудови для підтримки прийняття рішень.

Рисунок 2.1 – Структурна схема автоматизованої системи виявлення аномалій у технологічних даних

2.2 Розроблення інформаційної моделі технологічних даних

Інформаційна модель визначає, які дані обробляє система та як вони пов’язані між собою. Основними сутностями є технологічний параметр, датчик, виміряне значення, допустимий діапазон, аномальна подія, попередження, журнал роботи системи та користувач. Така модель забезпечує структуроване збереження даних і результатів аналізу.

Сутність “Технологічний параметр” описує контрольовану величину, наприклад температуру, тиск або вібрацію. Сутність “Датчик” характеризує джерело вимірювання. “Виміряне значення” містить фактичне значення і час вимірювання. “Допустимий діапазон” задає нормальні, попереджувальні та критичні межі. “Аномальна подія” фіксує виявлене відхилення, а “Попередження” відображає повідомлення оператору.

У практичній реалізації інформаційна модель може бути відображена у структурі реляційної бази даних. Для кожного параметра зберігаються його характеристики, для кожного вимірювання - час і значення, а для кожної

аномалії - тип, індекс аномальності, рівень небезпеки та відповідне повідомлення.

Рисунок 2.2 – Інформаційна модель даних автоматизованої системи

Таблиця 2.1 – Структура основних сутностей інформаційної моделі системи

Сутність	**Основні поля**	**Призначення**	**Зв'язки**
Технологічний параметр	ID, назва, одиниця, опис, тип	Описує контрольовану величину	Пов'язаний із датчиком, вимірюваннями та межами
Датчик	ID, тип, місце, стан	Визначає джерело даних	Формує виміряні значення
Вимірюване значення	ID, час, значення, статус достовірності	Зберігає поточні та історичні значення	Може бути основою аномальної події
Допустимий діапазон	min, max, попереджувальні та критичні межі	Задає межі станів	Використовується алгоритмом аналізу
Аномальна подія	тип, індекс, рівень, час	Фіксує факт виявлення аномалії	Формує попередження і запис у журналі
Попередження	текст, пріоритет, статус, час	Передає інформацію оператору	Пов'язане з аномальною подією
Журнал роботи системи	ID, тип події, опис, час	Зберігає службові та аномальні події	Пов'язаний із подіями і користувачем
Користувач / оператор	ID, роль, рівень доступу	Описує користувача системи	Переглядає повідомлення та журнал

2.3 Алгоритм виявлення аномалій у технологічних даних

Алгоритм виявлення аномалій є центральним елементом системи. Його призначення полягає у визначенні того, чи відповідає поточний стан параметра нормальному режиму, чи містить ознаки небезпечного відхилення. Для цього використовується комбінована логіка, що враховує межі, ковзне середнє, швидкість зміни та інтегральний індекс аномальності [1], [5].

На першому етапі система отримує нове значення параметра з часовою міткою та ідентифікатором джерела. Далі виконується перевірка коректності: наявність пропусків, неможливих значень, зависання сигналу або ознак несправності датчика. Якщо дані некоректні, формується повідомлення про проблему вимірювального каналу, а подія записується до журналу.

Якщо дані коректні, виконується попередня обробка: фільтрація шумів, згладжування та розрахунок ковзного середнього. Ковзне середнє за вікном із m вимірювань може бути подане так:

$$\bar{x}_{\mathrm{i}}(k) \;=\; (1/m)\; \Sigma\; x_{\mathrm{i}}(k-j) \qquad (2.1)$$

Після цього система перевіряє допустимі межі, обчислює швидкість зміни параметра та оцінює відхилення від ковзного середнього. Швидкість зміни може бути визначена як відношення різниці між поточним і попереднім значенням до інтервалу часу:

$$v_{\mathrm{i}}(k) \;=\; |x_{\mathrm{i}}(k) \;-\; x_{\mathrm{i}}(k-1)| \;/\; \Delta t \qquad (2.2)$$

На основі часткових ознак формується інтегральний індекс аномальності, який використовується для класифікації стану. Якщо індекс низький, стан вважається нормальним. Якщо індекс перевищує попереджувальний або критичний поріг, система формує відповідне повідомлення. У разі аварійного рівня повідомлення має найвищий пріоритет і обов’язково записується до журналу.

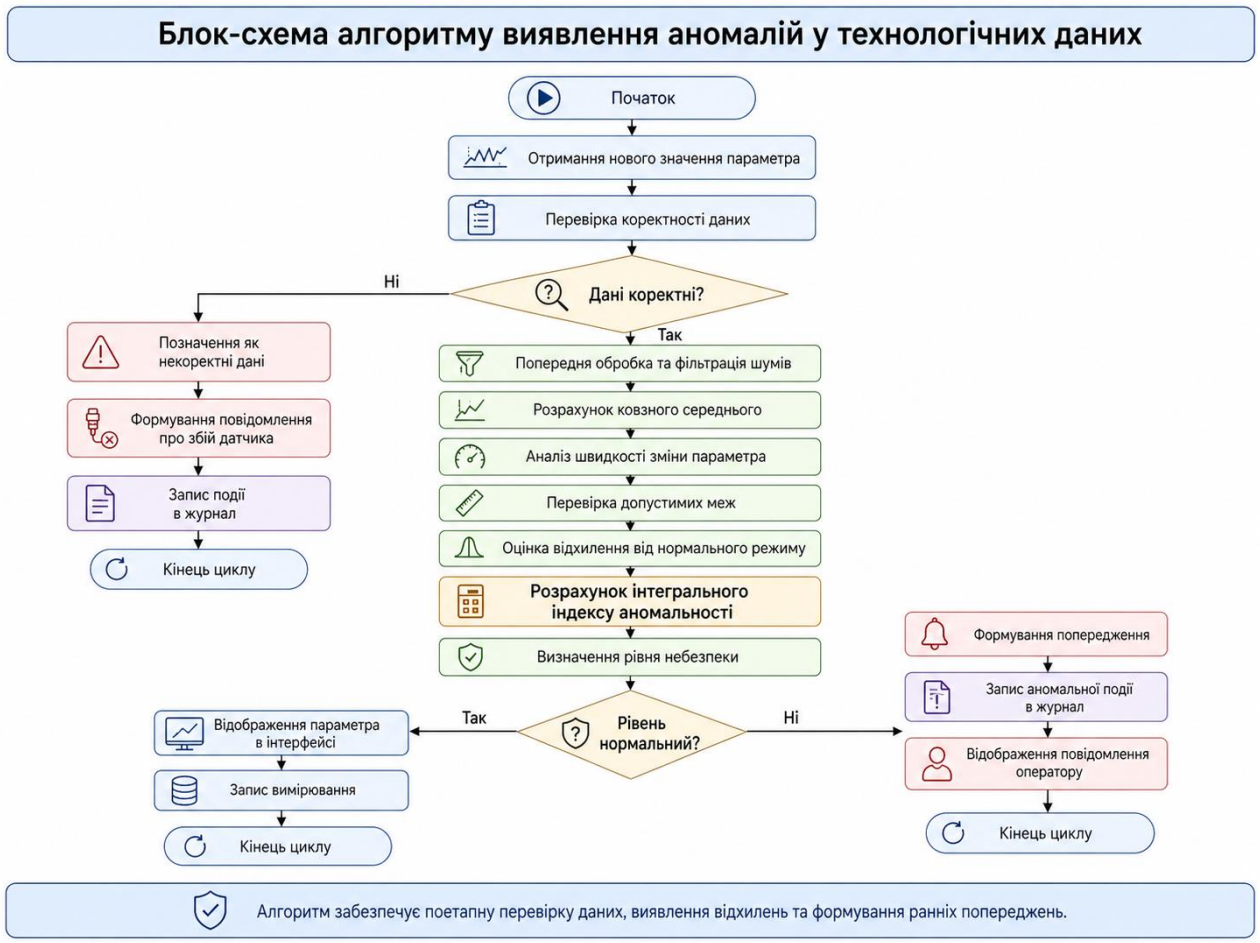


Рисунок 2.3– Блок-схема алгоритму виявлення аномалій у технологічних даних

Таблиця 2.2 – Правила визначення рівня небезпеки технологічного параметра

Рівень	**Характеристика**	**Типові ознаки**	**Дія системи**
Нормальний	Параметр у допустимих межах	Значення стабільне, індекс низький	Відображення без попередження
Попереджувальний	Перші ознаки відхилення	Наближення до межі, помірний тренд	Формування попередження
Критичний	Високий ризик порушення режиму	Швидка зміна, значне відхилення	Критичне повідомлення і запис у журнал
Аварійний	Небезпечне перевищення або сукупність ознак	Вихід за аварійні межі, комбінована аномалія	Пріоритетне аварійне повідомлення

2.4 Проєктування програмних модулів системи

Програмна структура системи будується за модульним принципом. Це спрощує розроблення, тестування, супровід і подальше розширення. Основними модулями є модуль отримання даних, модуль перевірки та очищення, модуль аналізу аномалій, модуль збереження даних, модуль формування попереджень, модуль візуалізації та модуль налаштувань.

Модуль отримання даних приймає значення від тестового набору, бази даних, ПЛК або SCADA. Модуль перевірки та очищення виявляє пропуски, неможливі значення, зависання сигналу та шум. Модуль аналізу реалізує алгоритм виявлення аномалій. Модуль збереження записує вимірювання, події та попередження до бази даних. Модуль попереджень формує повідомлення для оператора, а модуль візуалізації відображає параметри, графіки та журнал.

Для програмної реалізації доцільно використовувати Python як мову обробки даних, бібліотеки pandas і NumPy для роботи з часовими рядами, SQLite або PostgreSQL для збереження даних, а також вебінтерфейс або локальний застосунок для операторської панелі [23], [24]. У разі промислової інтеграції може використовуватися проміжний шлюз обміну з ПЛК або SCADA.

Рисунок 2.4 – Структура програмних модулів автоматизованої системи

2.5 Розроблення інтерфейсу оператора та підсистеми попереджень

Операторський інтерфейс є засобом взаємодії користувача із системою. Він повинен забезпечувати швидке сприйняття поточного стану технологічного процесу, відображення значень параметрів, графіків, індикаторів небезпеки, активних попереджень і журналу подій. Інтерфейс має бути зрозумілим, оскільки в умовах передаварійної ситуації оператор повинен оперативно оцінити стан об’єкта.

Підсистема попереджень формує повідомлення різних рівнів: інформаційні, попереджувальні, критичні та аварійні. Повідомлення повинно містити параметр, фактичне значення, час, рівень небезпеки й коротке пояснення причини. Наприклад: “Температура 84 °C: перевищено критичну межу та зафіксовано швидке зростання параметра”.

У системі доцільно передбачити підтвердження повідомлень оператором, фільтрацію журналу за рівнем небезпеки, перегляд історичних даних і доступ до налаштувань. Зміна критичних порогів має бути доступна лише адміністратору або відповідальній технічній особі, що відповідає базовим вимогам безпеки промислових систем [25].

Рисунок 2.5 – Макет інтерфейсу оператора системи виявлення аномалій

2.6 Висновок до другого розділу

У другому розділі розроблено проєктні рішення для автоматизованої системи виявлення аномалій. Запропоновано багаторівневу архітектуру, що охоплює збір даних, попередню обробку, аналітичний модуль, базу даних, підсистему попереджень і операторський інтерфейс. Розроблено інформаційну модель, алгоритм виявлення аномалій, структуру програмних модулів і принципи побудови інтерфейсу оператора. Отримані рішення створюють основу для моделювання роботи системи та оцінювання ефективності алгоритму в спеціальній частині.

3 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА

У третьому розділі виконується практична перевірка запропонованої системи на основі тестового набору технологічних даних. Такий підхід є доцільним у межах бакалаврської роботи, оскільки дозволяє перевірити алгоритм без підключення до реального промислового об’єкта.

Моделювання охоплює нормальні режими, короткочасні відхилення, поступове наближення до критичної межі, різкі зміни, збої датчиків і комбіновані аномалії. На основі результатів оцінюється ефективність алгоритму та формуються рекомендації щодо практичного впровадження.

3.1 Формування тестового набору технологічних даних

Для перевірки роботи системи сформовано тестовий набір даних для умовного технологічного об’єкта. До набору включено параметри температури, тиску, вологості, рівня рідини, витрати, вібрації та струму електродвигуна. Кожен запис містить часову мітку, назву параметра, одиницю вимірювання, фактичне значення та очікуваний стан.

Тестові дані повинні відображати не лише аварійні стани, а й нормальні коливання, оскільки реальні сигнали рідко є абсолютно сталими. До набору включено шумові коливання, поступове зростання температури, стрибок тиску, підвищену вібрацію, піки струму, пропуски та зависання сигналу. Це дозволяє перевірити стійкість алгоритму до різних типів ситуацій [8], [13].

Таблиця 3.1 – Характеристика тестових технологічних параметрів

Параметр	**Од.**	**Нормальний діапазон**	**Попереджувальна зона**	**Критична зона**	**Типові аномалії**
Температура	°C	45–70	70–80	80–90 і вище	Перегрівання, різкий стрибок
Тиск	бар	2,0–4,5	4,5–5,0	понад 5,0 або нижче 1,5	Зростання, падіння, стрибок
Вологість	%	40–65	65–75	понад 75	Повільне перевищення рівня
Рівень рідини	%	35–85	25–35 або 85–90	нижче 25 або понад 90	Витік, переповнення, зависання
Витрата	л/хв	20–45	15–20 або 45–50	нижче 15 або понад 50	Різке падіння, нестабільність
Вібрація	мм/с	0,5–3,0	3,0–4,5	понад 4,5	Зростання, піки
Струм	А	4–10	10–12	понад 12	Перевантаження, короткі піки

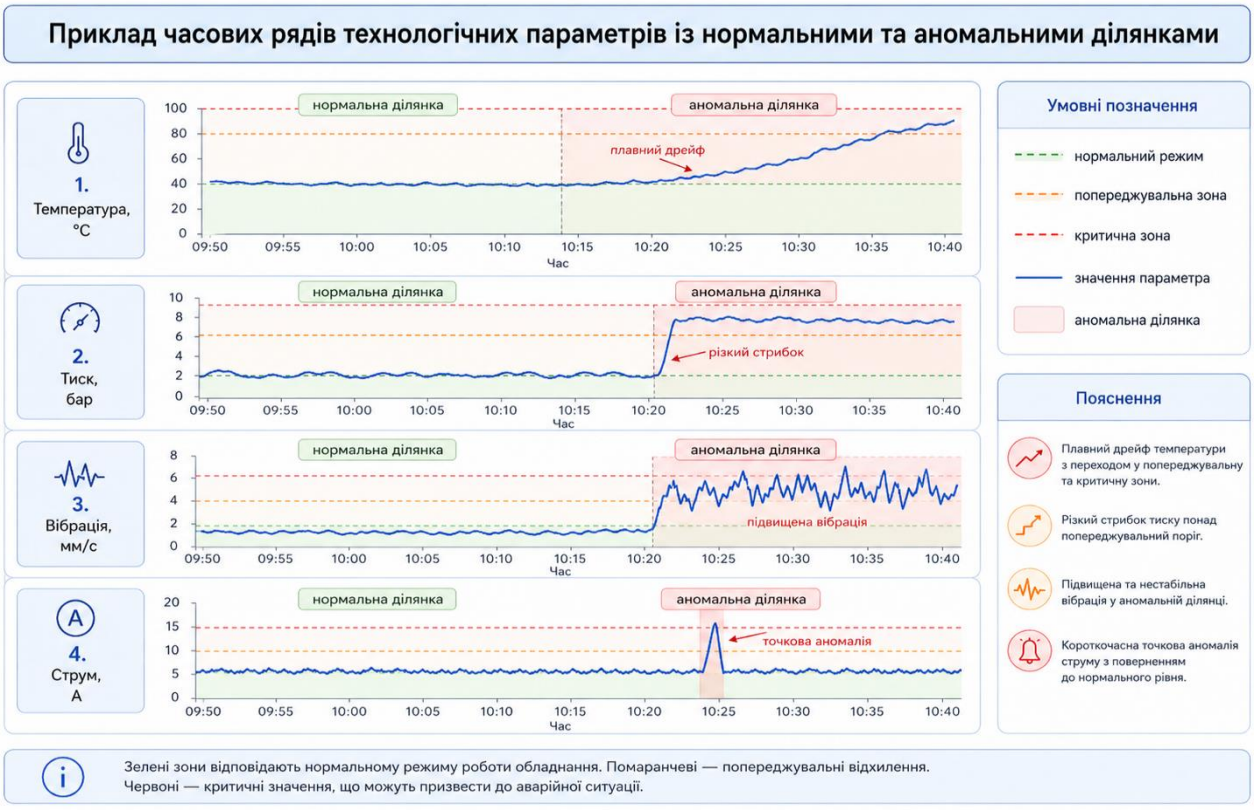


Рисунок 3.1 – Приклад часових рядів технологічних параметрів із нормальними та аномальними ділянками

3.2 Моделювання роботи системи в різних режимах

Моделювання роботи системи виконується за кількома сценаріями. Перший сценарій відповідає нормальному режиму, коли всі параметри перебувають у допустимих межах і мають лише незначні коливання. У цьому випадку система не повинна формувати попередження, а лише відображати значення та зберігати вимірювання.

Другий сценарій описує одиничне короткочасне відхилення. Система повинна перевірити повторюваність і не формувати аварійне повідомлення через один випадковий стрибок. Третій сценарій моделює поступове наближення до критичної межі, наприклад зростання температури. Тут важливо сформувати раннє попередження до аварійного перевищення.

Четвертий сценарій передбачає різку зміну параметра, наприклад стрибок тиску або струму. П’ятий сценарій моделює збій датчика: пропуск, зависання або фізично неможливе значення. Шостий сценарій охоплює комбіновану аномалію, коли одночасно змінюються кілька параметрів, що підвищує рівень небезпеки.

Таблиця 3.1 – Характеристика тестових технологічних параметрів

№	Сценарій	Вхідні умови	Очікувана реакція	Рівень
1	Нормальний режим	Параметри в межах, коливання незначні	Відображення без попереджень	Нормальний
2	Короткочасне відхилення	Одиничний стрибок тиску або струму	Перевірка повторюваності	Інформаційний / попереджувальний
3	Поступове наближення до межі	Температура або вібрація зростає	Виявлення тренду	Попереджувальний / критичний
4	Різка зміна параметра	Швидке зростання тиску або струму	Фіксація перевищення швидкості зміни	Критичний / аварійний
5	Збій датчика	Пропуск, зависання, неможливе значення	Повідомлення про проблему вимірювання	Попереджувальний
6	Комбінована аномалія	Одночасне відхилення кількох параметрів	Підвищення рівня небезпеки	Критичний / аварійний

Рисунок 3.2 – Послідовність обробки технологічних даних під час виявлення аномалії

3.3 Оцінювання ефективності алгоритму виявлення аномалій

Ефективність алгоритму оцінюється за кількістю правильно виявлених аномалій, пропущених аномалій, хибних спрацювань, середнім часом реакції та точністю визначення рівня небезпеки. Ці показники дозволяють визначити, наскільки алгоритм придатний для системи раннього попередження аварій.

Умовне моделювання виконано на наборі сценаріїв, де заздалегідь відомо, які ділянки є нормальними, попереджувальними, критичними або аварійними. Це дає змогу порівняти результат роботи системи з очікуваною класифікацією та оцінити кількість помилкових рішень.

Таблиця 3.1 – Характеристика тестових технологічних параметрів

Сценарій	**Задані аномалії**	**Виявлено**	**Пропущено**	**Хибні спрацювання**	**Час реакції**	**Точність рівня**
Нормальний режим	0	0	0	2	—	98 %
Короткочасне відхилення	10	9	1	1	2 с	90 %
Поступове наближення до межі	15	14	1	1	8 с	93 %
Різка зміна параметра	12	12	0	2	1 с	95 %
Збій датчика	8	7	1	1	3 с	88 %
Комбінована аномалія	10	10	0	1	2 с	96 %
Загалом	55	52	3	8	3,2 с	93 %

Результати свідчать, що комбінований алгоритм виявив 52 із 55 заданих аномальних подій. Найкращі результати отримано для різких змін і комбінованих аномалій, оскільки вони мають виражені ознаки. Для поступових аномалій час реакції є більшим, оскільки потрібне накопичення достатньої кількості даних для підтвердження тренду. Для збоїв датчиків необхідні додаткові правила контролю достовірності вимірювального каналу.

Хибні спрацювання здебільшого виникали через шумові коливання та короткочасні перехідні процеси. Їх можна зменшити завдяки налаштуванню вікна ковзного середнього, правил підтвердження аномалії кількома

послідовними значеннями та уточненню вагових коефіцієнтів індексу аномальності.

Рисунок 3.3 – Графік виявлення аномальної ділянки технологічного параметра

3.4 Аналіз надійності та обмежень розробленої системи

Основною перевагою системи є можливість раннього виявлення небезпечних відхилень. На відміну від простого порогового контролю, система враховує динаміку параметра, швидкість зміни та відхилення від ковзного середнього. Це дозволяє формувати попередження ще до досягнення аварійної межі.

До переваг також належать гнучке налаштування порогів, зрозумілість результатів для оператора, ведення журналу подій, модульна архітектура й можливість інтеграції з елементами АСУ. Система може працювати спочатку з

тестовими даними, а надалі бути підключена до реальних джерел технологічної інформації.

Водночас ефективність системи залежить від якості вхідних даних, точності датчиків, правильності порогів і відповідності налаштувань конкретному технологічному об’єкту. Надто жорсткі пороги можуть спричинити багато хибних спрацювань, а надто широкі - запізнілу реакцію. Приховані або дуже повільні аномалії потребують довших часових вікон або прогнозних моделей.

Окремо слід враховувати базові вимоги кібербезпеки. Необхідно обмежити доступ до налаштувань, журналювати зміни, контролювати цілісність даних і не допускати несанкціонованої зміни порогів, оскільки це може вплинути на своєчасність попереджень [25].

3.5 Рекомендації щодо практичного впровадження системи

Практичне впровадження системи доцільно виконувати поетапно. Спочатку необхідно визначити критичні технологічні параметри, що найбільше впливають на безпечну роботу об’єкта. Далі для кожного параметра потрібно встановити нормальні, попереджувальні, критичні та аварійні межі на основі технічної документації, регламентів і історичних даних.

Наступним кроком є організація збору даних від датчиків, ПЛК, SCADA або бази історичних параметрів. Перед використанням у реальному часі систему бажано перевірити на історичних або змодельованих даних. Після цього уточнюються пороги, розмір вікна ковзного середнього, вагові коефіцієнти та правила формування повідомлень.

Оператор повинен бути навчений інтерпретувати рівні небезпеки, графіки, повідомлення і журнал подій. Система має працювати як додатковий аналітичний інструмент підтримки оператора, а не як заміна основного аварійного захисту. У подальшому її можна вдосконалити за рахунок машинного навчання, прогнозування часових рядів, інтеграції з MES/ERP та розширення засобів кіберзахисту [10], [22], [25].

3.6 Висновок до третього розділу

У третьому розділі сформовано тестовий набір технологічних даних, змодельовано нормальні та аномальні режими, оцінено ефективність алгоритму й проаналізовано обмеження системи. Показано, що комбінований алгоритм здатний виявляти різні типи аномалій і формувати ранні попередження для оператора.

Визначено, що система має практичну цінність як аналітична підсистема підтримки оператора. Її впровадження повинно виконуватися поступово, із попереднім тестуванням, налаштуванням порогів, навчанням персоналу та регулярним аналізом ефективності.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1 Питання щодо охорони праці

Охорона праці є важливою складовою організації безпечної професійної діяльності під час розроблення, впровадження та експлуатації автоматизованої системи виявлення аномалій у технологічних даних. У межах цієї роботи основна увага приділяється умовам праці користувачів, які виконують розроблення програмного забезпечення, налаштування алгоритмів аналізу, роботу з операторським інтерфейсом, обробку технологічних даних та контроль стану автоматизованої системи. Особливість такої діяльності полягає в поєднанні інтелектуального навантаження, тривалої роботи з комп'ютерною технікою, аналізу інформації на екрані, а також потенційної взаємодії з елементами комп'ютеризованої системи управління.

Під час виконання робіт, пов'язаних із розробленням автоматизованої системи, основними потенційно небезпечними та шкідливими факторами є тривале статичне положення тіла, зорове навантаження, напруження уваги, монотонність окремих операцій, електромагнітні та теплові впливи від комп'ютерного обладнання, можливість ураження електричним струмом у разі порушення правил експлуатації електрообладнання, а також психоемоційне навантаження під час аналізу аварійних або передаварійних ситуацій. У зв'язку з цим організація робочого місця повинна забезпечувати зручність виконання завдань, безпечну експлуатацію технічних засобів і зниження негативного впливу виробничих факторів на працівника.

Робоче місце користувача комп'ютеризованої системи має бути організоване так, щоб забезпечити правильне положення тіла, достатній простір для розміщення монітора, клавіатури, маніпулятора, документації та інших допоміжних засобів. Монітор доцільно розташовувати на такій відстані, щоб оператор міг сприймати інформацію без надмірного напруження зору. Екран не повинен створювати відблисків, а рівень освітлення має бути достатнім для роботи з текстовою, табличною та графічною інформацією. Робоче крісло

повинно забезпечувати підтримку спини, а висота робочої поверхні має відповідати зручному положенню рук під час роботи з клавіатурою та мишею.

Особливу увагу необхідно приділяти режиму праці та відпочинку. Під час тривалої роботи з екранними пристроями доцільно передбачати короткі перерви для зниження зорового й нервово-емоційного навантаження. У процесі розроблення та тестування системи оператор або розробник працює з великими обсягами даних, таблицями, графіками, журналами подій і повідомленнями про аномалії, тому тривале безперервне зосередження може призводити до втоми та зниження уважності. Для запобігання цьому варто чергувати операції аналізу, документування, перевірки результатів і відпочинку.

Під час роботи з електронним обладнанням необхідно дотримуватися правил електробезпеки. Комп’ютерна техніка, мережеве обладнання, джерела безперебійного живлення, комутатори, промислові шлюзи або інші пристрої повинні бути справними та підключеними відповідно до вимог безпечної експлуатації. Забороняється використовувати пошкоджені кабелі, розетки, подовжувачі або обладнання з ознаками перегрівання. Перед підключенням додаткових пристроїв необхідно переконатися у відповідності параметрів живлення та відсутності механічних пошкоджень.

Якщо автоматизована система виявлення аномалій інтегрується з реальним технологічним об’єктом, необхідно враховувати безпеку робіт біля обладнання, датчиків, шаф автоматики, контролерів і мережевих пристроїв. Доступ до таких елементів повинні мати лише відповідальні особи, які знають порядок безпечної роботи з електрообладнанням і засобами автоматизації. Під час налаштування датчиків, контролерів або промислових комунікацій потрібно уникати самовільного втручання в основний контур керування, оскільки некоректна зміна параметрів може призвести до порушення технологічного процесу.

Важливою складовою охорони праці є забезпечення безпечної взаємодії оператора з програмним інтерфейсом системи. Інтерфейс повинен бути зрозумілим, не перевантаженим зайвими елементами, мати чітку індикацію станів і зрозумілі повідомлення про виявлені аномалії. Неправильне або

неоднозначне відображення інформації може створити ризик помилкових дій оператора. Тому під час проєктування інтерфейсу необхідно передбачати чітке розмежування нормальних, попереджувальних, критичних і аварійних станів, використання кольорової та текстової індикації, а також ведення журналу подій.

Для зниження ризику помилок персоналу потрібно передбачити розмежування прав доступу. Оператор має мати можливість переглядати поточні параметри, графіки, попередження та журнал подій, але зміна порогових значень, правил аналізу та вагових коефіцієнтів алгоритму повинна бути доступна лише адміністратору або відповідальній технічній особі. Такий підхід зменшує ймовірність випадкової або несанкціонованої зміни критичних налаштувань системи.

Отже, під час розроблення й експлуатації автоматизованої системи виявлення аномалій у технологічних даних питання охорони праці пов’язані насамперед із безпечною організацією робочого місця, дотриманням режиму роботи з екранними пристроями, електробезпекою, безпечним доступом до засобів автоматизації та зниженням ризику помилок оператора. Виконання цих вимог сприяє безпечній роботі персоналу, підвищує надійність експлуатації системи та забезпечує коректне використання результатів автоматизованого аналізу технологічних даних.

4.2 Питання щодо безпеки в надзвичайних ситуаціях

Безпека в надзвичайних ситуаціях є важливою складовою загальної безпеки під час розроблення та експлуатації автоматизованої системи виявлення аномалій у технологічних даних. Така система призначена для раннього попередження про небезпечні відхилення технологічних параметрів, тому її використання безпосередньо пов’язане з підвищенням готовності персоналу до реагування на передаварійні й аварійні стани. Водночас сама система та робоче місце оператора повинні функціонувати з урахуванням

можливих надзвичайних ситуацій природного, техногенного, соціального або воєнного характеру.

До потенційних надзвичайних ситуацій, які можуть вплинути на роботу комп'ютеризованої системи управління, належать пожежа, аварія електроживлення, пошкодження обладнання, відмова мережевої інфраструктури, витік небезпечних речовин, затоплення приміщення, перегрівання технічних засобів, кібератака, а також зовнішні загрози, зокрема повітряна тривога або інші небезпечні події. У таких умовах важливими є своєчасне інформування персоналу, збереження критичних даних, безпечне завершення роботи обладнання та дотримання встановленого порядку евакуації або укриття.

У разі виникнення пожежі в приміщенні, де розміщене комп'ютерне, мережеве або автоматизаційне обладнання, першочерговими діями є повідомлення відповідальних осіб і служб реагування, припинення роботи, знеструмлення обладнання за умови відсутності небезпеки для персоналу та організований вихід із небезпечної зони. Забороняється використовувати воду для гасіння електрообладнання, яке перебуває під напругою. Для таких випадків мають використовуватися відповідні первинні засоби пожежогасіння, придатні для електроустановок. Працівники повинні знати місце розташування вогнегасників, шляхів евакуації, аварійних виходів і засобів зв'язку.

Одним із важливих ризиків для автоматизованої системи є раптове зникнення електроживлення. Воно може призвести до втрати поточних даних, некоректного завершення роботи програмних модулів, пошкодження бази даних або недоступності операторського інтерфейсу. Для зменшення таких ризиків доцільно використовувати джерела безперебійного живлення, періодичне автоматичне збереження даних, резервне копіювання журналів подій і коректну процедуру відновлення після аварійного вимкнення. Особливо важливо забезпечити збереження журналу аномальних подій, оскільки він може бути потрібним для аналізу причин порушення технологічного режиму.

У разі виникнення аварії технологічного обладнання автоматизована система повинна виконувати інформаційну функцію: фіксувати небезпечні

параметри, формувати повідомлення для оператора, записувати події до журналу та відображати стан системи. При цьому рішення щодо зупинки обладнання, евакуації персоналу або переходу до аварійного режиму повинні виконуватися відповідно до затверджених інструкцій підприємства. Система виявлення аномалій не повинна підміняти основні засоби аварійного захисту, а має доповнювати їх, надаючи оператору ранню інформацію про небезпечні тенденції.

Під час повітряної тривоги або іншої зовнішньої загрози першочерговим є збереження життя і здоров’я персоналу. Працівники повинні діяти відповідно до встановленого порядку: припинити роботу, за можливості безпечно зберегти важливі дані, вимкнути обладнання, якщо це передбачено інструкцією і не створює додаткового ризику, та пройти до найближчого укриття. Якщо обладнання або програмні модулі повинні продовжувати роботу автоматично, необхідно передбачити режим автономного журналювання, резервне живлення або віддалене відновлення роботи після завершення небезпеки.

Важливим елементом безпеки в надзвичайних ситуаціях є підготовка персоналу. Оператор автоматизованої системи повинен знати порядок дій у разі пожежі, аварійного вимкнення живлення, відмови системи, втрати зв’язку з датчиками, повітряної тривоги або іншої загрози. Крім того, персонал повинен розуміти значення різних рівнів повідомлень системи: інформаційного, попереджувального, критичного й аварійного. Це дозволяє уникнути паніки, забезпечити правильну реакцію та зменшити час прийняття рішення.

Для підвищення стійкості автоматизованої системи до надзвичайних ситуацій доцільно передбачити резервування важливих компонентів. Насамперед це стосується бази даних, журналу подій, налаштувань алгоритму та каналів передавання даних. Резервні копії повинні зберігатися так, щоб їх можна було використати для відновлення роботи системи після збою. Якщо система інтегрована з SCADA або ПЛК, необхідно забезпечити, щоб відмова аналітичного модуля не порушувала роботу основного контуру керування.

Окремо необхідно враховувати інформаційну безпеку як складову безпеки в надзвичайних ситуаціях. Несанкціонована зміна порогів, правил

аналізу або журналів подій може призвести до того, що система не сформує попередження про небезпечний стан або, навпаки, створюватиме надмірну кількість хибних сигналів. Тому доцільно передбачити контроль доступу, журналювання дій користувачів, резервне збереження налаштувань і перевірку цілісності даних.

Таким чином, питання безпеки в надзвичайних ситуаціях для розробленої автоматизованої системи охоплюють як захист персоналу, так і забезпечення стійкості програмно-технічної інфраструктури. Основними заходами є підготовка персоналу, дотримання порядку дій під час пожежі, аварійного вимкнення живлення, повітряної тривоги або відмови обладнання, резервування даних, журналювання подій і забезпечення контрольованого доступу до критичних налаштувань. Реалізація таких заходів підвищує надійність системи та сприяє своєчасному реагуванню на небезпечні ситуації..

ВИСНОВКИ

У бакалаврській кваліфікаційній роботі розглянуто задачу розроблення автоматизованої системи виявлення аномалій у технологічних даних для раннього попередження аварій. Обґрунтовано актуальність теми, оскільки сучасні комп'ютеризовані системи управління генерують значні обсяги даних, які можуть містити ранні ознаки несправностей, порушень режимів або аварійних ситуацій.

Проаналізовано особливості технологічних даних, їх джерела, часову природу та проблеми якості вимірювань. Розглянуто поняття аномалії, її типи та зв'язок із передаварійними станами. Показано, що для раннього попередження недостатньо лише контролю допустимих меж, оскільки небезпечна ситуація часто формується поступово.

Проаналізовано методи виявлення аномалій і обґрунтовано комбінований підхід, що поєднує пороговий контроль, ковзне середнє, аналіз швидкості зміни параметра та інтегральний індекс аномальності. Сформовано функціональні й нефункціональні вимоги до системи, зокрема щодо збору даних, попередньої обробки, класифікації рівня небезпеки, формування повідомлень, журналювання та візуалізації.

Розроблено архітектуру автоматизованої системи, інформаційну модель технологічних даних, алгоритм виявлення аномалій, структуру програмних модулів та макет інтерфейсу оператора. Система розглядається як аналітична підсистема, що може бути інтегрована з ПЛК, SCADA або базою історичних параметрів.

У спеціальній частині сформовано тестовий набір даних, змодельовано нормальні й аномальні режими, проведено оцінювання ефективності алгоритму та визначено переваги й обмеження системи. Умовні результати моделювання показали, що запропонований підхід здатний виявляти більшість аномалій і формувати попередження до настання аварійного стану.

Мету роботи досягнуто: розроблено концепцію та проєктні рішення автоматизованої системи, що забезпечує аналіз технологічних параметрів,

виявлення відхилень від нормального режиму та формування ранніх попереджень. Подальший розвиток може бути спрямований на використання машинного навчання, прогнозних моделей, інтеграцію з реальними промисловими системами та посилення кіберзахисту.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ

1 Chandola, V., Banerjee, A., & Kumar, V. (2009). Anomaly detection: A survey. ACM Computing Surveys, 41(3), Article 15.

2 Pimentel, M. A. F., Clifton, D. A., Clifton, L., & Tarassenko, L. (2014). A review of novelty detection. Signal Processing, 99, 215–249.

3 Aggarwal, C. C. (2017). Outlier analysis (2nd ed.). Springer.

4 Hodge, V. J., & Austin, J. (2004). A survey of outlier detection methodologies. Artificial Intelligence Review, 22, 85–126.

5 Qin, S. J. (2012). Survey on data-driven industrial process monitoring and diagnosis. Annual Reviews in Control, 36(2), 220–234.

6 Box, G. E. P., Jenkins, G. M., Reinsel, G. C., & Ljung, G. M. (2015). Time series analysis: Forecasting and control (5th ed.). Wiley.

7 Chiang, L. H., Russell, E. L., & Braatz, R. D. (2001). Fault detection and diagnosis in industrial systems. Springer.

8 Jardine, A. K. S., Lin, D., & Banjevic, D. (2006). A review on machinery diagnostics and prognostics implementing condition-based maintenance. Mechanical Systems and Signal Processing, 20(7), 1483–1510.

9 Mobley, R. K. (2002). An introduction to predictive maintenance (2nd ed.). Butterworth-Heinemann.

10 Lee, J., Bagheri, B., & Kao, H.-A. (2015). A cyber-physical systems architecture for Industry 4.0-based manufacturing systems. Manufacturing Letters, 3, 18–23.

11 Wollschlaeger, M., Sauter, T., & Jasperneite, J. (2017). The future of industrial communication: Automation networks in the era of the Internet of Things and Industry 4.0. IEEE Industrial Electronics Magazine, 11(1), 17–27.

12 OPC Foundation. (2017). OPC Unified Architecture Specification, Part 1: Overview and Concepts. OPC Foundation.

13 Park, Y.-J., Fan, S.-K. S., & Hsu, C.-Y. (2020). A review on fault detection and process diagnostics in industrial processes. Processes, 8(9), Article 1123.

14 Venkatasubramanian, V., Rengaswamy, R., Yin, K., & Kavuri, S. N. (2003). A review of process fault detection and diagnosis: Part I: Quantitative model-based methods. Computers & Chemical Engineering, 27(3), 293–311.

15 International Electrotechnical Commission. (2013). IEC 62443-3-3: Industrial communication networks - Network and system security - Part 3-3: System security requirements and security levels. IEC.

16 Boyer, S. A. (2010). SCADA: Supervisory control and data acquisition

17 Petruzella, F. D. (2017). Programmable logic controllers (5th ed.).

18 Bolton, W. (2015). Programmable logic controllers (6th ed.). Newnes.

19 Montgomery, D. C. (2019). Introduction to statistical quality control (

20 Hyndman, R. J., & Athanasopoulos, G. (2021). Forecasting: Principles and practice (3rd ed.). OTexts.

21 International Society of Automation. (2010). ANSI/ISA-95.00.01-2010: Enterprise-control system integration - Part 1: Models and terminology. ISA.

22 Hastie, T., Tibshirani, R., & Friedman, J. (2009). The elements of statistical learning: Data mining, inference, and prediction (2nd ed.). Springer.

23 Pedregosa, F., Varoquaux, G., Gramfort, A., Michel, V., Thirion, B., Grisel, O., Blondel, M., Prettenhofer, P., Weiss, R., Dubourg, V., VanderPlas, J., Passos, A., Cournapeau, D., Brucher, M., Perrot, M., & Duchesnay, É. (2011). Scikit-learn: Machine learning in Python. Journal of Machine Learning Research, 12, 2825

24 McKinney, W. (2022). Python for data analysis: Data wrangling with pandas, NumPy, and Jupyter (3rd ed.). O’Reilly Media.

25 Stouffer, K., Zimmerman, T., Tang, C., Lubell, J., Cichonski, J., McCarthy, J., & Anand, R. (2023). Guide to operational technology (OT) security (NIST Special Publication 800-82 Revision 3). NIST

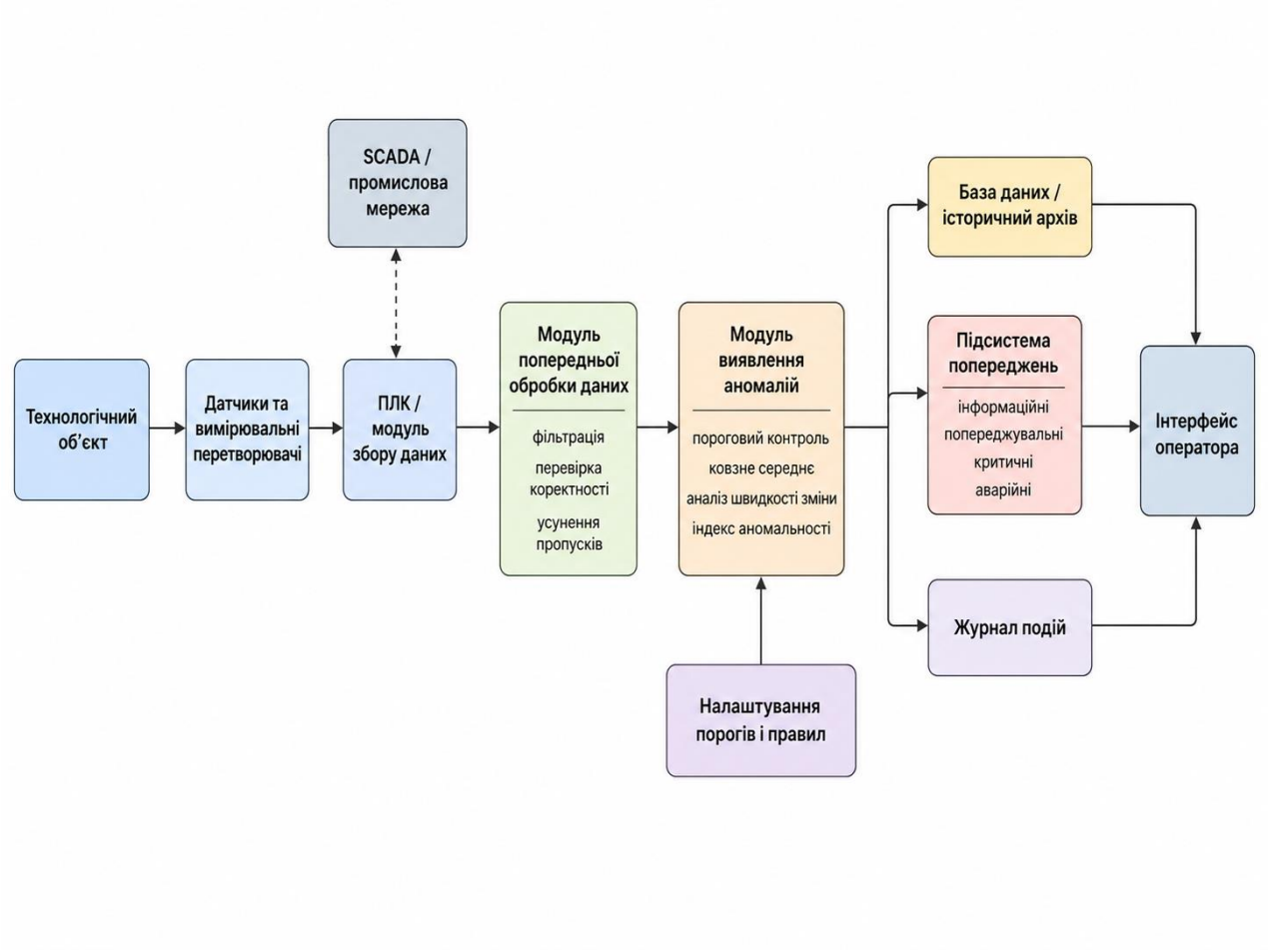
26 I. Didych, A. Stanko, A. Mykytyshyn, M. Mytnyk, «Application of machine learning methods to the prediction of NO_2 concentration in the air environment». In ITTAP-2024.

27 O. Duda, A. Mykytyshyn, M. Mytnyk, A. Stanko, «Information technology sets formation and "TNTU Smart Campus" services network support». In ITTAP-2024., pp. 93-105.

ДОДАТКИ

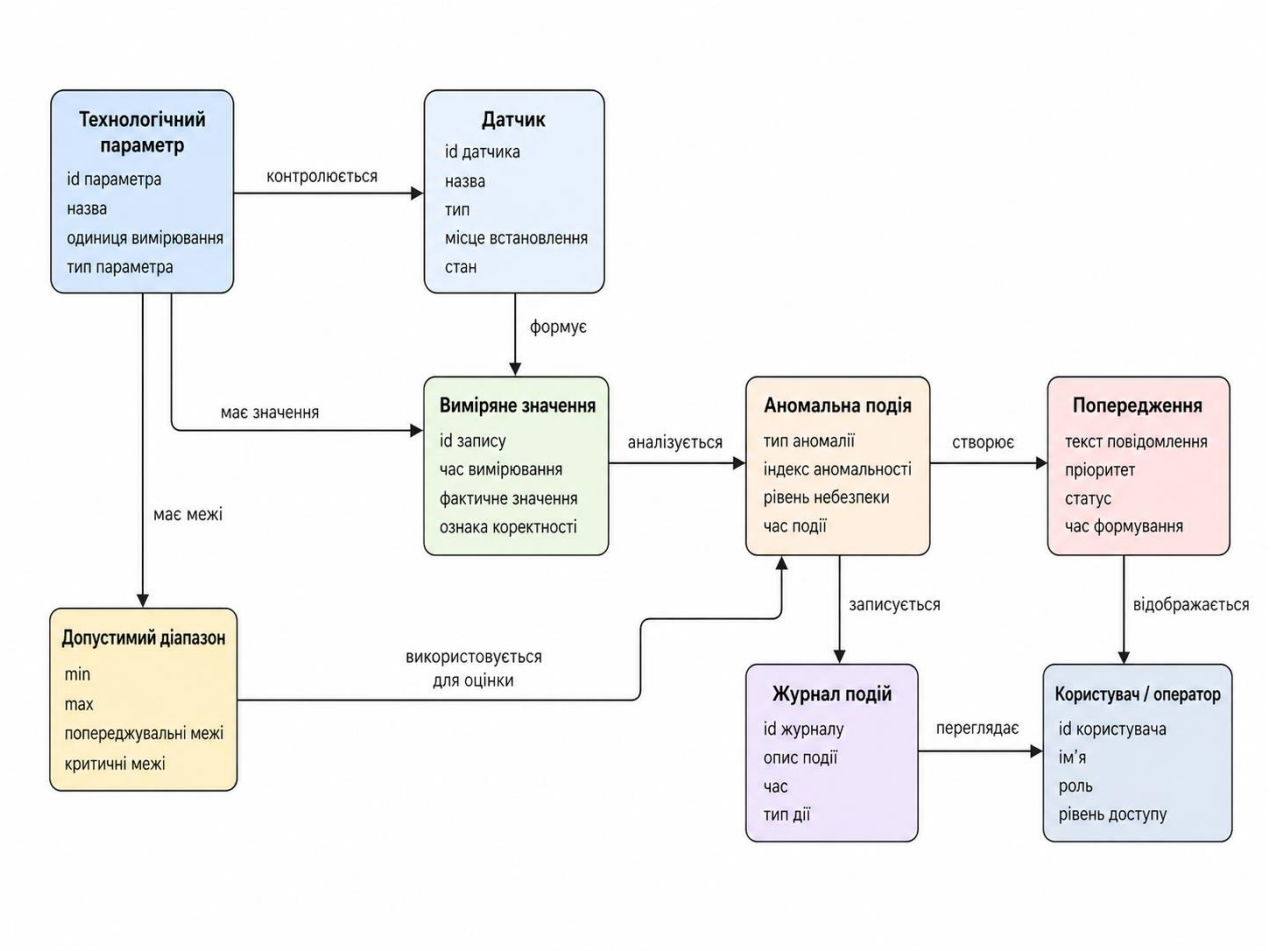
Додаток А

Структурна схема автоматизованої системи виявлення аномалій



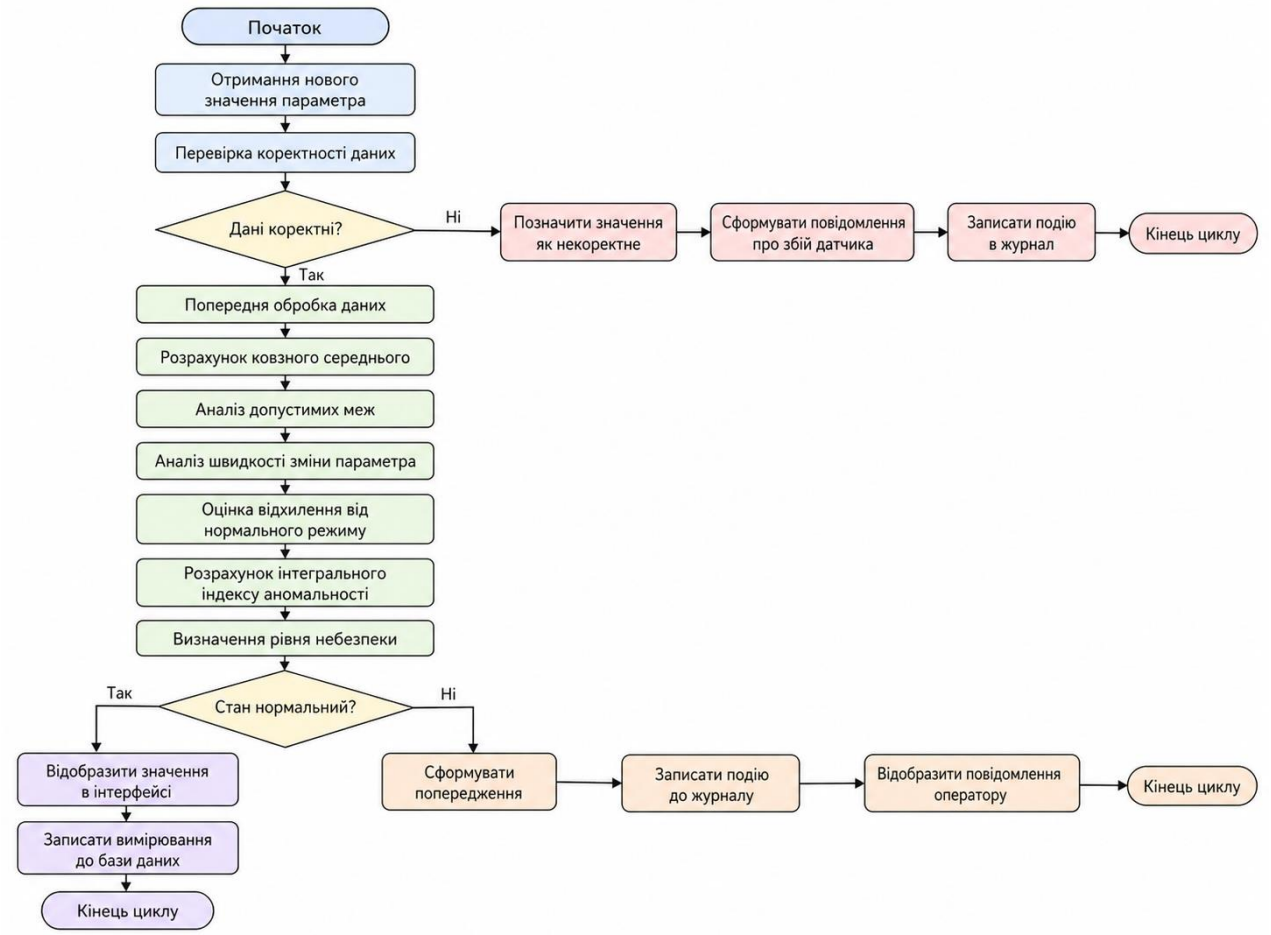
Додаток Б

Інформаційна модель технологічних даних



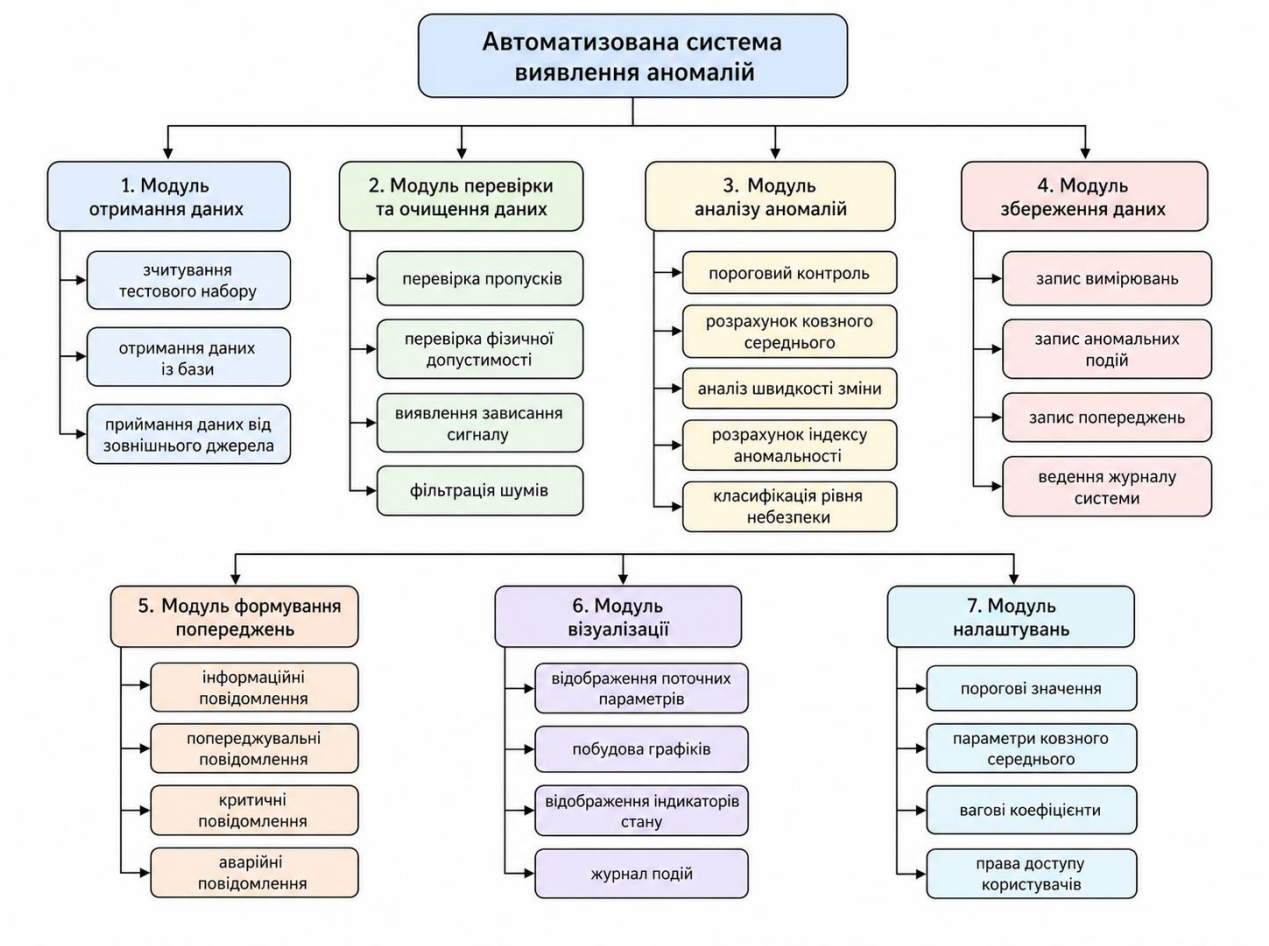
Додаток В

Блок-схема алгоритму виявлення аномалій



Додаток Г

Структура програмних модулів системи



Додаток Д

Фрагменти програмного коду

```
class AnomalyDetector:
    def __init__(self, limits, window=5):
        self.limits = limits
        self.window = window
        self.values = []

    def moving_average(self):
        data = self.values[-self.window:]
        return sum(data) / len(data) if data else 0

    def analyze(self, value):
        self.values.append(value)
        avg = self.moving_average()
        limit_score = 1 if value > self.limits["critical"]
else 0
        warning_score = 0.5 if value > self.limits["warning"]
else 0
        avg_score = min(abs(value - avg) / max(avg, 1), 1)
        index = 0.5 * limit_score + 0.3 * warning_score + 0.2
* avg_score
        if index >= 0.8:
            return "Аварійний", index
        if index >= 0.6:
            return "Критичний", index
        if index >= 0.3:
            return "Попереджувальний", index
    return "Нормальний", index
```

Додаток Е

Приклад тестового набору технологічних даних

Час	Темп., °C	Тиск, бар	Вологість %	Рівень %	Вібрація мм/с	Струм А	Очікуваний стан
10:00:01	56	3,1	52	68	1,4	6,8	Нормальний
10:00:04	63	3,4	54	67	1,7	7,4	Нормальний
10:00:06	74	3,7	56	66	2,1	8,0	Попереджувальний
10:00:08	84	4,4	60	64	2,9	9,2	Критичний
10:00:10	92	5,2	64	63	4,8	12,4	Аварійний

Додаток Ж

Результати моделювання роботи системи

Сценарій	Очікуваний стан	Реакція системи	Результат
Нормальний режим	Параметри в нормі	Відображення без попереджень	Коректно
Короткочасний стрибок	Попереджувальний	Сформовано коротке попередження	Коректно
Поступове зростання температури	Попереджувальний → критичний	Виявлено тенденцію до перегрівання	Коректно
Зависання датчика	Аномалія вимірювального каналу	Повідомлення про можливий збій	Коректно
Комбінована аномалія	Критичний / аварійний	Підвищено рівень небезпеки	Коректно

Додаток И

Макет інтерфейсу оператора