

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Чорноморський національний університет імені Петра Могили
Факультет комп'ютерних наук
Кафедра автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій

ДОПУЩЕНО ДО ЗАХИСТУ
В. о. завідувача кафедри АКІТ,
кандидат технічних наук, доцент

_____ М. І. Сіделев
“ ____ ” _____ 2023 р.

МАГІСТЕРСЬКА НАУКОВА РОБОТА
на тему: «**Автоматизована система моніторингу роботи ДВЗ маломірних суден**»

Пояснювальна записка

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

151 – МНР – 671. 21930502

Студент _____ Яценко С. Я.

Керівник _____ Прищепов О.Ф.

Консультант _____ Григор'єва Л.І.
(дата)

Миколаїв – 2023

АНОТАЦІЯ

Яценко С. Я. Автоматизована система моніторингу роботи ДВЗ маломірних суден.– Кваліфікаційна робота магістра зі спеціальності 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології. – Чорноморський національний університет імені Петра Могили, 2023.

Пояснювальна записка магістерської роботи складається зі вступу, трьох розділів, висновків, переліку джерел посилання та спеціальної частини з охорони праці.

У вступі визначається актуальність теми, наведені задачі, які заплановано вирішити для досягнення поставленої мети. У першому розділі проводиться аналіз інформації з наукової періодики, встановлюється наукове обґрунтування вибраних показників моніторингу, визначаються завдання дослідження. У другому розділі розробляється алгоритм, функціональна схема системи, схема підключення модулів ардуїно, розглядаються елементи системи, особливості їх функціонування. У третьому розділі розроблено алгоритм роботи програмних компонентів системи, описано функціонал програмного забезпечення та задачі, що вирішуються в ході роботи системи. Розроблено математичну модель. В четвертому розділі розглянуто питання охорони праці та безпеки у надзвичайних ситуаціях, проаналізовано систему заходів і засобів по запобіганню впливу на людину несприятливих факторів, які супроводжують роботу інженера під час вахти. Виконано аналіз освітлення та мікрокліматичних умов на робочому місці, управління цивільним захистом на підприємстві.

Магістерська робота містить 137 с., 29 рис., 10 табл., 30 джерел посилань.

Ключові слова: суднові ДВЗ, ардуїно, моніторинг, вібродіагностика, екомоніторинг, датчики, маломірні судна.

ANNOTATION

Yatsenko S. Ya. Automated Monitoring System for Small Vessel Engine Operation. - Master's thesis in the specialty of 151 Automation and Computer-Integrated Technologies. - Petro Mohyla Black Sea National University, 2023.

The explanatory note of the master's thesis consists of an introduction, three chapters, conclusions, a list of references, and a special section on occupational safety.

The introduction establishes the relevance of the topic and outlines the tasks planned to be addressed to achieve the set goal.

The first chapter conducts an analysis of information from scientific periodicals, establishes the scientific rationale for the selected monitoring indicators, and defines the research objectives.

The second chapter develops an algorithm, functional diagram of the system, connection scheme of Arduino modules, and examines the elements of the system and their operational features.

The third chapter presents the algorithm of operation for the software components of the system, describes the functionality of the software and the tasks that are addressed during the operation of the system. A mathematical model is developed.

The fourth chapter discusses occupational safety and security in emergency situations, analyzes the system of measures and means to prevent the adverse impact on personnel during their shift. Lighting and microclimate conditions at the workplace, as well as civil defense management at the enterprise, are analyzed.

The master's thesis consists of 137 pages, 29 figures, 10 tables, and 30 references.

Keywords: marine engines, Arduino, monitoring, vibration diagnostics, eco-monitoring, sensors, small vessels.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД ПАТЕНТНОЇ ІНФОРМАЦІЇ ТА НАУКОВИХ ПІДХОДІВ ЩОДО МОНІТОРИНГУ РОБОТИ СУДНОВИХ ДВЗ	10
1.1 Історія автоматизованих систем моніторингу суднових ДВЗ	10
1.2 Основні підходи в науковій періодиці до розробки сучасних автоматизованих систем моніторингу суднових ДВЗ.....	14
1.3 Наукове розуміння функціонування компонентів суднових ДВЗ, що підлягають автоматизованому моніторингу	22
1.5 Мета та основні задачі дослідження	38
Висновки до розділу 1.....	41
РОЗДІЛ 2. ВИБІР ОПТИМАЛЬНИХ КОМПОНЕНТІВ АПАРАТНОЇ ТА ПРОГРАМНОЇ СТРУКТУРИ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ СТАНУ ДВЗ	42
2.1 Алгоритм, структура та функціональна схема системи моніторингу стану ДВЗ маломірних суден.....	42
2.2. Апаратні складові системи моніторингу стану ДВЗ маломірних суден та принцип їх дії	53
2.2.1 Датчики тиску, принцип їх дії та електронна схема	53
2.2.2. Термопара в вимірюванні температури ДВЗ	57
2.2.3 Датчик витрати палива на основі ультразвуку	61
2.2.4. Поєднання індуктивного датчика близькості та вібромоніторингу для визначення стану ЦПП	62
2.2.5. Блок екологічного моніторингу.....	65
Висновки до розділу 2.....	73
РОЗДІЛ 3. ПРОГРАМНА БАЗА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ДВЗ МАЛОМІРНИХ СУДЕН.....	74
3.1 Алгоритм програмної бази системи моніторингу ДВЗ маломірних суден	74
3.2 Математична модель автоматизованої системи моніторингу стану ДВЗ маломірних суден.....	80
Висновки до розділу 3.....	84
РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	85

4.1 Охорона праці при моніторингу роботи суднового ДВЗ	86
4.1.1 Охорона праці на робочому місці суднового механіка при вахтовій та без вахтовій організації системи захисту та контролю суднового ДВЗ	86
4.1.2. Опис умов праці виробничого приміщення та складання вихідних даних для кількісної оцінки умов праці.....	90
4.1.3 Особливості роботи розробки в напрямку моніторингу екологічних показників.....	95
4.2 Дії в умовах надзвичайних ситуацій	96
4.2.1. Убезпечення персоналу при техногенних аваріях.....	96
4.2.2 Особливості інформування населення при надзвичайних ситуаціях	99
ВИСНОВКИ	105
ЛІТЕРАТУРА	108
ДОДАТКИ	111
Додаток А. Програми для передачі даних вібромоніторингу.....	111
А1	111
А 2	115
Додаток Б. Скетч для пересилання даних.....	119
Додаток В. Програма для заповнення Google-таблиці.....	123
Додаток Г. Програма для сповіщення про перевищення норм.	125
Додаток Д. Програма для сигналізування про падіння показників нижче рекомендованого рівня	128
Додаток Е. Програма для виводу графіків.....	131
Додаток Є. Програма для визначення кореляції:	135

ВСТУП

Суднові ДВЗ є основою морської транспортної логістики. Їх поширеність є причиною того, що саме з них починається впровадження технічних та екологічних стандартів. Саме тому автоматизовані системи діагностики стану двигунів, інтегровані в них виробником, стають невід'ємною частиною системи управління судном. Так конвенція ПДНВ-78 визначає порядок використання та технічний регламент таких систем, які можуть бути встановлені тільки виробником суднової енергетичної установки.

В той же час, подібних норм для маломірних суден не існує. Розробка автоматизованої системи моніторингу робочих параметрів ДВЗ для маломірних суден є перспективним напрямком, особливо з урахуванням перспектив поширення безпілотних маломірних суден, а також максимальної автоматизації пілотованих.

Мета дослідження полягає в розробці автоматизованої системи моніторингу робочих параметрів маломірних суден для забезпечення сигналізування про відхилення від оптимальних параметрів, а також збору і аналізу експлуатаційних даних.

Об'єктом дослідження є автоматизована система моніторингу робочих параметрів суднових ДВЗ.

Предметом – апаратна та програмна структура автоматизованої системи моніторингу роботи ДВЗ маломірних суден, що базується на параметрах вібромоніторингу, аналізу тиску, температури та хімічного складу вихлопу та ряду інших параметрів.

Завдання дослідження:

1. Проаналізувати основні параметри та технічні підходи в моніторингу робочих параметрів суднових ДВЗ;

2. Визначити ключові параметри, що потребують вимірювання та найбільш доступні методи для їх контролю;

3. Розробити апаратну структуру системи моніторингу робочих параметрів двигуна маломірного судна;

4. Розробити програмне забезпечення системи моніторингу робочих параметрів двигуна маломірного судна.

Дипломна робота є розвитком ідеї, розкритої в межах бакалаврської кваліфікаційної роботи „Система захисту суднового дизельного двигуна на базі Arduino”.

В порівнянні з попереднім дослідженням планується розширити спектр вимірюваних параметрів, щоб крім вібраційного моніторингу також відбувалось вимірювання термодинаміки та екологічних характеристик з їх аналізом в реальному часі.

В перспективі це дозволить забезпечити самодіагностику безпілотних морських та річкових суден і автоматизувати їх експлуатацію (наприклад в поштових перевезеннях чи науковій діяльності).

Наукова новизна дослідження полягає:

- в застосуванні модульності, що дозволить варіювати вимірювані параметри залежно від характеристик маломірних суден і їх двигунів;

- в автоматизації вимірювання експлуатаційних характеристик двигунів маломірних суден, які не контролюються конвенцією ПДНВ-78;

- в поєднанні моніторингу та накопичення науково-технічної інформації щодо режиму роботи двигунів;

- в автоматизації аналізу даних та рекомендованих алгоритмах їх передачі і використання.

Прикладна цінність дослідження полягає в розробці системи, яка підвищить можливості автономного застосування маломірних безпілотних суден та накопиченні статистики по експлуатаційним характеристикам двигунів для їх ремонту та вдосконалення.

Особистий внесок здобувача полягає в:

- самостійному аналізі існуючих підходів в моніторингу роботи суднових ДВЗ;
- самостійній розробці модульної структури апаратної частини;
- самостійній розробці та забезпеченні взаємодії програмних компонентів;
- самостійній розробці концепції застосування розробленої конструкції та її взаємодії з портовою інфраструктурою.

Публікації. В межах дослідження було опубліковано 1 стаття в фаховому виданні категорії Б, 2 тез міжнародних конференцій та 1 заявка на патент України.

РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД ПАТЕНТНОЇ ІНФОРМАЦІЇ ТА НАУКОВИХ ПІДХОДІВ ЩОДО МОНІТОРИНГУ РОБОТИ СУДНОВИХ ДВЗ

1.1 Історія автоматизованих систем моніторингу суднових ДВЗ

Історія автоматизованих систем моніторингу суднових дизельних двигунів (ДВЗ) нараховує кілька десятиліть.

З початку 30-х років минулого століття, фірма "Зульцер" з Швейцарії досліджувала можливість аварійного контролю стану поршневих кілець за тиском у міжкільцевому просторі. З 60-х років активно розроблялися методи контролю, що базуються на порівнянні вимірних значень датчиків температури та тиску з еталонними. З 70-х починають активно впроваджуватись вимірювальні комплекси [1] (табл. 1.1.1), які включають датчики тиску, температури, вібрації, температури та тиску випускних газів.

Табл. 1.1.1

Вимірювальні комплекси корабельних ДВЗ

Модель вимірювального комплексу	Датчики та вимірювані величини
CEDC фірми „Зульцер” (Швейцарія) на дизель типу 6RND-90	4 термодатчики в верхній частині втулки для вимірювання несиметричності процесу згоряння, датчики обертання, вібрації та сухого тертя в нижній частині втулки. При досягненні крайових значень спрацьовує сигналізація для попередження поломки деталі.
СПВА „Зульцер” (Швейцарія)	Неперервне вимірювання та реєстрація величини зношування верхнього поршневого кільця дизелю та обертання. Індуктивні датчики для спеціальної конструкції поршневих кілець. Спеціальна програма оцінює загальний технічний стан двигуна та ресурс деталей ЦПГ та видає рекомендації профілактичного обслуговування.

<p>СС-10 фірми „Бурмейстер та Вайн” для двигуна 5ДКРН 62/140-3</p>	<p>Діагностика турбокомпресору, паливної апаратури, ЦПГ, охолоджувачів прісної води та змащувального масла, насосів, допоміжних систем головного двигуна. Низька надійність дослідної моделі.</p>
<p>„Дата Тренд” фірми „Норконтрол” (Норвегія) для дизелів фірми „Бурмейстер та Вайн”, „Зульцер” та MAN</p>	<p>Діагностуються вузли ЦПГ, ТА, ТК, ВО, охолодження прісної води та змащувального масла. Два датчики в верхній частині втулки циліндру, датчики функціонування поршневих кілець, датчик тиску згоряння в циліндрі, датчик тиску.</p>
<p>Система DETS фірми „Норконтрол” (Норвегія)</p>	<p>Два датчики тиску впрыску палива та тиску в циліндрі п’єзоелектричного тиску. Додатковий датчик тиску продувочного повітря. Будується наочна діаграма тиску стискання в точці ВМТ та крива тиску впрыскування.</p>
<p>Система „Силует-СМ” фірми АСЕА (Швеція) для дизелю 6RD-56</p>	<p>Контроль температури втулки на глибині 3-10 мм, датчики тиску в циліндрі типу „Силует-1800”, температури „Силует Скафф”, зносу „Силует Веар”, індуктивні датчики щільності прилягання поршневих кілець фірми „Аутроніка”.</p>
<p>Система „Силует-Міп” фірми АСЕА (Швеція)</p>	<p>Контроль 40 циліндрів. Вимірюється кут спалаху палива, тиск, на осцилографі приводиться вібрація. Середні значення виводяться по 10 робочим циклам циліндра.</p>
<p>Система „ТК-Уніт” фірми АСЕА (Швеція) для дизелів „Бурмейстер та Вайн” з великим діаметром циліндрів</p>	<p>Датчики зазору поршневих кілець, зносу втулки (тонкоплівочний термостійкий резистор), температури втулки (термопара), стану змазки, зниження тиску на індикаторних кранах кожного циліндра. Блок відображення в вигляді кількох рядів світлодіодів цифрового дисплею.</p>
<p>Система PED фірми „Пілстік” (Франція) для дизелю 18PC2-5V, серій PC-2, PC-3, PC-4.</p>	<p>Контроль стану рамових підшипників колінчастого валу та верхнього поршневого кільця за допомогою безконтактних датчиків переміщення.</p>

	Стан верхнього кільця контролюється індуктивним датчиком „Ніпп” фірми „Віброметр”.
Система „Віброметр” фірми „Віброметр” (Швейцарія) для двох-чотирьохтактних МОД, СОД та ВОД	Контроль поршня (стук, задири), клапани, деталей клапанних приводів, ТНВД, знос підшипників, частота та напрямок обертання колінчастого валу та характеристики впрыск. П’єзоелектричні датчики акустичних сигналів, п’єзоелектричний акселерометр та ін. діють на базі датчика „Ніпп”, що виводить результати на дисплей.
Система „Ніпп-Монітор” фірми „Віброметр” (Швейцарія) для двох-чотирьохтактних МОД, СОД та ВОД та дизелів RND-90M	Переносні індуктивні датчики, що поширюють вимірювальні магнітні поля та виводять дані на осцилограф.
Система фірми „MAN та Сіменс” (ФРГ) для діагностування ЦПГ МОД типу KZ	Має п’єзоелектричні та магнітострікційні датчики, термопари в глухих свердленнях та індуктивні датчики в втулках циліндрів. Контролюють температурні параметри, тиск, вібрацію та газообмін робочого циліндру дизеля.
Система DMTAS-1000 для діагностування ЦПГ та паливної апаратури МОД	Фіксація поламки поршневих кілець, витік палива, систему охолодження форсунок, тріщини паливних трубопроводів, надмірного зносу РВ, тріщини в кришках циліндрів, задири в втулках.
Система CPs-360 фірми CTL (Данія) для дизелів 14ZV40/48 та паливної апаратури МОД	Переносний датчик тиску п’єзоелектричного типу, датчик кута згоряння.
Система МЕКОМ фірми „Статронік” (Норвегія) для дизелів, турбін та котлів	Рівень вібрації, температура підшипників турбін, втулок, циліндрів, тиск в різних елементах газоповітряного тракту.
Система МЕДІАГ-22 фірми „Сіменс” (ФРГ) контролює ЦПГ, ТА та ТК.	Показники датчиків тиску виводять на дисплей на пульті в рубці управління.
Система МІ-1 фірми „Аутроніка” (Норвегія) для дизелю 6RD-76 та	Аналіз теплових параметрів (термопари) за допомогою нормограм, контроль зміни тиску

6RND-90, деталей ЦПГ та великих МОД.	циліндру виводиться на екран осцилоскопа.
Системи НК-3, НК-3а, НК-4, НК-11 фірми „Аутроніка” (Норвегія) для дизелів 16ZV40/48, 18U50HU.	За 8 циклами розраховуються параметри тиску, можливо підключення осцилографа.
Системи „Космос – D1, D2, -D3” фірми МН1 (Японія) для дизелів типу 8RND-68М	Два центральних блоки обробки даних з 16-бітним мікропроцесором. Параметри відповідають вимогам до високоавтоматизованих суден без постійної вахти в машинному відділенні

З розвитком комп'ютерної технології та електроніки системи моніторингу ДВЗ стали більш складними та функціональними. Вони включають в себе сучасні сенсори, вбудовані мікропроцесори, передавачі даних та програмне забезпечення для збору, аналізу та візуалізації даних про роботу ДВЗ.

Розробок таких систем для суднових ДВЗ маломірних суден, наразі, крім індивідуальних проектів не існує, що робить процес експлуатації таких ДВЗ більш ризиковим за автомобільні.

1.2 Основні підходи в науковій періодиці до розробки сучасних автоматизованих систем моніторингу суднових ДВЗ

Науковий підхід, використаний у методі виявлення та діагностики несправностей на ієрархічному рівні (HL-FDD) [2], базується на системному аналізі та використанні математичних моделей. В основі цього підходу лежить розуміння того, що судові двигуни складаються з ієрархічно організованих підсистем та компонентів, і несправності можуть впливати на різні рівні цієї ієрархії. У методі використовується ієрархічна кластеризація, що дозволяє групувати подібні змінні та виділяти ключові характеристики. Такі ключові характеристики зберігають інформацію про стан двигуна, при цьому їх розмір зменшується, що сприяє ефективній обробці та аналізу даних. За допомогою зменшених ключових характеристик будуються надійні моделі регресії та динамічні пороги. Дані моделі дозволяють визначати, чи є стан двигуна нормальним чи ненормальним. Динамічні пороги забезпечують автоматичне виявлення ненормальних умов роботи двигуна та попередження можливих аварій. Після виявлення аномалій на верхньому рівні, метод проводить подальший аналіз даних на середньому та нижньому рівнях ієрархії. Це дозволяє детально діагностувати несправності та визначити, яка підсистема або компонент двигуна спричинили несправність. Такий науковий підхід до виявлення та діагностики несправностей у судових двигунах забезпечує більш ефективний та точний контроль за станом двигунів, забезпечує підвищення безпеки

Науковий підхід, використаний у модифікованій кількісній теоретичній моделі аварій та аналізу процесів (STAMP) [3], базується на системному інженерному підході до дослідження катастрофічних випадків відмови двигуна судна. Цей підхід поєднує в собі дві методології - STAMP і нечіткий FMEA на основі правил, для аналізу та виявлення причин випадків відмови двигуна. Методологія STAMP (System-Theoretic Accident Model and Processes) дозволяє аналізувати системи з урахуванням структурних та керуючих аспектів, а також виявляти потенційні взаємодії та недоліки у системі, що

можуть призвести до аварії. Вона допомагає встановити зв'язки між системними компонентами та ідентифікувати головні причини виникнення аварійних ситуацій. У модифікованій моделі також використовується нечіткий FMEA (Failure Mode and Effects Analysis), який дозволяє оцінити ймовірність виникнення відмови та її наслідки для різних компонентів системи. Цей підхід дозволяє оцінити ризики та виявити слабкі місця у системі. Для демонстрації ефективності методології, було проведено аналіз реального катастрофічного випадку відмови двигуна на судні "Гуроні". Результати дослідження показали, що головними причинами цього інциденту були людські фактори на 80%, апаратне та програмне забезпечення на 13%, та зовнішні фактори на 7%. Це свідчить про важливість врахування людського фактору при аналізі випадків відмови двигуна та необхідність удосконалення.

Науковий підхід, використаний у дослідженні [4], спрямований на оптимізацію продуктивності дизельного суднового двигуна, який працює на змішаному паливі з воднем або біодизелем з додаванням води. Для досягнення цієї мети використовувалась методологія поверхні відгуку (RSM). Дослідники створили модель обчислювальної гідродинаміки (CFD) та вдосконалили хімічний кінетичний механізм, щоб моделювати згоряння палива. Застосування методики поверхні відгуку показало, що додавання водню та води до біодизеля може покращити характеристики згоряння та викидів суднового двигуна. В результаті досліджень було встановлено, що оптимальне значення додавання води та водню становить 0,632, що досягається заправкою паливом $R + 15H + 2,5 W$ при навантаженні 74,69%. На цьому етапі були отримані оптимальні значення питомої витрати палива для гальм, термічної ефективності гальм, викидів оксиду азоту, вуглеводнів та монооксиду вуглецю, які складають відповідно 208,31 г/кВт•год, 39,22%, 941,21 ppm, 325,86 ppm і 1073,4 ppm.

Науковий підхід, описаний у дослідженні [5], використовує комбінацію варіаційного модального розкладання (VMD) і довготривалої короткочасної пам'яті (LSTM) для прогнозування стану суднового дизельного двигуна. Цей

підхід має переваги порівняно з іншими методами, такими як LSTM, ESN і SVR. Спочатку, використовуючи метод VMD, отримуються допоміжні сигнали, які використовуються для прогнозування за допомогою LSTM. Комбінація цих двох методів дозволяє отримати передбачений сигнал реконструкції, який використовується для прогнозування стану судового дизельного двигуна. Результати досліджень показують, що запропонований метод демонструє кращі результати в порівнянні з методами LSTM, ESN і SVR у прогнозуванні стану судового дизельного двигуна. В порівнянні з методом LSTM, помилки прогнозування зменшуються на значну величину (49,79% і 56,32% для двох датчиків RE), а значення помилок RMSE зменшуються на 34,65% і 27,71% відповідно. Цей науковий підхід має значні переваги у моніторингу та прогнозуванні енергетичної системи суден. Застосування методу VMD та LSTM може покращити точність та надійність моніторингу та прогнозування енергетичної системи кораблів, зокрема для безпілотних кораблів, де надійність і точність є надзвичайно важливими факторами.

В дослідженні [6] використовується науковий підхід для розробки нової мережевої структури глибокого навчання, названої Random Convolutional Neural Network (RCNN), для інтелектуального моніторингу працездатності дизельних двигунів. RCNN складається з кількох окремих згорткових нейронних мереж (CNN), які автоматично визначають дискримінаційні характеристики вібраційних сигналів. Це дозволяє виявляти та аналізувати аномалії та ознаки несправностей в дизельних двигунах. Для покращення ефективності навчання мережі та уникнення занурення в локальні оптимуми в RCNN використовується вдосконалений оптимізатор Adabound та метод Dropout. Вони допомагають покращити швидкість збіжності нейронної мережі та знизити ймовірність перенавчання. Окрім цього, використовується комбінаційне правило для злиття діагностичних результатів від кількох окремих CNN, що дозволяє зробити остаточний прогноз щодо стану дизельних двигунів на основі згорткових мереж. Дослідники застосували RCNN для моніторингу стану дизельних двигунів і показали ефективність та переваги

цього підходу порівняно з іншими методами. Результати підтверджують, що RCNN може бути потужним інструментом для виявлення та прогнозування несправностей у дизельних двигунах, що сприяє поліпшенню їх працездатності та забезпеченню ефективного моніторингу.

У дослідженні [7], розглядається науковий підхід до кількісного виявлення невідповідності для дизельних двигунів, зокрема зміщення вала. Основною ідеєю методу є використання середнього значення вібрації вала та характеристик форми вала для точного виявлення зміщення. У порівнянні зі сучасними методами, які використовують аналіз спектру вібрації, запропонований підхід може кількісно виявляти значення зміщення вала. Це особливо важливо для суднових дизельних двигунів, де зміщення є поширеною несправністю. Для досягнення точності виявлення зміщення, розробляється модель відображення, яка враховує характеристики форми вала, умови змінного навантаження та конструкцію дизельного двигуна. На основі розробленої моделі відображення, використовується схема моніторингу, яка дозволяє кількісно виявляти неузгодженість. Експериментальні результати підтверджують, що точність виявлення цього методу перевищує 90% і не залежить від умов експлуатації. Застосування даного методу дозволяє виявляти зміщення та аналізувати ступінь статичного зміщення та флуктуацію середнього положення центру осі (АСАР). Це дає змогу контролювати статичну установку і аналізувати причини зміщення. Отже, розглянутий метод кількісного виявлення невідповідності є ефективним і точним для дизельних двигунів.

У дослідженні [8] розглядається науковий підхід до прогнозного виявлення аномалій для суднового дизельного двигуна, з використанням мережі ехо-стану та глибокого автокодера. Основна мета методу полягає у покращенні надійності роботи суднового дизельного двигуна з метою забезпечення безпечної експлуатації суден. Для навчання моделі використовуються історичні зразки даних, які збираються з датчиків на судновому дизельному двигуні. Після навчання мережі ехо-стану (ESN) вона

використовується для прогнозування послідовності даних датчика в майбутньому. Отримана прогнозована послідовність вводиться у глибокий автокодер мережі виявлення аномалій, щоб отримати прогнозний результат виявлення аномалії. Експерименти підтверджують, що запропонований метод демонструє найкращу точність, точність та показники відкликання порівняно з іншими методами виявлення аномалій. Однак, для подальшого вдосконалення методу потрібно провести більше експериментів у різних умовах і розробити більш ефективні алгоритми.

У дослідженні [9] розглядається науковий підхід до відновлення потужності суднового дизельного двигуна за високого протитиску вихлопних газів з використанням додаткового компресора з електричним приводом. Дослідження базується на термодинамічному аналізі та експериментальних даних. У першу чергу, встановлюється термодинамічна модель, яка враховує особливості відновлення потужності при високому протитиску вихлопних газів. Ця модель перевіряється та підтверджується шляхом порівняння з експериментальними даними. Далі, досліджується вплив ефективності турбокомпресора та площі турбіни на процес відновлення потужності. Результати досліджень вказують на обмеження відновлення електроенергії, пов'язані з реальною продуктивністю турбіни. Для вирішення цієї проблеми пропонується використовувати додатковий компресор з електроприводом. Виконується порівняльний аналіз різних схем компресорів з електроприводом, і встановлюється, що послідовна схема на етапі низького тиску є найбільш оптимальною. Далі, проводиться дослідження відновлення електроенергії на оптимальній схемі електрокомпресора. Результати вказують, що при протитиску вихлопних газів 0,65 бар корисну потужність двигуна можна збільшити на 49,4%, а температура вихлопу знижується на приблизно 77 К, що суттєво зменшує теплове навантаження на турбіну.

У дослідженні [10] використовується науковий підхід для вивчення впливу завантаження судна на витрату палива дизельними двигунами балкерів з метою підвищення енергоефективності. Дослідження враховує умови

навігаційного середовища для балкерів і класифікує споживання палива головним дизельним двигуном на різних рівнях. У методології дослідження використовується метод багатокритеріального прийняття рішень (MCDM), що допомагає оптимізувати оперативні дані для підтримки прийняття рішень власниками та операторами суден. Аналізується низка параметрів, таких як швидкість вітру, висота хвиль, швидкість судна, пройдена відстань і швидкість валу, для визначення їх впливу на споживання палива. Для встановлення пріоритетів ваги прийняття рішень за критеріями використовується метод нечіткої аналітичної ієрархії (Fuzzy-АНР). Цей метод допомагає врахувати неоднозначність та нечіткість в процесі оцінки критеріїв і встановленні пріоритетів, що є важливим для підтримки комерційних зацікавлених сторін, враховуючи завантаження та навігацію суден. Дослідження також використовує методи машинного навчання для прийняття оптимальних рішень щодо завантаження судна. Ці методи дозволяють використовувати статистичні та аналітичні алгоритми для аналізу даних та прогнозування оптимальних параметрів завантаження, що сприяє досягненню більшої енергоефективності.

У дослідженні [11] було розроблено науковий підхід для вимірювання акустичної емісії (АЕ) у високочастотному діапазоні для великого двотактного судового дизеля. Для цього був створений алгоритм на мові програмування C-Sharp, який дозволяє виміряти і аналізувати сигнали АЕ, що виникають під час процесу згоряння на дизелі. Для перевірки ефективності алгоритму був проведений експеримент, в якому досліджувалися характеристики сигналів АЕ в діапазоні частот 100-900 кГц. Під час експерименту були отримані дані про сигнали АЕ, що випромінюються від події горіння навколо верхньої мертвої точки двигуна. Результати дослідження показали, що сигнали АЕ в цьому діапазоні частот можна успішно виміряти. Однак, було виявлено, що процес горіння впливає на інші джерела акустичної емісії, хоча сигнали АЕ не можуть поширюватися на інші циліндри через велику відстань між ними. Це свідчить про важливість врахування взаємодії різних джерел АЕ під час

аналізу даних. Отриманий алгоритм може бути використаний для визначення стану запалювання та часу згорання кожного циліндра двигуна. Це відкриває можливості для контролю та діагностики роботи двигуна, що допомагає в підтримці його оптимального функціонування та виявленні відхилень в роботі циліндрів.

Подібну роботу було здійснено нами при адаптації алгоритмів аналізу та передачі даних вібромоніторингу за допомогою алгоритмів C# (Додаток А).

Відповідно, існуючі типи та моделі автоматизованих систем моніторингу судових ДВЗ можна поділити на 5 видів:

1. Системи збору даних: Ці системи включають сенсори для вимірювання різних параметрів ДВЗ, таких як температура, тиск, оберти, витрата палива тощо. Вони передають ці дані до центрального контролера або комп'ютера для подальшого аналізу та візуалізації.

2. Системи діагностики та прогнозування: Ці системи використовують алгоритми та моделі, що базуються на зібраних даних, для виявлення аномалій, діагностики потенційних проблем та прогнозування можливих відмов ДВЗ. Вони надають операторам судна рекомендації щодо планового технічного обслуговування та усунення несправностей.

3. Системи автоматичного керування та оптимізації: Ці системи забезпечують автоматичне керування роботою ДВЗ з метою оптимізації роботи, максимізації ефективності та зниження споживання палива. Вони включають автоматичні алгоритми регулювання параметрів ДВЗ, таких як оберти, подача палива, налаштування системи наддуву тощо. Ці системи можуть використовувати реальний часовий аналіз даних та моделювання для оптимального керування ДВЗ у різних режимах роботи.

4. Системи дистанційного моніторингу: Ці системи дозволяють віддалено моніторити стан та параметри ДВЗ з використанням безпроводових з'єднань та мереж Інтернет. Оператори можуть відстежувати даними про роботу ДВЗ з будь-якого місця і вчасно реагувати на потенційні проблеми або відмови.

5. Системи інтеграції та обміну даними: Ці системи дозволяють інтегрувати систему моніторингу ДВЗ з іншими системами на судні, такими як системи енергоменеджменту, системи керування судном, системи безпеки. Вони забезпечують обмін даними та спільну роботу між різними системами для оптимального керування та координації роботи судна.

1.3 Наукове розуміння функціонування компонентів суднових ДВЗ, що підлягають автоматизованому моніторингу

В ході дослідження планується проведення моніторингу, який включає 13 показників – 8 експлуатаційних та 5 екологічних.

Тиск масла

Тиск масла грає важливу роль у роботі двигуна внутрішнього згорання, оскільки забезпечує необхідне змащення рухомих деталей та охолодження деяких вузлів. Основною формулою, що використовується для опису впливу тиску масла на роботу двигуна, є формула Гідродинамічного змащення Рейнольдса.

Формула Гідродинамічного змащення Рейнольдса (1.3.1):

$$F = \frac{\mu A (h_1 - h_2)}{l}, \quad (1.3.1)$$

де: F – сила, що виникає внаслідок гідродинамічного змащення (Н); μ – в'язкість масла (Па·с); A – площа поверхні змащування (м²); h_1 – висота тиску масла на вході (Па); h_2 – висота тиску масла на виході (Па); l – довжина поверхні змащування (м).

Ця формула відображає пряму пропорційність між силою гідродинамічного змащення та різницею тиску масла. Чим більше різниця тиску, тим сильніша сила змащування.

Математична закономірність полягає в тому, що зі збільшенням тиску масла збільшується сила гідродинамічного змащення, що сприяє зменшенню тертя між рухомими деталями двигуна. Це допомагає підтримувати оптимальну ефективність та тривалість роботи двигуна, зменшує знос та підвищує його надійність.

Важливо забезпечувати належний рівень тиску масла в двигуні. Недостатній тиск може призвести до недостатнього змащення деталей, збільшення тертя та виникнення поломок.

Рівняння, за яким зі збільшенням тиску масла збільшується сила гідродинамічного змащення, можна записати наступним чином:

$$F = kP, \quad (1.3.2)$$

де: F – сила гідродинамічного змащення (Н); k – коефіцієнт, що відповідає за залежність між тиском масла та силою змащування; P – тиск масла (Па).

Це рівняння відображає пряму пропорційність між силою гідродинамічного змащення та тиском масла. Зі збільшенням тиску масла (P), сила змащування (F) також збільшується.

Застосування цього рівняння дозволяє кількісно оцінити вплив тиску масла на змащення та тертя в двигуні. Відповідно, збільшення тиску масла сприятиме зменшенню тертя між рухомими деталями, що може покращити ефективність та тривалість роботи двигуна. При зниженні тиску масла в двигуні нижче норми може статися недостатнє змащення рухомих деталей, що може призвести до зношування, перегріву та можливого пошкодження двигуна. При зростанні тиску масла в двигуні вище норми може статися перевантаження системи змащення, що може призвести до пошкодження ущільнень, витоку масла і можливого виникнення інших проблем з компонентами системи змащення.

Зазвичай, рекомендований тиск масла в двигуні [12] знаходиться в діапазоні від 40 до 70 psi (фунтів на квадратний дюйм). Однак, конкретний рекомендований тиск масла повинен бути вказаний в інструкції з експлуатації конкретного двигуна або у рекомендаціях виробника.

Тиск повітря в системі забезпечення ДВЗ

Тиск повітря в системі забезпечення ДВЗ (двигуна внутрішнього згоряння) це тиск повітря, яке подається в систему впуску або систему турбонаддува для забезпечення необхідного повітряного змішування з паливом у циліндрах двигуна.

Технічні особливості тиску повітря в системі забезпечення ДВЗ можна описати такими формулами за допомогою закону Бойля-Маріотта (1.3.3) та закон Гей-Люссака (1.3.4).

$$P_1V_1 = P_2V_2 \quad (1.3.3)$$

Цей закон стверджує, що при постійній температурі об'єм газу (V) і тиск (P) зворотно пропорційні.

$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2} \quad (1.3.4)$$

Цей закон показує, що при постійному об'ємі газу тиск і температура (T) є прямо пропорційними.

Наслідки перевищення норми тиску повітря в системі забезпечення ДВЗ можуть включати:

- Перевантаження компонентів системи забезпечення, що може призвести до їх пошкодження, ускладнень або витоку повітря.
- Збільшений опір у вихлопній системі, що може знизити ефективність двигуна та зменшити його продуктивність.

Наслідки падіння тиску повітря нижче норми в системі забезпечення ДВЗ можуть включати:

- Недостатнє змішування повітря з паливом, що може призвести до неповного згоряння палива і зменшення потужності двигуна.
- Перегрів деяких компонентів двигуна, таких як поршні або клапани, через недостатнє охолодження повітрям.
- Збільшене тертя та знос деяких деталей двигуна через недостатнє змащення повітрям.

В обох випадках це впливає на надійність та ефективність роботи ДВЗ, тому необхідно підтримувати оптимальний рівень тиску повітря в системі забезпечення для забезпечення нормального функціонування двигуна.

Оптимальний тиск повітря в системі забезпечення ДВЗ залежить від конкретної моделі двигуна і може відрізнятися від одного виробника до іншого. Зазвичай [13] оптимальний тиск повітря в системі забезпечення ДВЗ може коливатися в межах від 22 до 36 psi.

Тиск води в системі охолодження двигуна

Тиск води в системі охолодження двигуна внутрішнього згорання визначається як гідростатичний тиск, що викликається рухом води через систему.

Його можна виразити за допомогою формули (1.3.5) гідростатичного тиску.

$$P = \rho gh, \quad (1.3.5)$$

де P – тиск води, ρ – щільність води, g – прискорення вільного падіння, h - висота рівня води в системі.

Технічні особливості тиску води в системі охолодження двигуна включають:

- Необхідність підтримання оптимального тиску: Відповідний тиск води дозволяє забезпечити ефективне охолодження двигуна та попередити перегрів, забезпечуючи стабільну температуру роботи.

- Контроль системи охолодження: Вимірювання тиску води дозволяє контролювати працездатність системи охолодження, виявляти можливі витoki або проблеми з циркуляцією води.

Високий тиск може спричинити руйнування трубопроводів, радіаторів або інших компонентів системи охолодження.

Недостатнє охолодження, яке може бути наслідком падіння тиску води, може призвести до перегріву двигуна і його несправності.

Тому контроль тиску води в системі охолодження є важливим для забезпечення надійної роботи двигуна та запобігання можливим проблемам з охолодженням.

Оптимальний тиск в системі охолодження ДВЗ зазвичай знаходиться в діапазоні від 1 до 1,5 бар (14,5 - 21,75 psi) [14].

4. Температура роботи ДВЗ.

Температура роботи ДВЗ визначається як температура газів у камерах згорання та на виході з двигуна. Вона може бути виміряна у градусах Цельсія (°C) або Кельвінах (K).

Найпоширенішою математичною закономірністю, що описує залежність температури роботи ДВЗ від різних факторів, є рівняння ідеального газу (1.3.6)

$$PV = nRT, \quad (1.3.6)$$

де P – тиск газів, V – об'єм камери згоряння, n – кількість речовини (зазвичай вимірюється в молях), R – універсальна газова стала, T – температура у Кельвінах.

В цьому рівнянні R є константою, що залежить від одиниць вимірювання тиску та об'єму.

Перевищення норми температури роботи ДВЗ може мати наступні наслідки:

- Перегрів двигуна, що може призвести до пошкодження деталей та збільшення зносу.
- Втрата ефективності двигуна через неправильну роботу паливної системи та інших компонентів.
- Збільшення викидів шкідливих речовин в атмосферу через недостатню ефективність згоряння палива.

Падіння температури роботи ДВЗ нижче норми також може мати наслідки:

- Погіршення якості згоряння палива, що призводить до недостатнього виділення енергії та зменшення продуктивності двигуна.
- Утворення конденсату в системі випуску, що може спричинити корозію та інші проблеми з деталями.
- Погіршення ефективності нагнітання повітря в системі турбонаддува, якщо вона присутня.

Зазвичай, температура роботи дизельного двигуна відповідає діапазону від 80 до 95 градусів Цельсія [15].

5. Витрати палива

Витрата палива ДВЗ визначається як кількість палива, споживана двигуном протягом певного часу. Вона зазвичай вимірюється у одиницях об'єму (наприклад, літри) або маси (наприклад, кілограми). Основна

математична закономірність, яка описує залежність витрати палива від різних факторів, це лінійна залежність:

$$Q = C \cdot N, \quad (1.3.7)$$

де Q – витрата палива, C – коефіцієнт, що визначає споживання палива на одиницю обертань колінчастого вала двигуна, N – оберти колінчастого вала за одиницю часу (наприклад, хвилину).

Перевищення норми витрати палива може мати наступні наслідки:

Збільшення витрат на паливо, що призводить до зростання експлуатаційних витрат.

Зменшення ефективності роботи двигуна, оскільки більше палива витрачається на генерацію тепла, а не на корисну роботу.

Погіршення екологічних показників через більші викиди шкідливих речовин в атмосферу.

Падіння витрати палива нижче норми також може мати наслідки:

Зменшення продуктивності двигуна через недостатній паливний потік.

Погіршення згоряння палива та ефективності роботи, оскільки необхідна кількість палива не надходить.

Вплив на роботу інших систем двигуна, які можуть бути залежні від оптимальної витрати палива.

Точна норма витрати палива залежить від конкретної моделі та типу двигуна, а також від умов експлуатації.

Для прикладу з стендових випробувань можемо використати наступні орієнтовні значення витрати палива ДВЗ на одиницю потужності [16]:

- Нормальна витрата палива: Приблизно 200-250 г/кВт·год.
- Мінімальна витрата палива: Приблизно 180-200 г/кВт·год. Це може бути досягнуто при низькому навантаженні двигуна або під час холостого ходу.
- Максимальна витрата палива: Приблизно 250-300 г/кВт·год. Це може бути спостерігається при повному навантаженні або під час роботи двигуна на максимальній потужності.

6. Швидкість обертів колінчастого вала ДВЗ

Швидкість обертання колінчастого вала ДВЗ визначається як кількість обертань, які відбуваються за одиницю часу. Зазвичай вимірюється в обертах в хвилину (об/хв) або обертах в секунду (об/с).

Математична закономірність для швидкості обертання колінчастого вала ДВЗ залежить від системи керування двигуном та потужності. Зазвичай це представляється у вигляді кривої, яка показує залежність швидкості обертання від навантаження або від регулювання педалі акселератора (1.3.8).

$$N = k \cdot x \quad (1.3.8)$$

де: N – швидкість обертання колінчастого вала (об/хв), k – коефіцієнт, який відображає залежність між навантаженням та швидкістю обертання, x – значення навантаження або положення педалі акселератора.

Наслідки перевищення норми швидкості обертання колінчастого вала ДВЗ можуть включати:

- Перевищення допустимих обертів може призвести до збоїв в роботі двигуна, пошкодження деталей системи паливоподачі та інших компонентів.
- Збільшене навантаження на двигун може спричинити його перегрів, що може призвести до пошкодження та зниження ефективності системи охолодження.
- Перевищення швидкості обертання може погіршити показники ефективності паливного споживання та збільшити викиди шкідливих речовин в атмосферу.

Наслідки падіння швидкості обертання колінчастого вала ДВЗ нижче норми можуть включати:

- Втрата потужності двигуна та зниження продуктивності автомобіля.
- Нестабільна робота двигуна, порушення його динаміки та погіршення відгуку на педаль газу.
- Збільшене споживання палива при низьких обертах може призвести до неоекономного використання палива та збільшення викидів шкідливих речовин.

Оптимальні значення для швидкості обертів можуть бути визначені при стендових випробуваннях. Для малих суднових ДВЗ це зазвичай:

- При середньому навантаженні двигуна це може бути в діапазоні від 1500 до 2500 об/хв.

- При мінімальному від 800 до 1500 об/хв.

- При максимальному від 3000 до 5000 об/хв.

7. Вібрація

За стандартом ISO 20283-4:2012 основним індикаторним показником вібрації є середньоквадратичне значення ефективних гармонік Фур'є-перетворення сигналу вібрації в заданій полосі частот (зазвичай 10-1000 Гц).

В частотній області [17] таке середньоквадратичне значення обчислюється за формулою (1.3.9).

$$V_{RMS} = \sqrt{\frac{\sum_{j=k1}^{k2} s_j^2}{2}}, \quad (1.3.9)$$

де $k1$ та $k2$ – індекси гармонік 10 та 1000 Гц, s_j – амплітуда спектру сигналу.

Основними характеристиками вібрації є амплітуди вібропереміщення, коливної швидкості (віброшвидкість), коливного прискорення (віброприскорення), період та частота коливань.

При оцінці вібрації за основу беруть значення віброшвидкості (1.3.10) на базі миттєвих значень швидкості $V(t)$ за час усереднення t_{yc} , що залежать від характеру зміни віброшвидкості в часі.

$$V_{yc} = \sqrt{\frac{1}{t_{yc} \cdot \int_{t_0}^{t_{yc}} V^2(t) dt}}. \quad (1.3.10)$$

Через широке варіювання значень частот та амплітуд коливання на практиці застосовують логарифмічний рівень коливань (1.3.11)

$$L_v = 10 \lg \frac{V^2}{V_0^2} = 20 \lg \frac{V_{yc}}{V_0}, \quad (1.3.11)$$

де V_{yc} – усереднене значення віброшвидкості в означеній смузі частот, V_0 – опорна константа віброшвидкості ($5 \cdot 10^{-8}$ м/с).

Віброприскорення може бути обчислено на базі формули (1.3.12).

$$L_a = 20 \lg \frac{a}{10^{-6}}. \quad (1.3.12)$$

Використовуючи показник віброшвидкості (1.3.10) та віброприскорення (1.3.11) та спираючись на таблиці (Табл. 1.3.1) автора [18], ми можемо судити про несправності суднового ДВЗ на основі гармонік частоти його роботи.

Табл. 1.3.1

Параметри вібромоніторингу суднового ДВЗ

Частота вібрації	Опис	Несправність
$f_n, 2f_n$	Непропорційний ріст перших двох гармонік частоти	Дефекти кріплення дизелю
$f_n, 2f_n, 3f_n$	Перші три кратні гармоніки основної частоти	Дефекти центрування дизеля з генератором
$f_n, 2f_n$	Непропорційний ріст перших двох гармонік частоти максимально проявлений в одному напрямку	Дефекти кріплення генератора

$f_z = f_z \times z$	Ріст амплітуди гармоніки зубчастої пари та поява гармонік з частотами валів шестерен	Підвищена вібрація приводів масляного насосу та розподільного валу
f_n осьовий напрям	Осьова вібрація з частотою f_n	Вібрація з'єднувальних муфт
$FCR = \frac{0,42}{0,48} f_n$	Автоколивання вала в радіальному напрямку	Підвищена вібрація підшипників колінчастого валу
$f_o = \frac{z}{2} f_n \left(1 - \frac{d}{D} \cos \beta\right)$	Зміна віброшвидкості та віброприскорення тіл кочення	Вібрація підшипників кочення (генератора та інших вузлів)
$f_i = \frac{z}{2} f_n \left(1 - \frac{d}{D} \cos \beta\right)$	Зміна віброшвидкості та віброприскорення тіл кочення	
$f_c = \frac{f_n}{2} \left(1 - \frac{d}{D} \cos \beta\right)$	Зміна віброшвидкості та віброприскорення тіл кочення	
$f_r = \frac{D}{d} f_n \left(1 - \left(\frac{d}{D} \cos \beta\right)^2\right)$	Зміна віброшвидкості та віброприскорення тіл кочення	
$f_o = 0,45 \times z \times RPM$	Зміна віброшвидкості та віброприскорення тіл кочення	
$f_i = \frac{0,55}{0,6} \times z \times RPM$	Зміна віброшвидкості та віброприскорення тіл кочення	Вібрація підшипників кочення через RPM

$f_0 = 3,5 \times RPM$	Зміна віброшвидкості та віброприскорення тіл кочення	
f_{TUR}	Вимушені коливання з частотою обертання турбокомпресора	Дисбаланс ротора турбонагнітання
f_n в вертикальному та поперечному напрямках	Підвищення загального рівня вібрації у вигляді гармоніки колінчастого валу в вертикальному та поперечному напрямках	Дефект кріплення турбокомпресора

1.4 Наукове розуміння екологічних параметрів ДВЗ, що підлягають автоматизованому моніторингу

Так як вихлопні гази є сумішшю продуктів згоряння, для оцінки роботи ДВЗ важливу роль грають не тільки абсолютні значення таких викидів, а і їх співвідношення в суміші.

Оптимальними вважаються співвідношення (Табл 1.4.1) для бензинових та дизельних двигунів [19].

Табл 1.4.1

Оптимальний склад вихлопних газів

	Бензинові двигуни	Дизелі
Азот N_2 , об.%	74—77	76—78
Кисень O_2 , об.%	0,3—8,0	2,0—18,0
Вода H_2O (пара), об.%	3,0—5,5	0,5—4,0
Вуглекислий газ CO_2 , об.%	0,0—16,0	1,0—10,0
Монооксид вуглецю CO , об.%	0,1—5,0	0,01—0,5
Оксиди азоту NO_x , об.%	0,0—0,8	0,0002—0,5
Вуглеводні C_nH_m , об.%	0,2—3,0	0,09—0,5
Альдегіди, об.%	0,0—0,2	0,001—0,009

Сажа С, г/м ³	0,0—0,04	0,01—1,10
Бензопірен-3,4, г/м ³	10—20× 10 ⁻⁶	10×10 ⁻⁶

Концентрація оксидів азоту (NO_x) в вихлопних газах

Концентрація оксидів азоту (NO_x) в вихлопних газах ДВЗ визначається як сумарна кількість оксиду азоту (NO) та діоксиду азоту (NO₂) і виражається в одиницях часток на об'єм (наприклад, часток на мільйон або ppm). Зазвичай вимірюється в г/кВт·год або г/км.

Математична закономірність концентрації NO_x в вихлопних газах ДВЗ може бути описана різними моделями, враховуючи фактори, які впливають на його утворення, такі як температура згорання, співвідношення повітря-паливо, час затримки згорання та інші. Одна з таких моделей може мати наступний вигляд:

$$\rho_{NO_x} = k \cdot \rho_{O_2}^m \cdot T^l \cdot t^p, \quad (1.4.1)$$

де:

ρ_{NO_x} – концентрація оксидів азоту (NO_x)

ρ_{O_2} – концентрація кисню (O₂) в вихлопних газах

T – температура вихлопних газів

t – час затримки згорання

k, m, l, p – коефіцієнти, які залежать від характеристик двигуна та умов експлуатації.

Перевищення норми концентрації NO_x може мати негативні наслідки, такі як забруднення повітря та вплив на здоров'я людей і навколишнє середовище. Внаслідок цього вимагаються строгі нормативи щодо вмісту NO_x в вихлопних газах.

Зусилля зниження концентрації NO_x включають використання технологій рециркуляції вихлопних газів (EGR), каталітичного конвертера, паливних систем з низьким вмістом азоту, високоефективного керування згоранням та інших методів.

З падінням концентрації оксидів азоту (NOx) нижче норми можуть виникати такі наслідки:

- Недостатня ефективність очищення вихлопних газів: Якщо концентрація NOx падає нижче встановленої норми, це може свідчити про неефективну роботу систем очищення вихлопних газів. Це може призвести до погіршення якості повітря та впливу на навколишнє середовище.

- Загроза виникнення інших забруднень: Падіння концентрації NOx може вказувати на можливість збільшення інших забруднень, таких як частинки твердих речовин (PM), вуглеводні (HC) або шкідливі речовини, які не вдається ефективно очистити.

- Порушення режиму роботи двигуна: Падіння концентрації NOx може бути наслідком неправильного режиму роботи двигуна, наприклад, занадто бідного змішування повітря-паливо або низької температури згоряння. Це може впливати на продуктивність та ефективність двигуна.

- Важливо забезпечувати належний контроль концентрації NOx в вихлопних газах ДВЗ, щоб забезпечити дотримання нормативних вимог щодо забруднення довкілля. Це може включати в себе використання технологій, таких як EGR, SCR (селективна каталітична редукція), LNT (каталітичне вуглецев'язування) та інші методи для ефективного контролю концентрації NOx.

При розрахунку можна застосовувати такі стандарти [20]:

Мінімальне значення: 100 ppm (частин на мільйон) NOx.

Максимальне значення: 500 ppm (частин на мільйон) NOx.

Концентрація вуглеводнів (HC) в вихлопних газах ДВЗ

Концентрація вуглеводнів (HC) в вихлопних газах ДВЗ визначається як кількість неметанових органічних сполук, таких як метан, етан, пропан і т.д., присутніх у вихлопних газах. Цей параметр є важливим показником ефективності згоряння палива в ДВЗ. Відмінність між кількістю вуглеводнів у

вхідних та вихідних газах вказує на ефективність згоряння та ефективність системи каталізатора.

Математична закономірність, яка описує нормальну концентрацію вуглеводнів в вихлопних газах, може бути представлена наступною формулою:

$$\rho_{HC} = (\rho_{CO_2} + \rho_{H_2O}) - (\rho_{CO} + 0,5\rho_{O_2}), \quad (1.4.2)$$

де:

ρ_{HC} – концентрація вуглеводнів в вихлопних газах;

ρ_{CO_2} – концентрація діоксиду вуглецю;

ρ_{H_2O} – концентрація води;

ρ_{CO} – концентрація оксиду вуглецю;

ρ_{O_2} – концентрація кисню.

Наслідками перевищення норми концентрації вуглеводнів (НС) можуть бути:

- Забруднення довкілля, оскільки вуглеводні можуть сприяти формуванню смогу та інших шкідливих речовин.
- Зниження ефективності роботи каталізатора, який використовується для зменшення викидів шкідливих речовин.

Наслідками падіння нижче норми концентрації вуглеводнів (НС) можуть бути:

- Незавершене згоряння палива, що може призвести до високих викидів оксидів азоту (NO_x).
- Знижена потужність та неправильна робота ДВЗ.

Мінімальне значення: Приблизно 10 ppm (parts per million) або навіть менше. Це вказує на дуже низьку концентрацію вуглеводнів в вихлопних газах, що свідчить про ефективне згоряння палива.

Максимальне значення: Залежно від типу та режиму роботи ДВЗ, це значення може сягати 1000 ppm або більше. Високі значення концентрації

вуглеводнів можуть вказувати на незавершене згоряння палива або неефективну роботу системи каталізатора.

Концентрація оксидів вуглецю в вихлопних газах ДВЗ

Концентрація оксидів вуглецю (CO) в вихлопних газах ДВЗ є одним з параметрів, який вказує на кількість оксидів вуглецю, що виходять з вихлопної системи. Визначення та технічні особливості цього параметру можуть бути наступними:

Концентрація оксидів вуглецю в вихлопних газах (CO) вимірюється у відсотках (%), частках (ppm) або г/кВт·год. Вона вказує на кількість оксидів вуглецю, які утворюються під час згоряння палива в двигуні.

Концентрація оксидів вуглецю (CO) залежить від ефективності згоряння палива. Чим повніше та ефективніше паливо спалюється, тим менша буде концентрація оксидів вуглецю в вихлопних газах. Математично цю закономірність можна представити у вигляді функції залежності між концентрацією CO і ефективністю згоряння.

Наслідки перевищення норми:

Перевищення норми концентрації оксидів вуглецю (CO) в вихлопних газах може мати негативний вплив на довкілля та здоров'я. Високі рівні CO можуть спричиняти отруєння, викликати задуху та інші проблеми зі здоров'ям.

Наслідки падіння нижче норми:

Низькі рівні концентрації оксидів вуглецю (CO) можуть свідчити про ефективне згоряння палива, але при надмірно низьких рівнях CO можуть виникати проблеми з роботою каталітичного перетворювача.

Показники [21]:

Мінімальне значення CO: 0.05% (або 500 ppm CO)

Максимальне значення CO: 0.2% (або 2000 ppm CO)

Мінімальне значення CO₂: 14% (або 140,000 ppm CO₂)

Максимальне значення CO₂: 16% (або 160,000 ppm CO₂)

Концентрація кисню в вихлопних газах ДВЗ

Концентрація кисню (O₂) в вихлопних газах ДВЗ відображає кількість кисню, яка присутня після згоряння палива. Цей параметр вимірюється відсотками або частками на основі об'єму вихлопних газів. Визначення та особливості цього параметра можуть бути описані наступним чином:

Концентрація кисню в вихлопних газах визначається як відношення об'єму кисню до загального об'єму вихлопних газів у відсотках або частках.

Концентрація кисню зазвичай залежить від стехіометричного співвідношення згоряння палива та кількості доступного кисню для згоряння. Це можна виразити наступною формулою (1.4.3):

$$\omega_{O_2} = \frac{100 \cdot V_{O_2}}{V}, \quad (1.4.3)$$

Зміна концентрації кисню в вихлопних газах може бути викликана різними факторами, такими як вміст палива, режим роботи двигуна, ефективність згоряння та стан системи вихлопу.

Нормальний діапазон концентрації кисню в вихлопних газах зазвичай становить близько 2-4%.

Перевищення нормального рівня кисню може вказувати на недостатнє згоряння палива, недостатню ефективність двигуна або проблеми з системою вихлопу.

Падіння кисню нижче норми може свідчити про перебільшення співвідношення паливо-кисень, що може виникнути при надлишковій подачі палива або проблемах з подачею кисню.

Зазвичай, мінімальне значення концентрації кисню [22] може бути приблизно 1-10 ppm, а максимальне значення може досягати 500-2000 ppm.

1.5 Мета та основні задачі дослідження

Актуальність розробки системи моніторингу роботи суднових ДВЗ для маломірних суден обумовлена загальним курсом на екологізацію транспортної мережі, а також технічними вимогами конвенції ПДНВ-78.

З одного боку, вказана конвенція не поширюється на маломірні судна та і не передбачає жорстких вимог до моніторингу екологічних параметрів ДВЗ великих суден, а з іншого автотранспорт підлягає досить жорсткому контролю екологічних параметрів.

Все це свідчить про неминучість поширення таких вимог і на морський транспорт з аналогічними по потужності ДВЗ. Розробка автоматизованої системи моніторингу роботи суднових ДВЗ для маломірних суден дозволить значно полегшити роботу контролюючих органів, надати розробникам експлуатаційні дані, а також попередити власника про необхідність позапланового технічного обслуговування, уникаючи аварійної ситуації.

Мета дослідження полягає в розробці автоматизованої системи моніторингу робочих параметрів маломірних суден для забезпечення сигналізування про відхилення від оптимальних параметрів, а також збору і аналізу експлуатаційних даних.

Об'єктом дослідження є автоматизована система моніторингу робочих параметрів суднових ДВЗ.

Предметом – апаратна та програмна структура автоматизованої системи моніторингу роботи ДВЗ маломірних суден, що базується на параметрах вібромоніторингу, аналізу тиску, температури, хімічного складу вихлопу та ряду інших параметрів.

Завдання дослідження:

1. Проаналізувати основні параметри та технічні підходи в моніторингу робочих параметрів суднових ДВЗ;

2. Визначити ключові параметри, що потребують вимірювання та найбільш доступні методи для їх контролю;

3. Розробити апаратну структуру системи моніторингу робочих параметрів двигуна маломірного судна;

4. Розробити програмне забезпечення системи моніторингу робочих параметрів двигуна маломірного судна.

Дипломна робота є розвитком ідеї, розкритої в межах бакалаврської кваліфікаційної роботи „Система захисту суднового дизельного двигуна на базі Arduino”.

В порівнянні з попереднім дослідженням планується розширити спектр вимірюваних параметрів, щоб крім вібраційного моніторингу також відбувалось вимірювання термодинаміки та екологічних характеристик з їх аналізом в реальному часі.

В перспективі це дозволить забезпечити самодіагностику безпілотних морських та річкових суден і автоматизувати їх експлуатацію (наприклад в поштових перевезеннях чи науковій діяльності).

Наукова новизна дослідження полягає:

- в застосуванні модульності, що дозволить варіювати вимірювані параметри залежно від характеристик маломірних суден і їх двигунів;

- в автоматизації вимірювання експлуатаційних характеристик двигунів маломірних суден, які не контролюються конвенцією ПДНВ-78;

- в поєднанні моніторингу та накопичення науково-технічної інформації щодо режиму роботи двигунів;

- в автоматизації аналізу даних та рекомендованих алгоритмах їх передачі і використання.

Прикладна цінність дослідження полягає в розробці системи, яка підвищить можливості автономного застосування маломірних безпілотних суден та накопиченні статистики по експлуатаційним характеристикам двигунів для їх ремонту та вдосконалення.

Висновки до розділу 1

Розвиток систем автоматизованого моніторингу суднових ДВЗ почався в 30-х та набув поширення в 70-х роках, досягнувши рівня офіційної, обов'язкової складової суднових систем, закріпленої конвенцією ПДНВ-78.

Аналіз існуючих в сучасній науковій періодиці підходів демонструє, що поширені на даний момент системи здійснюють функції контролю, управління, діагностики, передачі даних, прогнозування та обміну даними. Враховуючи те, що причиною 80% поломок є людський фактор, додавання систем попередження, поточної діагностики та уникнення людського втручання дозволить залучати оператора лише за реальної необхідності.

Відібрані експлуатаційні та екологічні параметри спираються на практику для великих суднових ДВЗ та автомобільних ДВЗ, що робить розроблювану систему прогресивним прикладом автоматизованої системи моніторингу ДВЗ майбутнього.

Аналіз математичних закономірностей для кожного з вимірюваних параметрів та еталонні значення стануть основою для математичної моделі контролю вихідних параметрів, що дозволить оператору більш гнучко підходити до управління ДВЗ, враховуючи всі можливі наслідки його неоптимальної експлуатації, адже на воді відключення та доставка до ремонтної майстерні евакуатором не завжди є можливою.

РОЗДІЛ 2. ВИБІР ОПТИМАЛЬНИХ КОМПОНЕНТІВ АПАРАТНОЇ ТА ПРОГРАМНОЇ СТРУКТУРИ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ СТАНУ ДВЗ

2.1 Алгоритм, структура та функціональна схема системи моніторингу стану ДВЗ маломірних суден

Сучасний морський транспорт характеризується автоматизацією більшості процесів, що пов'язані з контролем параметрів роботи суднових енергетичних установок. Двигуни внутрішнього згоряння залишаються найбільш економічним типом низькооборотних суднових енергетичних установок і складають більшість у транспортних флотах.

Традиційною основою систем діагностики роботи суднових ДВЗ є їх теплотехнічні параметри. Показники стану двигуна та середовища в машинному відділенні можуть контролюватись в ході вахтової служби або дистанційно безвахтовим методом.

Згідно з ГОСТ 10032-80, існують три ступені автоматизації суднових ДВЗ: I ступінь - автоматична підтримка нормальної роботи, аварійна сигналізація та захист; II ступінь - автоматичне дистанційне управління з частковим обслуговуванням без постійного вахтового спостереження; III ступінь - дистанційний автоматичний контроль без обслуговування терміном понад 150 годин.

Згідно з конвенцією ПДНВ-78, система діагностики ДВЗ, яка використовується на судні, має бути тією, що рекомендує Міжнародна морська організація (ММО). Вимоги до таких систем включають контроль технічного стану ДВЗ та надійність їх роботи. Сучасні системи діагностики ДВЗ можуть виявляти не тільки несправності в самому двигуні, але і в інших системах, що пов'язані з його роботою, наприклад, системах подачі палива та охолодження.

Такі системи дозволяють зменшити ризики аварій та підвищити ефективність експлуатації суднових ДВЗ. Крім того, за допомогою сучасних систем діагностики можна здійснювати моніторинг роботи суднових ДВЗ

здалеку, що дозволяє підтримувати їх в робочому стані та уникнути непередбачуваних ситуацій під час плавання.

Для моніторингу корабельних двигунів використовуються різні типи датчиків. Основні з них такі:

1. Датчики тиску масла: вони вимірюють тиск масла в системі змащення двигуна та дозволяють контролювати рівень масла в двигуні.
2. Датчики тиску повітря: вони вимірюють тиск повітря в системі забезпечення повітрям двигуна. Це дозволяє контролювати ефективність згоряння палива та попереджати про можливі проблеми з системою забезпечення повітрям.
3. Датчики тиску води: вони вимірюють тиск води в системі охолодження двигуна та дозволяють контролювати рівень охолоджуючої рідини.
4. Датчики температури: вони вимірюють температуру охолоджуючої рідини, масла та інших рідин, що проходять через двигун. Це дозволяє контролювати температуру двигуна та попереджати про можливі перегриви.
5. Датчики витрати палива: вони вимірюють кількість палива, яке споживає двигун. Це дозволяє контролювати ефективність роботи двигуна та попереджати про можливі проблеми з системою подачі палива.
6. Датчики обертів: вони вимірюють швидкість обертання колінчастого вала двигуна. Це дозволяє контролювати роботу двигуна та попереджати про можливі проблеми з системою змащення.

Ці датчики можуть бути підключені до системи моніторингу та керування двигуном, що дозволяє оператору контролювати стан двигуна та приймати відповідні рішення.

В випадку з маломірними суднами обмежень щодо моделі систем моніторингу (та їх наявності) немає, тому можна адаптувати автомобільні системи та датчики, а також розробити щось нове.

При розробці автоматизованої системи моніторингу робочих параметрів маломірних суден ми спираємось на вказаний вище список досліджуваних параметрів, доповнюючи його системою вібромоніторингу, розробленою нами раніше [23] та датчиками екологічного моніторингу.

Алгоритм дії розробленої автоматизованої системи моніторингу стану суднового ДВЗ базується на зборі даних з двох блоків (екологічного та загального моніторингу), пересиланні до гугл-таблиці та їх подальшому аналізі за допомогою розроблених програм (Рис 2.1.1).

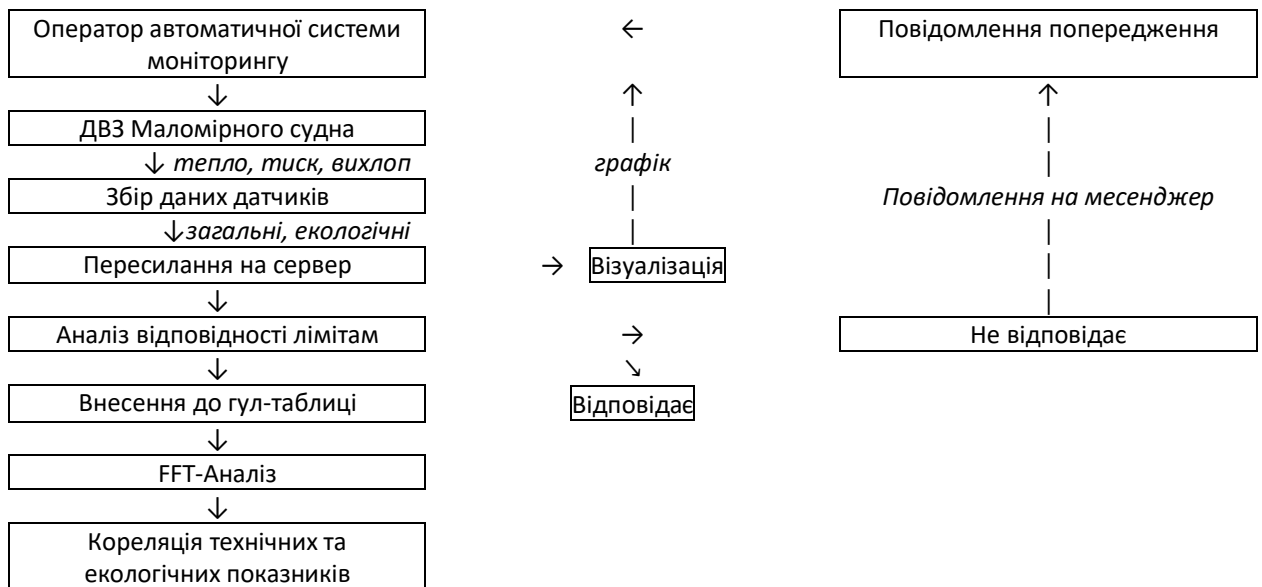


Рис 2.1.1. Алгоритм дії розробки

Проект базується на чотирьох базових блоках: блок загального моніторингу, блок екологічного моніторингу, блок передачі та збереження даних та блок аналізу даних (рис 2.1.2). Це дозволяє розширювати функціонал без зміни функціональної бази.



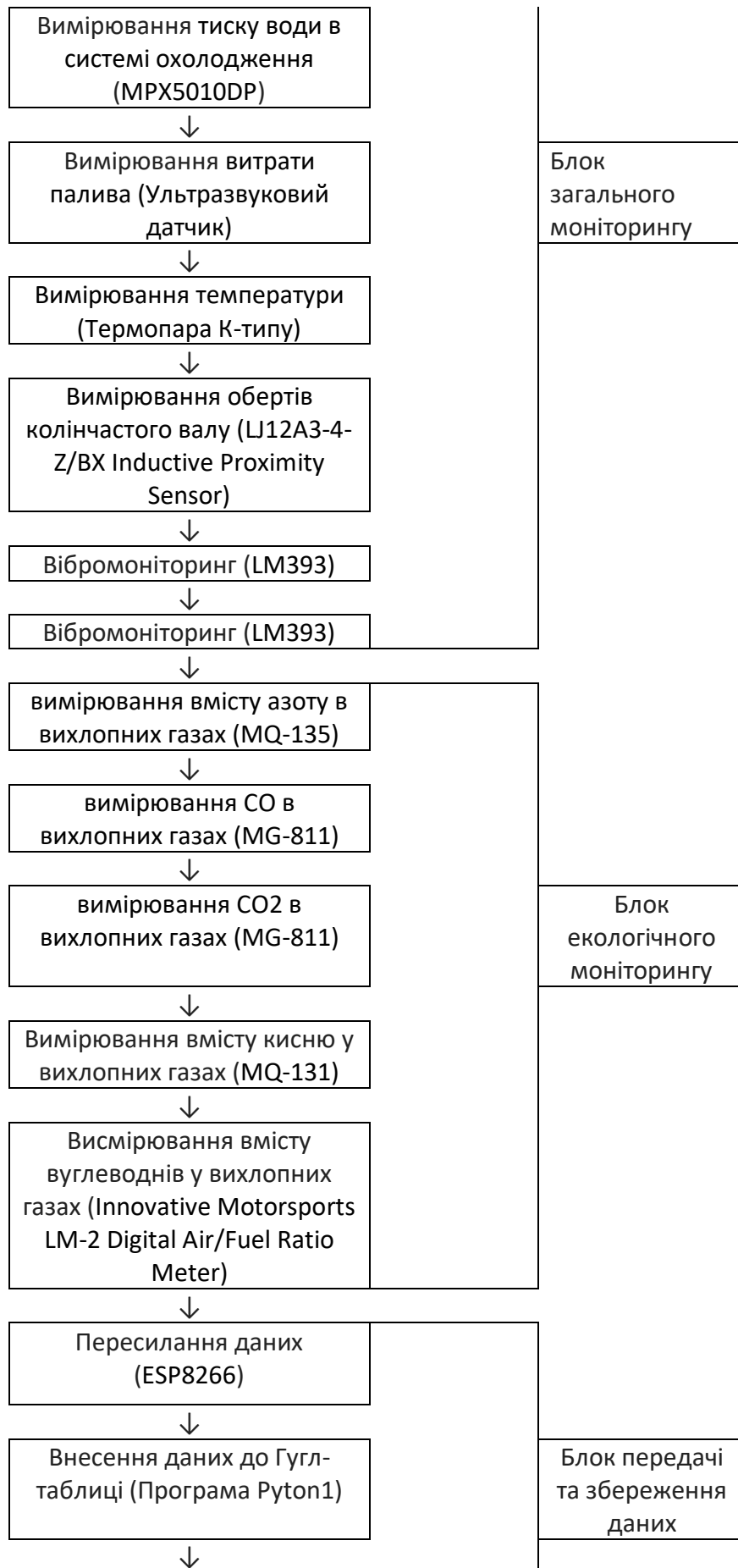




Рис 2.1.2. Принципова схема проекту

Як видно з схеми, в нашому випадку це 8 датчиків загального моніторингу та 5 датчиків для вимірювання екологічних параметрів двигуна.

Ядром апаратної бази проекту є плата Arduino Mega, що дозволяє забезпечити модульність, вільно замінювати складові у вигляді датчиків та застосовувати стандартизовані елементи скетчів при оптимізації її структури.

Arduino - це модульна апаратна платформа з відкритим програмним кодом, яка дозволяє створювати різноманітні системи з різними датчиками. Існує кілька моделей платформи, що сумісні програмно: Плата Arduino Mega (Рис 2.1.3) побудована на мікроконтролері ATMega2560. Має 54 цифрових входи/виходи (14 з яких можуть використовуватись як ШИМ), 16 аналогових виходів, 4 послідовних порти UART, кварцовий генератор 16 МГц. Є повністю сумісною з Arduino UNO.



Рис 2.1.3. Arduino Mega

Параметри:

- Мікроконтролер: ATmega2560;
- Робоча напруга: 5В;
- Вхідна напруга: 7-12 В;
- Вхідна напруга крайова: 6-20 В;
- Аналогові входи: 16
- Постійний струм через вхід/вихід: 40 mA;
- Постійний струм для виводу 3.3 В: 50 mA;
- Flash-пам'ять: 256 КБ (з них 8 КБ для завантажувача);
- ОЗУ: 8 КБ;
- Енергонезалежна пам'ять: 4 КБ;
- Тактова частота: 16 МГц;
- EEPROM-пам'ять плати: 4 КБ;
- Габарити: 101x53 мм.

Електрична схема плати є досить простою структурно (Рис 2.1.4), проте містить дуже багато компонентів, що вимагає використання її спрощеного варіанту при формуванні загальної принципової електричної схеми (Рис 2.1.5).

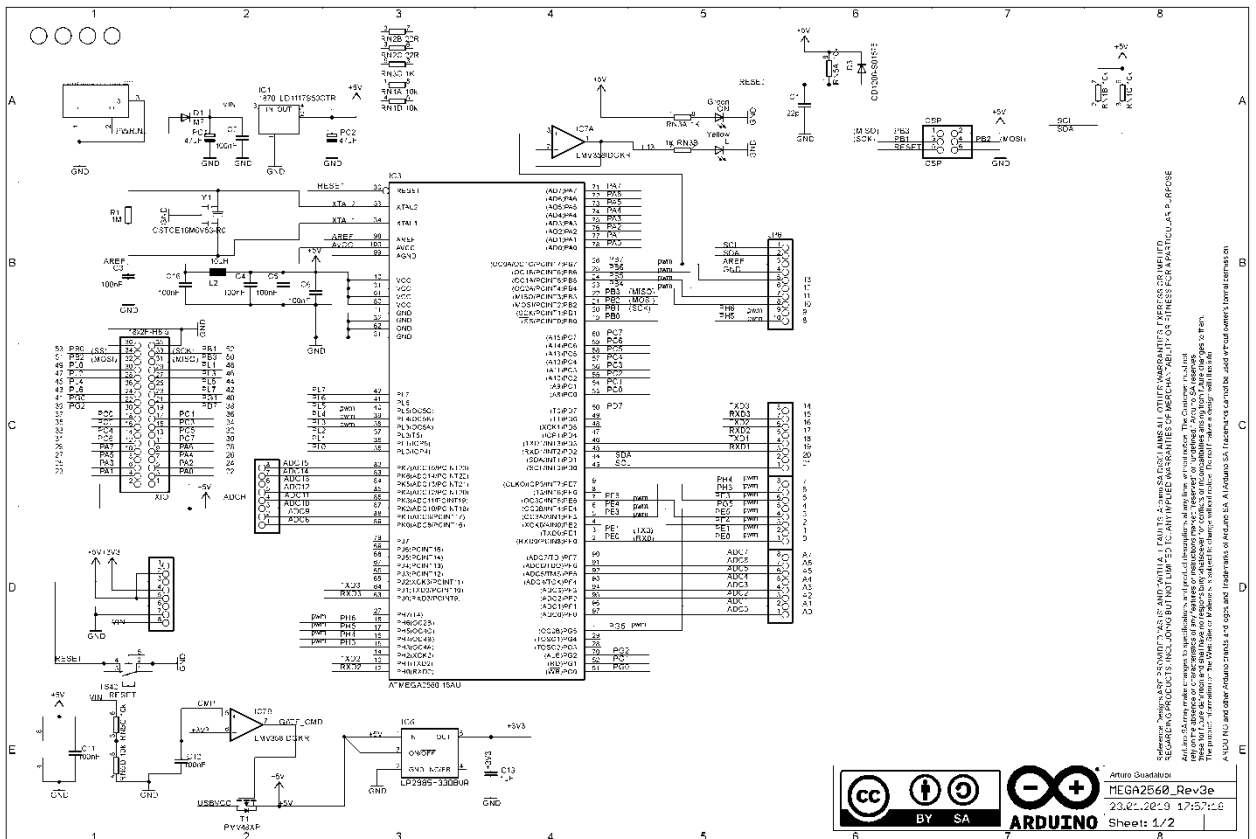


Рис 2.1.4 Електрична схема Arduino Mega

Основою електричної схеми Arduino Mega є мікроконтролер ATmega2560, який є центральним процесором плати. Ось основні компоненти та їх опис, які можна знайти на платі Arduino Mega:

1. Мікроконтролер ATmega2560: Це головний мікроконтролер на платі Arduino Mega. Він відповідає за виконання програми, контроль введення/виведення та керування різними функціями плати.
2. Кварцовий резонатор: Кварцовий резонатор забезпечує точний тактовий сигнал для мікроконтролера. Він дозволяє визначити швидкість роботи мікроконтролера і забезпечує стабільність його роботи.
3. Вхідно-вихідні порти: Arduino Mega має багато цифрових та аналогових вхідно-вихідних портів. Ці порти дозволяють підключати зовнішні пристрої, такі як сенсори, виключати й управляти світлодіодами, зчитувати кнопки тощо.
4. Інтерфейси комунікації: Arduino Mega має різні інтерфейси комунікації, такі як UART (Universal Asynchronous Receiver/Transmitter), SPI

(Serial Peripheral Interface) та I2C (Inter-Integrated Circuit). Ці інтерфейси дозволяють зв'язати Arduino з іншими пристроями, такими як сенсори, дисплеї, модулі зв'язку тощо.

5. Живлення: Arduino Mega може бути живлений через USB-порт або за допомогою зовнішнього джерела живлення. На платі є вбудований регулятор напруги, який перетворює вхідну напругу на стабільну напругу, необхідну для живлення мікроконтролера та інших компонентів.

6. LED-індикатори:

- LED TX/RX: Ці індикатори світяться або блимають під час передачі або отримання даних через інтерфейси UART.
- LED Power: Цей індикатор світиться, коли плата Arduino Mega живиться.
- LED L: Цей індикатор зазвичай використовується в прикладах і для власних потреб програміста.
- LED 13: Цей індикатор зазвичай використовується для тестування і відладки програми.

Підключення відбувається для передачі даних до кожного датчика на окремий вхід, а для живлення через резистори до спільного джерела. Аналогічно і для заземлення.

Електрична схема проекту містить центральний елемент у вигляді плати Arduino Mega, 13 датчиків, з яких 8 аналогових та 5 цифрових, Wi-Fi модуль ESP8266, також підключений до цифрового входу.

Хоча на принциповій електричній схемі (рис 2.1.5) зображено підключення до входу живлення 5V та GND на самій платі, для запобігання її перевантаження такою значною кількістю датчиків варто застосовувати зовнішнє живлення та заземлення.

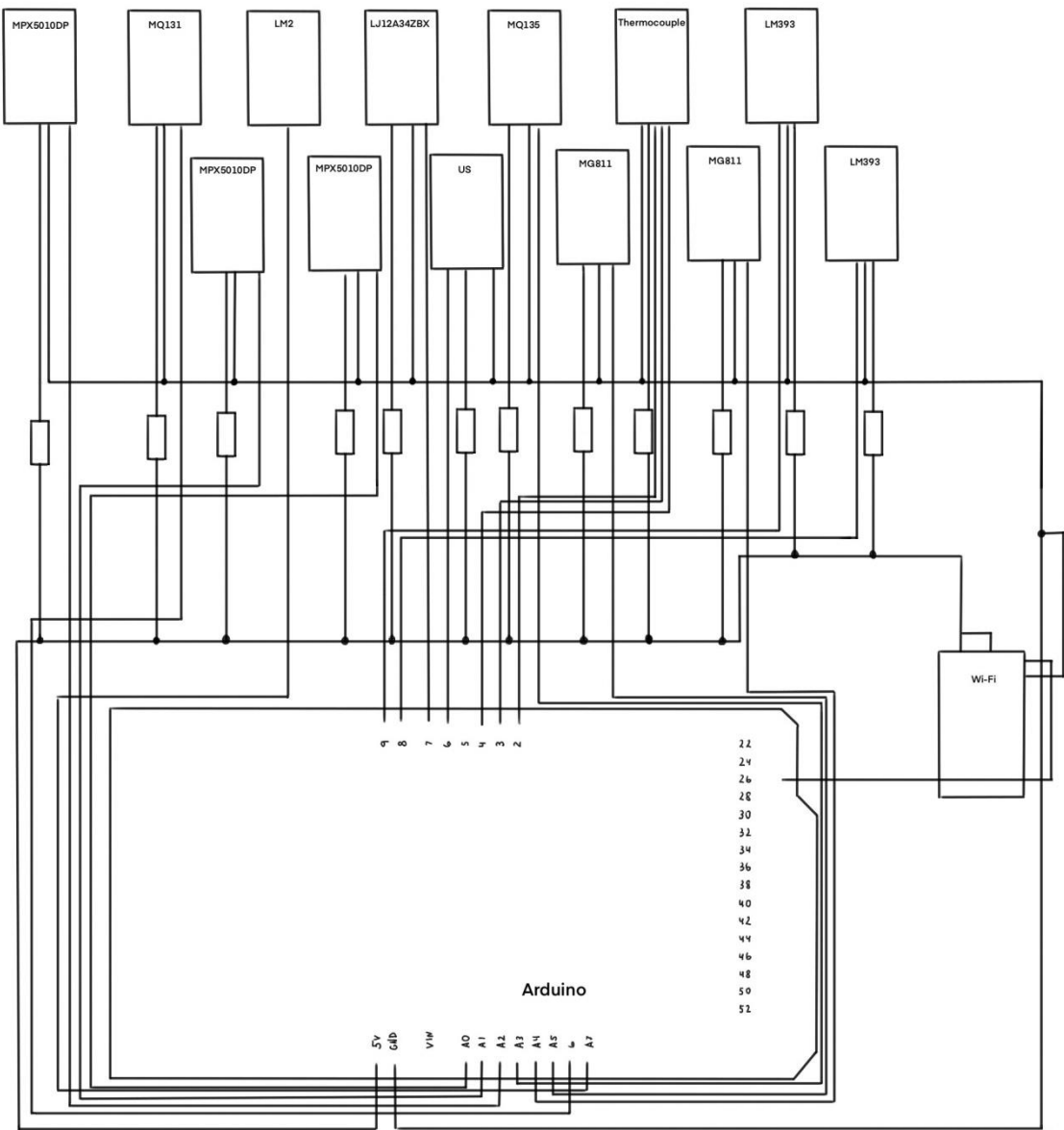


Рис 2.1.5. Принципова електрична схема проекту

Завдяки модульності платформи Ардуїно, проект має досить гнучку структуру і дозволяє вільну заміну датчиків доступними аналогами, а завдяки їх універсальності і взаємну заміну. Так для проекту ардуїно обов'язковим елементом є схема підключення, наведена в рис 2.1.6.

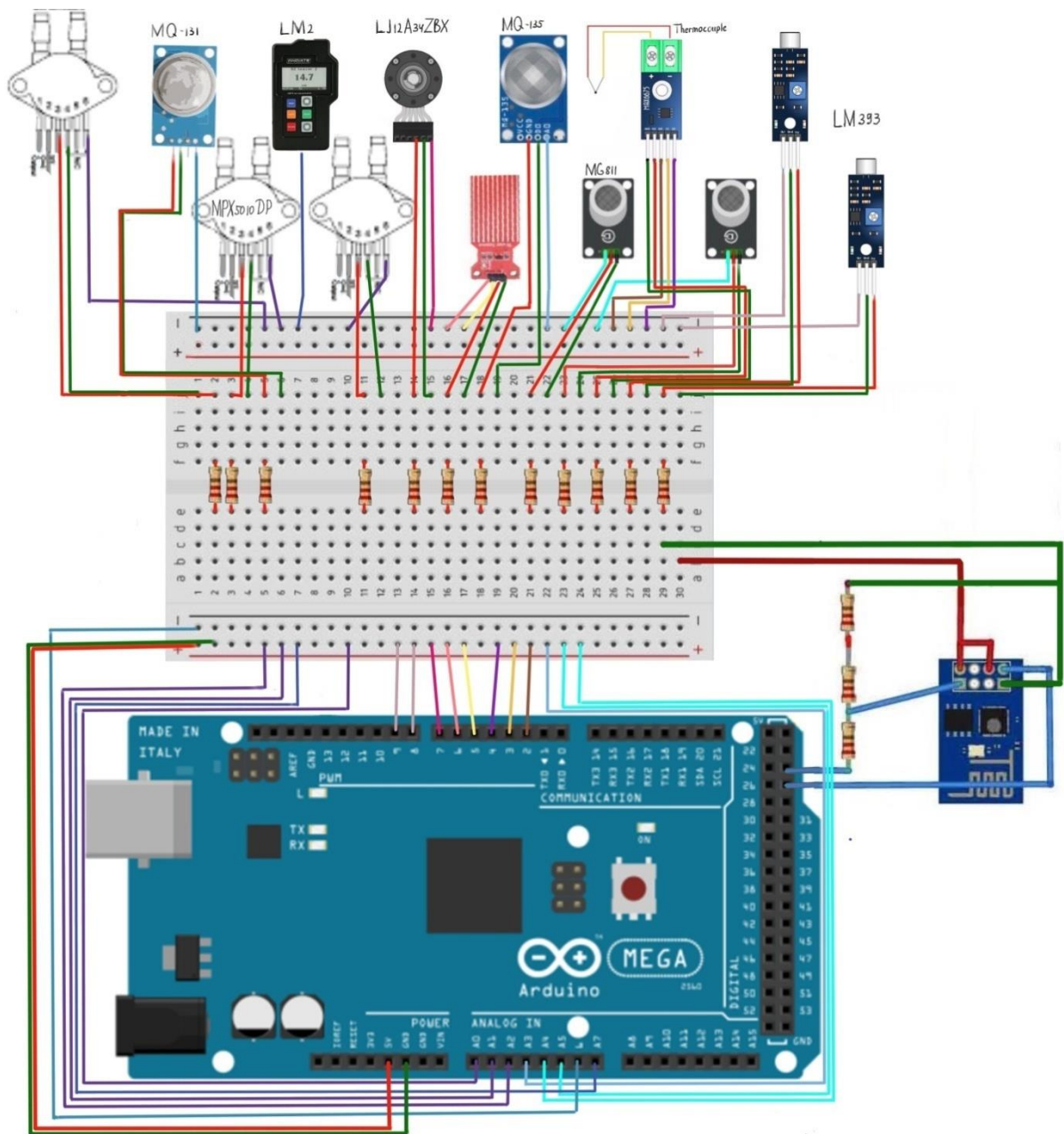


Рис 2.1.6. Схема підключення проекту

Датчики тиску MPX5010DP_1, MPX5010DP_2 та MPX5010DP_3 підключені до аналогових входів A0, A1 та A2 відповідно.

Датчик температури за допомогою термопари Adafruit_MAX31855 підключений за наступними пінами: THERMOCOUPLE_CLK - D2, THERMOCOUPLE_CS - D3, THERMOCOUPLE_DO - D4.

Датчик рівня палива використовує бібліотеку NewPing і підключений до пінів FUEL_FLOW_TRIGGER - D5 та FUEL_FLOW_ECHO - D6.

Датчик обертів колінчастого вала підключений до цифрового входу D7.

Два акустичних датчика підключені до цифрових входів D8 та D9.

Датчик MQ135 підключений до аналогового входу A3.

Два датчики MG811 підключені до аналогових входів A4 та A5.

Датчик MQ131 підключений до аналогового входу A6.

Датчик LM2 підключений до аналогового входу A7.

Модуль ESP8266 підключено до входів D29 та D30.

Загалом зайнято 8 цифрових та 8 аналогових пінів, що і зумовило перехід від використання Arduino UNO, яку застосовували в минулому проекті до Arduino Mega у якої вистачає аналогових виходів для реалізації всього функціоналу.

2.2. Апаратні складові системи моніторингу стану ДВЗ маломірних суден та принцип їх дії

2.2.1 Датчики тиску, принцип їх дії та електронна схема

При виборі датчиків, ми керуємось списком основних компонентів для систем крупнотонажних кораблів. В нашому випадку це 8 датчиків, які входять до блоку загального моніторингу. Крім того, основною інновацією розроблюваного проекту є додавання 5 датчиків екологічного моніторингу, застосування яких для суднових ДВЗ наразі не регламентується.

Починаємо з датчиків тиску, які можна використовувати в якості модулів Arduino. Для універсальності вирішено використовувати один тип датчиків для вимірювання тиску масла, тиску повітря в системі забезпечення повітрям та тиску води в системі охолодження MPX5010DP.

MPX5010DP - це мембранний датчик тиску, який може вимірювати тиск масла від 0 до 10 бар (145 PSI) з точністю 0,1%. Він має аналоговий вихід і може працювати з Arduino через аналоговий вхід.

Датчик тиску MPX5010DP (Freescale). Серія MPxx5010 п'єзорезистивні датчики тиску призначені для широкого спектру застосувань. Аналоговий вихідний сигнал, який пропорційний доданого тиску.



Рис 2.2.1 Датчик MPX5010DP

- Діапазон тиску (хв.- макс.), кПа: 0-10;
- Вихідна напруга, В: 0.2 - 4.7;
- Точність відсотків від макс.: 5;
- Температурна компенсація: є;

- Напруга живлення: 5V (4.75 – 5.25V);
- Тип датчика: диференціальний;
- Тип вихідного інтерфейсу: напруга;
- Діапазон робочих температур, град. З: -40+125;
- Час реакції, мс: 1;
- Корпус: 867С;

П'єзоелектричні датчики (Рис 2.2.2) базуються на ефекті виникнення електричного струму при стисканні кристалу.

Основним принципом роботи датчика MPX5010DP є використання п'єзорезистивного ефекту. У ньому знаходяться п'єзорезистори, які змінюють свій опір в залежності від тиску. Коли тиск змінюється, п'єзорезистори деформуються, що призводить до зміни опору. Цей змінний опір вимірюється і перетворюється на вихідний аналоговий сигнал.

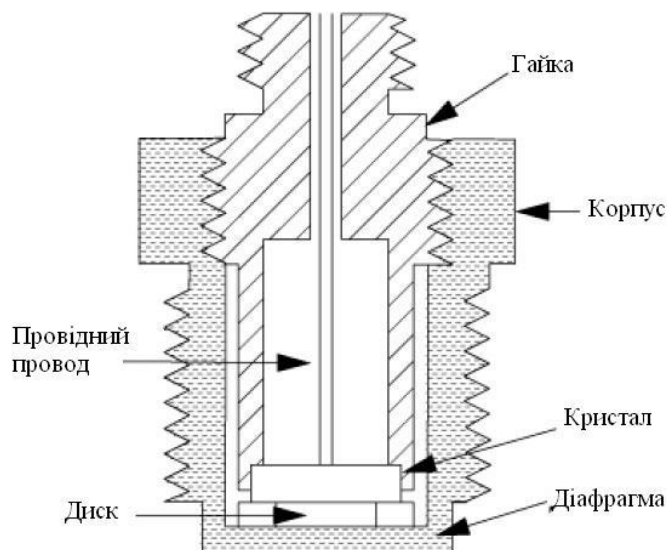


Рис 2.2.2. П'єзоелектричні датчики тиску

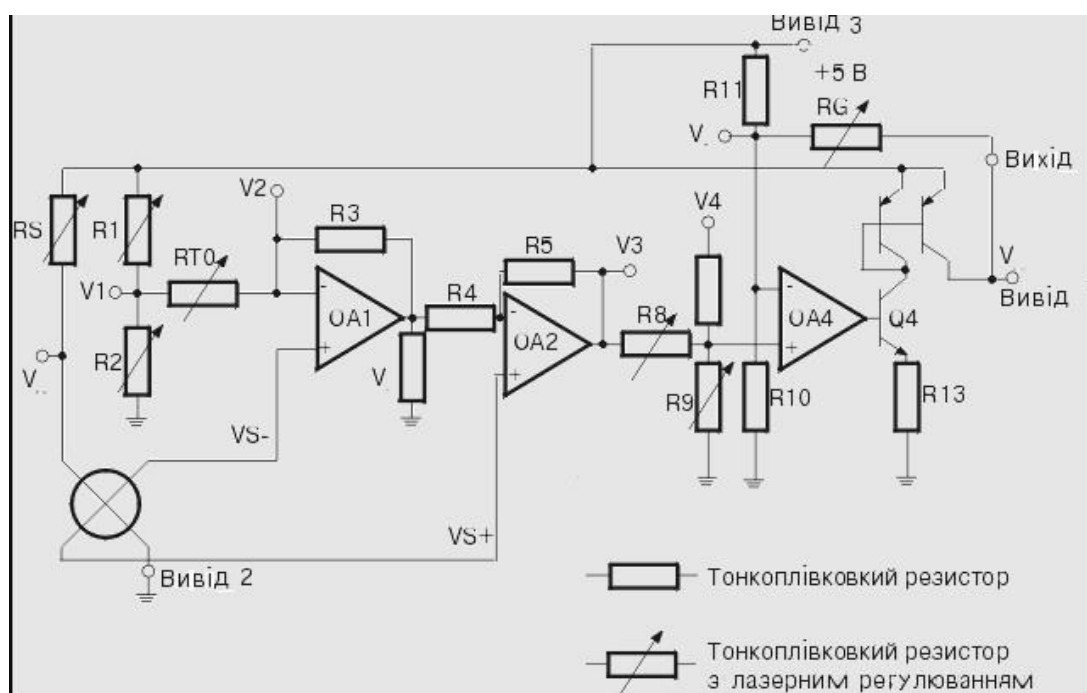
Тиск [24] визначається за формулою (2.1)

$$S = \frac{q}{P} = d_{33} \cdot s_{ef} = \pi d \left(\frac{r_M + r_{II}}{2} \right)^2, \quad (2.1)$$

де q – заряд на обкладках п'єзоелементу; P – амплітуда динамічного тиску; d_{33} – п'єзоелектричний модуль; s_{ef} – ефективна площа мембрани; r_M – радіус мембрани; r_{II} – радіус прокладки.

Основна електрична схема датчика MPX5010DP включає наступні компоненти:

- П'єзореzystори: Датчик MPX5010DP містить п'єзореzистивні елементи, які змінюють своє електричне опір в залежності від тиску, що діє на них. Ці п'єзореzистори розташовані всередині корпусу датчика.
- Мостова схема: Для вимірювання зміни опору п'єзореzисторів у датчику MPX5010DP використовується мостова схема. Це дозволяє забезпечити високу чутливість і компенсацію температурних впливів на вимірювання.
- Операційний підсилювач: Сигнал з мостової схеми підсилюється за допомогою операційного підсилювача. Це дозволяє отримати сильніший і стабільний вихідний сигнал, який може бути зрозумілим для подальшого вимірювання.
- Конденсатори: У схемі також можуть бути присутні конденсатори, які використовуються для фільтрації шуму та стабілізації сигналу.
- Вихідний сигнал: Вихідний сигнал датчика MPX5010DP є аналоговим напруговим сигналом, який залежить від тиску. Значення цього сигналу може бути зчитано аналоговим входом мікроконтролера або іншого вимірювального пристрою.



2.2.3. Електрична схема датчика MPX5010DP

Нормальний тиск масла в двигуні яхти залежить від типу двигуна, його віку, конструкції та інших факторів. Встановлення рекомендованого тиску масла дуже важливо для забезпечення надійної роботи двигуна та максимального терміну його експлуатації.

2.2.2. Термопара в вимірюванні температури ДВЗ

Температура роботи ДВЗ є одним з ключових показників, адже перегрів може стати причиною аварії.

Для вимірювання даного параметру можна застосовувати термопару К-типу з відповідним цифровим модулем підсилення.

Термопара – це пристрій, що використовується для вимірювання температури. Вона складається з двох провідників з різними хімічними властивостями, з'єднаних у точці, яку називають точкою з'єднання або спайкою. Прикладом термопари може бути пара провідників заліза і константану (сплаву нікелю і міді).

Принцип дії термопари базується на явищі термоелектричного ефекту, відомого як ефект Зеєбека. За цим ефектом, при наявності різниці температур на різних кінцях термопари, утворюється електрична напруга між її кінцями.

Величина цієї напруги залежить від різниці температур і властивостей матеріалів, з яких зроблені провідники термопари. Різницю температур між точкою з'єднання термопари і посилальною точкою (точка, для якої температура відома) називають температурним градієнтом.

Термопари використовують два головних принципи: принцип переносу заряду та принцип переносу тепла.

Принцип переносу заряду: За цим принципом, різниця температур призводить до зміни концентрації носіїв заряду в провідниках термопари, що викликає появу електричної напруги.

Принцип переносу тепла: За цим принципом, різниця температур призводить до теплопередачі від одного провідника до іншого через точку з'єднання термопари. Ця теплопередача створює тепловий градієнт, який змінює концентрацію носіїв заряду і тим самим викликає появу електричної напруги.

Електрична напруга, що виникає на кінцях термопари, може бути виміряна за допомогою вольтметра. Залежно від типу термопари і діапазону

температур, для вимірювання можуть використовуватись різні типи вольтметрів та компенсаційних пристроїв.

Важливо зазначити, що напруга, що виникає на кінцях термопари, залежить від температурного градієнту, а не від абсолютних значень температур кінців. Тому для точного вимірювання температури необхідно знати температуру посилальної точки, з якою порівнюється температурний градієнт.

Математично принцип дії термопари можна виразити за допомогою закону термопарного ефекту. Для багатьох типів термопар існують емпіричні формули, які описують залежність електричної напруги від температури.

Однак, для загального випадку можна використовувати закон термопарного ефекту, який можна записати наступним чином:

$$V = \alpha (T_2 - T_1) \quad (2.2)$$

де: V - електрична напруга, що виникає на кінцях термопари, α - термопарна постійна, яка залежить від типу термопари та властивостей матеріалів, T_1 - температура посилальної точки (відома температура), T_2 - температура точки з'єднання термопари.

Закон термопарного ефекту дозволяє вимірювати температуру, використовуючи відповідну термопару і вимірювання електричної напруги.

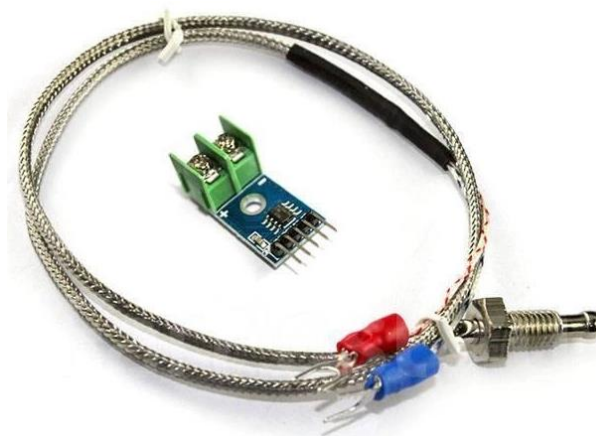


Рис 2.2.4. Термопара К-типу

Характеристики термопари типу К (Рис 2.2.4):

Діапазон вимірювання: від -200 до +1370 градусів Цельсія;

Точність: залежно від виробника та діапазону температур, може бути від +/- 2 до +/- 10 градусів Цельсія;

Розмір: діаметр термопари - близько 0,5 мм, довжина може бути від кількох сантиметрів до кількох метрів;

Інтерфейс: термопара не має вбудованого інтерфейсу, для зчитування даних потрібен спеціальний підсилювач сигналу;

Напруга живлення: не потребує окремого джерела живлення, вимірюється різниця потенціалів між двома провідниками термопари.

Для використання термопари типу К з Arduino, необхідно мати спеціальний модуль підсилювача сигналу, наприклад, MAX31855 або AD8495. Ці модулі дозволяють зчитувати сигнал термопари та перетворювати його на цифрові дані, які можна опрацьовувати на Arduino.

Термопари є дуже чутливими, але потребують хорошого підсилювача з компенсацією температури холодного спаю, щоб уникнути похибок вимірювання. Однак, цифровий підсилювач термопари MAX31855K (рис 2.2.5) з легкістю вирішує цю проблему, дозволяючи підключити термопару типу К до мікроконтролеру без вбудованого аналогового входу. Плата містить стабілізатор 3,3 В з блокувальними конденсаторами та продається зібраною та протестованою.



Рис 2.2.5. Цифровий підсилювач термопари MAX31855K

Ця модель має робочий діапазон вимірювання температури від -200 до 1350 градусів Цельсія з роздільною здатністю в 0,25 градуса. Важливо пам'ятати, що точність термопар типу К зазвичай коливається від ± 2 до ± 6

градусів Цельсія. Також необхідно дотримуватися правильної полярності підключення термопари.

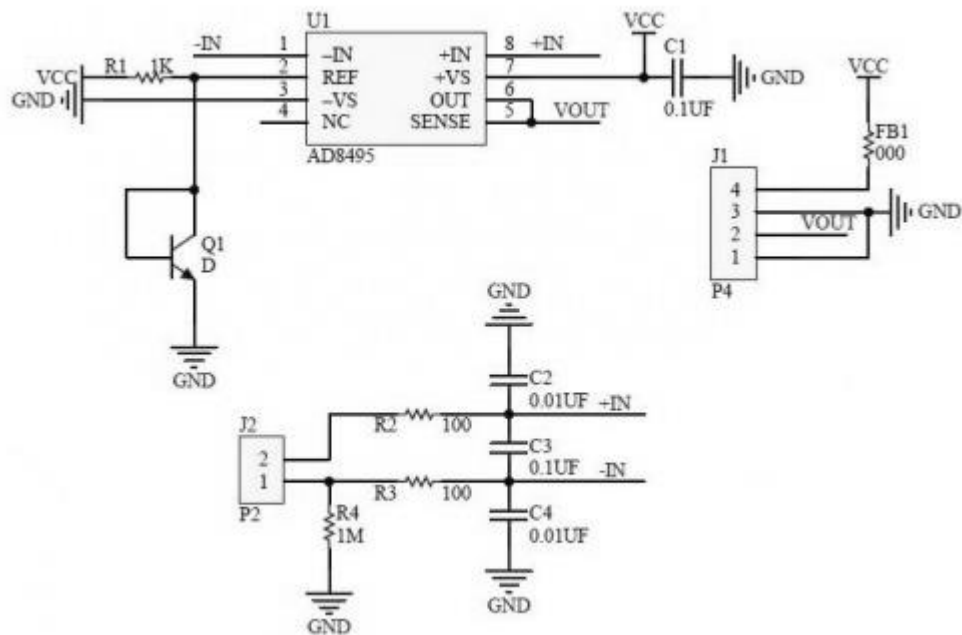


Рис 2.2.6. Цифровий підсилювач термопари MAX31855K (електрична схема)

Підсилювач живиться від 3,3 до 5 В, а спілкування з мікроконтролером відбувається по інтерфейсу SPI. Цей підсилювач має розміри 20x20x3,28 мм та вагу 1,33 г.

2.2.3 Датчик витрати палива на основі ультразвуку

Датчики витрати палива на основі ультразвуку зазвичай мають компактний розмір та можуть бути встановлені безпосередньо в трубопроводі. Вони є економічним та надійним варіантом для вимірювання витрати палива, і часто використовуються в автомобільній промисловості, суднобудуванні та інших сферах.

Характеристики датчика витрати палива на основі ультразвуку:



Рис 2.2.7. Ультразвуковий датчик витрати палива

- Робочий діапазон вимірювання: від 0.15 до 60 л/хв, що робить його придатним для вимірювання витрати палива в різних умовах;
- Точність вимірювання: $\pm 1\%$, що забезпечує високу точність вимірювання витрати палива;
- Номінальна напруга живлення: DC 5V, що забезпечує надійне та стабільне живлення датчика;
- Технологія вимірювання: на основі ультразвуку, що дозволяє датчику вимірювати витрату палива безпосередньо в трубці, що знижує ризик виток палива;
- Інтерфейс підключення: зазвичай датчик витрати палива на основі ультразвуку має вихідний сигнал, який передається на мікроконтролер через інтерфейс RS232 або TTL;

2.2.4. Під'єднання індуктивного датчика близькості та вібросторожливості для визначення стану ЦПГ

Стандартним засобом вимірювання стану колінчастого валу є датчики обертів. Вони вимірюють швидкість обертання колінчастого валу ДВЗ. Це дозволяє контролювати роботу двигуна та попереджати про можливі проблеми з системою змащення. Модель: LJ12A3-4-Z/BX Inductive Proximity Sensor



Рис 2.2.8. LJ12A3-4-Z/BX Inductive Proximity Sensor

Характеристики: діаметр сенсорної головки - 12мм, робоча напруга - 6-36В, відстань виявлення - 4мм.

Принцип роботи індуктивного датчика близькості полягає в генерації змінного магнітного поля і виявленні змін в цьому полі, які виникають поблизу металевих об'єктів.

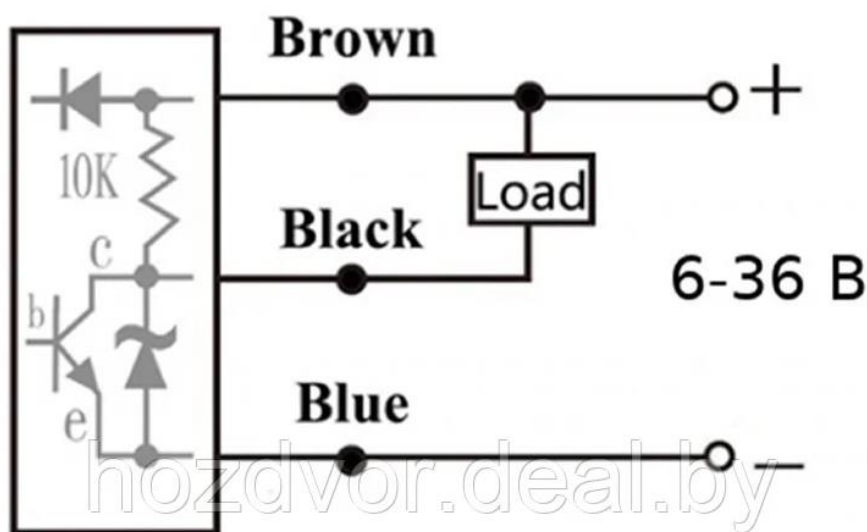


Рис 2.2.9. Електронна схема LJ12A3-4-Z/BX Inductive Proximity Sensor

Основна електронна схема датчика LJ12A3-4-Z/BX містить наступні компоненти:

Осцилятор: Внутрішній осцилятор генерує змінний струм або напругу, які створюють магнітне поле навколо датчика.

Котушка: Котушка знаходиться всередині датчика і використовується для створення магнітного поля, яке проникає навколо датчика.

Детектор: Датчик має вбудований детектор, який реагує на зміни магнітного поля, що відбуваються поблизу металевго об'єкта. Зміни в магнітному полі викликають зміни в детекторі, що призводить до виникнення вихідного сигналу.

Вихідний сигнал: Датчик LJ12A3-4-Z/BX має вихідний сигнал, який може бути цифровим (наприклад, вихід PNP або NPN) або аналоговим (наприклад, 0-10 В або 4-20 мА). Вихідний сигнал змінюється в залежності від наявності або відсутності металевго об'єкта в наближенні до датчика.

Датчики вібромоніторингу

Як згадувалось раніше, за стандартом ISO 20283-4:2012 основним індикаторним показником вібрації є середньоквадратичне значення ефективних гармонік Фур'є-перетворення сигналу вібрації в заданій полосі частот (зазвичай 10-1000 Гц).

На практиці такі вимірювання здійснюються за допомогою FFT-датчиків (Fast Fourier Transform) тобто датчиків швидкого перетворення Фур'є. Реалізація такого аналізу є можливою в випадках, коли неперервний часовий інтервал може бути перетворено в неперервний частотний з збереженням інформації про амплітуди та фази частотних компонентів.

Для фіксації дискретного сигналу вібрації може бути використано LM393 (рис 2.2.10.).



Рис. 2.2.10. Мікрофонні датчики LM393

Основні характеристики датчика LM393 (акустичний сенсор):

- робоча напруга 4-6В;
- Живлення 1,5мА;
- Регулятор чутливості;
- Світлодіодна індикація наявного сигналу;
- Робоча температура -30 до 85⁰С
- Вихідний сигнал цифровий.

Наявні 3 контакти „+5V” для живлення 5 В, „OUT” для вихідного сигналу та „GND” загальний.

Обираємо LM393 так, як в платі більше цифрових виходів, і краще берегти аналогові для інших сенсорів.

Рівні вібрації регламентуються ДСН 3.3.6.039-99 „Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації” та визначаються за ДСТУ EN 14253:2018 „Вібрація механічна. Вимірювання та обчислювання впливу на здоров'я загальної виробничої вібрації”.

2.2.5. Блок екологічного моніторингу

Оксиди азоту

Датчики оксидів азоту (NO_x) в двигунах внутрішнього згорання виконують важливі функції, пов'язані з контролем та редукцією викидів шкідливих викидів NO_x.

Основні функції датчиків NO_x включають:

- Замкнене циклове керування: Датчики NO_x використовуються для замкненого циклового керування, що означає, що вони надсилають сигнали до керуючої системи двигуна, щоб забезпечити оптимальне співвідношення паливо-повітря та ефективного спалювання, з метою зниження викидів NO_x.

- Діагностика системи вихлопних газів: Датчики NO_x допомагають виявляти несправності в системі вихлопних газів, такі як неефективна робота каталізатора або проблеми з системою рециркуляції вихлопних газів (EGR). Вони можуть надсилати сигнали про вищі рівні NO_x, що свідчить про неправильну роботу системи.

- Регулювання системи рециркуляції вихлопних газів (EGR): Деякі датчики NO_x можуть використовуватися для контролю та регулювання роботи системи EGR, яка призначена для зниження температури спалювання і відповідної формації NO_x шляхом рециркуляції частини вихлопних газів назад во впускну систему.

- Контроль викидів: Датчики NO_x також можуть бути використані для контролю викидів NO_x і відслідковування відповідності нормам екологічних стандартів. Це особливо важливо в країнах, де існують строгі нормативні вимоги щодо викидів.



2.2.11 NO_x-модуль MQ-135

Живлення: 5V DC

Живлення: 5 В постійного струму (DC)

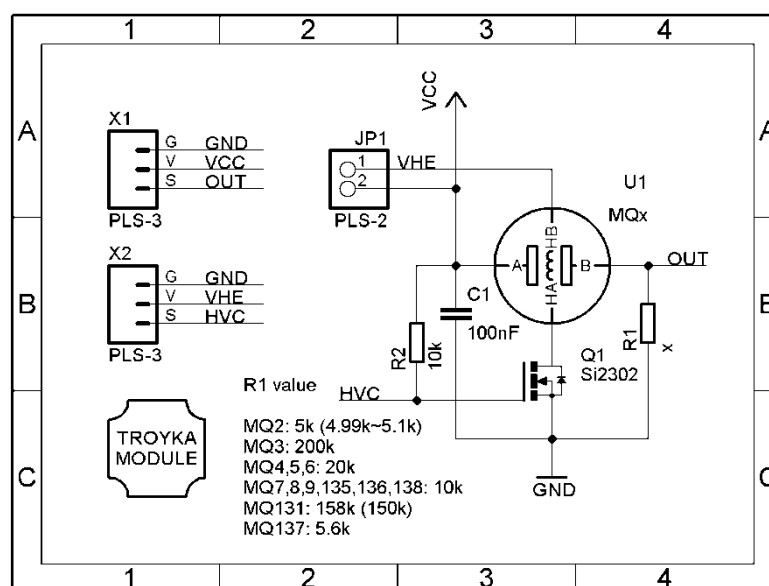
Роздільна здатність: 10 ppm для CO₂, 1 ppm для NH₃, H₂S та бензену

Тип входу: Аналоговий

Вага: 5 г

Розміри: 36 мм x 22 мм x 22 мм

Принцип роботи датчика MQ-135 базується на зміні опору полімерного плівкового сенсора, коли він взаємодіє з газами.



2.2.12 Електронна схема датчика MQ-135

Електронна схема датчика MQ-135 (Рис 2.2.12) включає наступні компоненти:

- Сенсор: Основою датчика MQ-135 є полімерний плівковий сенсор, який має хімічне покриття, що взаємодіє з різними газами. При контакті зі забруднюючими газами, сенсор зазнає зміни опору.

- Нагрівальний елемент: Датчик MQ-135 має нагрівальний елемент, який нагріває полімерний сенсор до певної температури. Це необхідно для стабілізації роботи сенсора та забезпечення однакових умов вимірювання.

- Опірний делік: До сенсора підключений опірний делік, який вимірює зміну опору сенсора. Значення опору залежить від концентрації забруднюючих газів у повітрі.

- Засоби зчитування: Змінний сигнал опору з сенсора передається до аналогового або цифрового входу мікроконтролера або іншого пристрою для подальшого аналізу та обробки.

Вуглеводні

Основна функція датчика кількості вуглеводнів (НС) в викидах двигуна - це вимірювання рівня вуглеводнів, які незгоріли під час роботи двигуна та були відкинуті у вигляді викидів. Дані, що збираються датчиком, можуть бути використані для контролю та підтримки оптимального рівня спалення палива, що зменшує викиди забруднюючих речовин.



Рис 2.2.13 Innovative Motorsports LM-2 Digital Air/Fuel Ratio Meter

Живлення: 12 вольт

Роздільна здатність: 0.1 AFR

Тип входу: аналоговий

Вага: 0.2 кг

Розміри: 5.6 дюйми x 2.7 дюйми x 1.0 дюйма

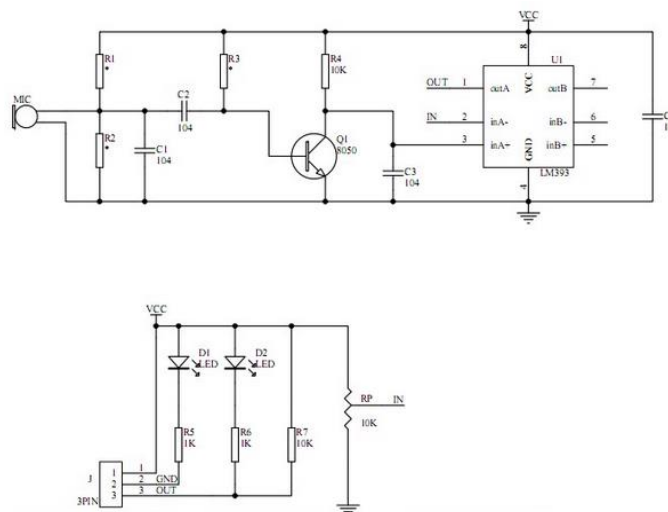


Рис 2.2.14 Електронна схема LM-2

Електронна схема LM-2 (Рис 2.2.14) складається з наступних основних компонентів:

Датчики кисню: LM-2 використовує лямбда-зонди або датчики кисню, які встановлюються у вихлопну систему двигуна. Ці датчики вимірюють кількість кисню у вихлопних газах, що служить показником багатості чи бідності суміші повітря-паливо.

Мікроконтролер: У LM-2 використовується мікроконтролер, який виконує обробку сигналів з датчиків кисню та керує всіма функціями пристрою. Він зчитує та аналізує дані з датчиків та передає їх на дисплей або інші вихідні пристрої.

Дисплей: LM-2 має вбудований дисплей, на якому відображається інформація про поточне співвідношення повітря-паливо, а також інші параметри, такі як температура, тиск тощо.

Інтерфейси: Пристрій також може мати різні інтерфейси, такі як USB, RS232 або Bluetooth, для підключення до комп'ютера або інших зовнішніх пристроїв. Це дозволяє користувачам зберігати дані, встановлювати параметри та аналізувати їх на комп'ютері.

Оксиди вуглецю

Функції датчика кількості вуглекислого газу (CO₂) в викидах двигуна полягають в вимірюванні кількості вуглекислого газу, який утворюється під час згорання палива в двигуні. Він визначає концентрацію CO₂ в викидах та надсилає відповідний сигнал до управляючої системи автомобіля.

Це дозволяє системі контролювати ефективність згорання палива та визначати, чи відповідає вона стандартам викидів. Також датчик CO₂ може використовуватися для діагностики стану двигуна, виявлення проблем зі спалюванням палива та інших несправностей, які можуть впливати на ефективність роботи двигуна та викиди.



2.2.15. Датчик MG-811

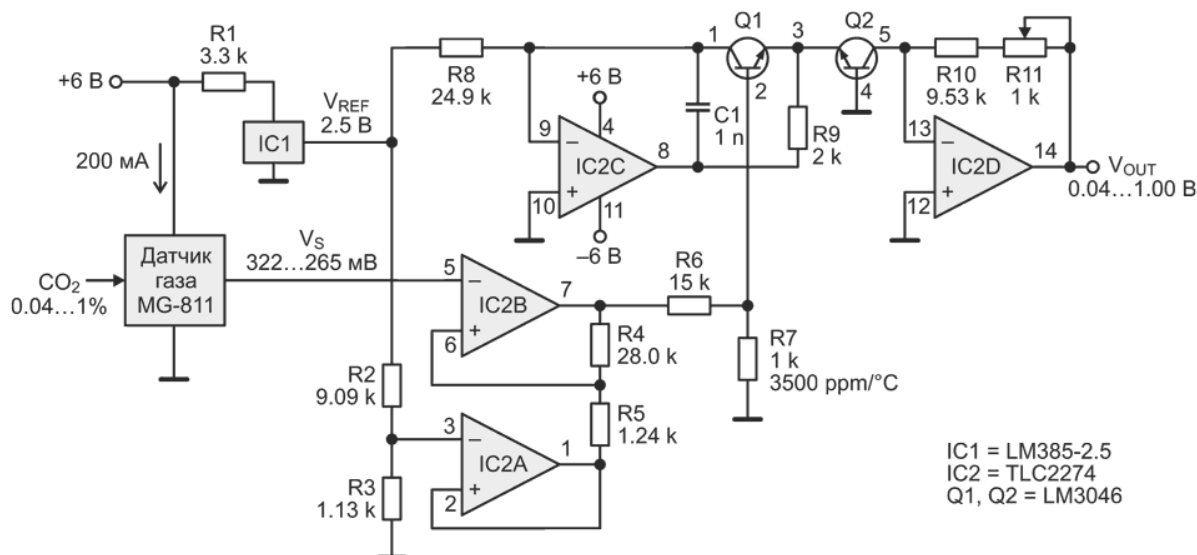
Живлення: 5 В DC

Роздільна здатність: 1 ppm

Тип входу: аналоговий

Вага: 15 г

Розміри: 32 мм x 22 мм x 27 мм



2.2.16. Електронна схема MG-811

Електронна схема датчика MG-811 включає наступні компоненти:

- Інфрачервоний (IR) датчик: Основою датчика MG-811 є інфрачервоний (IR) датчик, який використовується для виявлення концентрації CO₂. Він має спеціальне покриття, що реагує на CO₂ та інші гази. Коли CO₂ присутній, інфрачервоне випромінювання, що виходить з датчика, змінюється.

- Оптичний фільтр: Датчик MG-811 має вбудований оптичний фільтр, який дозволяє відфільтрувати випромінювання, яке не пов'язане з CO₂. Це допомагає забезпечити точність вимірювання і запобігає впливу інших газів або шумів на результати.

- Електронний блок: Датчик MG-811 має електронний блок, який включає попередній підсилювач, аналогово-цифровий перетворювач (ADC) та інші електронні компоненти. Попередній підсилювач збільшує вихідний сигнал з датчика для подальшої обробки, а ADC перетворює аналоговий

сигнал у цифровий формат, який може бути зрозумілий мікроконтролером або іншими пристроями.

- Засоби зчитування: Цифровий сигнал, що отримується від датчика, може бути зчитаний цифровий сигнал, що отримується від датчика, може бути зчитаний мікроконтролером або іншими пристроями для обробки та відображення результатів. Мікроконтролер може виконувати розрахунки для перетворення цифрових значень на концентрацію CO₂ в частках на мільйон (ppm) або інших вимірювальних одиницях.

Принцип дії датчика MG-811 базується на абсорбції інфрачервоного випромінювання CO₂. Коли CO₂ присутній у повітрі, воно поглинає інфрачервоне випромінювання в певному діапазоні довжин хвиль. Інфрачервоний датчик у датчику MG-811 реагує на цю зміну поглинання, що відбувається при взаємодії з CO₂.

Збільшення концентрації CO₂ викликає більше поглинання інфрачервоного випромінювання, що призводить до зміни електричного сигналу, який генерується датчиком. Цей сигнал потім підсилюється і обробляється електронним блоком датчика для отримання числового вимірювання концентрації CO₂.

Вибір датчику кисню в вихлопних газах

Датчик кисню в вихлопних газах використовується для вимірювання кількості кисню, яка залишилася в вихлопних газах після згорання палива в двигуні внутрішнього згорання. Це дозволяє контролювати ефективність згорання палива і визначати, чи відповідає рівень викидів шкідливих речовин нормам.

З міркувань екології і безпеки, законодавство багатьох країн вимагає встановлення датчиків кисню в вихлопних системах транспортних засобів. Це дозволяє зменшити кількість шкідливих речовин, які потрапляють в атмосферу, та покращити якість повітря в міських та інших забруднених районах.

Кисень

Датчики кисню також використовуються в автомобільній промисловості для контролювання ефективності роботи каталітичних конвертерів, які забезпечують зниження рівня викидів шкідливих речовин. Вимірювання кількості кисню дозволяє визначати, чи працюють конвертери належним чином, і вчасно виявляти можливі несправності.



2.2.17 Winsen MQ-131 Ozone Gas Sensor

Живлення: 5 В постійного струму

Роздільна здатність: 0.1 ppm

Тип входу: аналоговий

Вага: 50 грамів

Розміри: 32 x 22 x 27 мм

Принцип дії датчика MQ-131 базується на електрохімічній реакції між озоном та електродами в датчику. Електронна схема датчика включає:

- Електроди: Датчик MQ-131 має два електрода - робочий електрод та опорний електрод. Робочий електрод виконує роль детектора озону, він взаємодіє з озоном і викликає електрохімічну реакцію. Опорний електрод служить для стабілізації сигналу і компенсації впливу інших газів.

- Електронний блок: Електронний блок датчика MQ-131 включає в себе попередній підсилювач, аналогово-цифровий перетворювач (ADC) та інші електронні компоненти. Попередній підсилювач збільшує вихідний сигнал від робочого електрода для подальшої обробки, а ADC перетворює аналоговий сигнал у цифровий формат, який може бути зрозумілий мікроконтролером або іншими пристроями.

- Нагрівальний елемент: Датчик MQ-131 має нагрівальний елемент, який підтримує сталу температуру датчика. Це допомагає досягти стабільності вимірювань і забезпечити оптимальну працездатність датчика.

- Покриття: Робочий електрод датчика MQ-131 має покриття, яке реагує на озон.

.

Висновки до розділу 2.

Отже, для розробки заплановано комбіновану систему на основі плати Arduino Mega, яка базується на 6 датчиків загального моніторингу, 2 вібраційних та 5 датчиків для вимірювання екологічних параметрів двигуна.

Для загального моніторингу обрано: 3 датчики MPX5010DP з аналоговими виходами для вимірювання тиску масла, повітря в системі забезпечення двигуна повітрям та води в системі охолодження; термопара К-типу для вимірювання температури роботи двигуна з підсилювачем MAX31855K, який має цифровий вихід; ультразвуковий датчик витрати палива з цифровим виходом;

Для моніторингу стану рухомих елементів ДВЗ обрано: індуктивний сенсор обертів колінчастого валу LJ12A3-4-Z/BX Inductive Proximity Sensor з цифровим виходом; два акустичні сенсори LM393 з цифровими виходами для вібромоніторингу;

Для моніторингу екологічних показників обрано: аналоговий модуль MQ-135 для вимірювання вмісту азоту в вихлопних газах; два аналогових модулі MG-811 для вимірювання оксидів вуглецю; аналоговий модуль MQ-131 для вимірювання вмісту в вихлопі кисню та аналоговий датчик вуглеводнів (HC) моделі Innovative Motorsports LM-2 Digital Air/Fuel Ratio Meter.

РОЗДІЛ 3. ПРОГРАМНА БАЗА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ДВЗ МАЛОМІРНИХ СУДЕН

3.1 Алгоритм програмної бази системи моніторингу ДВЗ маломірних суден

Програмна структура проекту базується на скетчі ардуїно та ряді аналітичних програм python, які працюють з даними вже після їх збору та пересилання на сервер.

Загальна логіка скетчу ардуїно (додаток Б) полягає в зчитуванні значень з цих датчиків, формуванні рядка даних і відправленні його на вказаний сервер за допомогою протоколу HTTP. З'єднання з WiFi встановлюється за допомогою вказаної SSID та пароля. Алгоритм скетчу (рис 3.1.1) виконує циклічну задачу з збору та пересилання даних.





Рис 3.1.1 Алгоритм роботи скетчу, що збирає та пересилає дані датчиків
 У циклі loop() значення зчитуються з датчиків, формуються в рядок даних, відправляються на сервер, а потім виконується затримка перед наступною ітерацією. Цикл повторюється постійно, збираючи та відправляючи дані з датчиків.

Дані, що були переслані на сервер додаються до Google-таблиці за допомогою програми (Додаток В) з досить простим алгоритмом роботи (Рис 3.1.2):





Рис 3.1.2 Алгоритм роботи програми, що приймає дані та заносить до таблиці

Далі відбувається перевірка на перевищення максимальних показників за допомогою програми (Додаток Г), що не сильно складніша за попередню за функціоналом (рис 3.1.3):



Рис 3.1.3 Алгоритм роботи програми, що перевіряє перевищення нормативів

Створення аналогічної програми для мінімальних показників (Додаток Д) дозволяє робити повноцінний аналіз оптимальності діапазону вимірюваних значень.

Далі відбувається виведення поточних показників для оператора за допомогою програми (Додаток Е), що має функціонал (рис 3.1.4):



Рис 3.1.4 Алгоритм дії програми, що виводить графік реального часу для кожного показника

В кінці програма (Додаток Є) здійснює кореляційний аналіз, за алгоритмом (рис 3.1.5):



Кінець

Рис 3.1.5 Алгоритм роботи програми для кореляційного аналізу

3.2 Математична модель автоматизованої системи моніторингу стану ДВЗ маломірних суден

Блок аналізу даних, що за допомогою програмних засобів здійснює контроль за відповідністю вимірюваних показників встановленим еталонам спирається на дві основні математичні моделі.

Перша з них – розроблена в ході даного дослідження модель функціональних оптимумів (3.2.1).

$$F_{optimum} = \left(\frac{P_a + P_w + P_o + t + c_f + f_c + v + l + \rho_{HC} + \rho_{NOx} + \rho_{CO} + \rho_{CO2} + \rho_{O2}}{13} \right), \quad (3.2.1)$$

Принцип її роботи полягає в формуванні лімітуючих значень мінімумів та максимумів для визначених показників та обчисленні близькості реальних значень до них. Так кожна з вказаних в формулі величин є середнім арифметичним коефіцієнтів наближення значення до мінімуму та максимуму.

Так для тиску повітря в системі забезпечення ДВЗ повітрям ми визначаємо значення p_a (3.2.2).

$$p_a = \frac{1}{2} \left(\frac{P_{air}}{P_{air(max)}} + \frac{P_{air(min)}}{P_{air}} \right), \quad (3.2.2).$$

де $P_{air(max)} = 36$ PSI – максимальна межа оптимального тиску повітря в системі забезпечення ДВЗ, $P_{air(min)} = 22$ PSI – мінімальна межа оптимального тиску повітря в системі забезпечення ДВЗ, P_{air} – вимірюване значення тиску повітря в системі забезпечення ДВЗ.

Для тиску води в системі охолодження ДВЗ ми визначаємо p_w (3.2.3):

$$p_w = \frac{1}{2} \left(\frac{P_{water}}{P_{water(max)}} + \frac{P_{water(min)}}{P_{water}} \right), \quad (3.2.3)$$

де $P_{water(max)} = 21,75$ PSI – максимальна межа оптимального тиску води в системі охолодження ДВЗ, $P_{water(min)} = 14,5$ – мінімальна межа оптимального тиску води в системі охолодження ДВЗ, P_{water} – вимірюване значення тиску води в системі охолодження ДВЗ.

Для тиску масла в системі змащування ми визначаємо значення p_o (3.2.4):

$$p_o = \frac{1}{2} \left(\frac{P_{oil}}{P_{oil(\max)}} + \frac{P_{oil(\min)}}{P_{oil}} \right), \quad (3.2.4)$$

де $P_{oil(\max)} = 70$ PSI – максимальна межа оптимального тиску масла в системі змащення ДВЗ, $P_{oil(\min)} = 40$ PSI – мінімальна межа оптимального тиску масла в системі змащення ДВЗ, P_{oil} – вимірюване значення тиску масла в системі змащення ДВЗ.

Для температури ми визначаємо величину t (3.2.5):

$$t = \frac{1}{2} \left(\frac{T}{T_{\max}} + \frac{T_{\min}}{T} \right), \quad (3.2.5)$$

де $T_{\max} = 95$ °C – максимальна межа оптимальної температури роботи ДВЗ, $T_{\min} = 80$ °C – мінімальна межа оптимальної температури роботи ДВЗ, T – вимірюване значення температури роботи ДВЗ.

Для витрати палива ми визначаємо величину c_f (3.2.6):

$$c_f = \frac{1}{2} \left(\frac{C_{fuel}}{C_{fuel(\max)}} + \frac{C_{fuel(\min)}}{C_{fuel}} \right), \quad (3.2.6)$$

де $C_{fuel(\max)} = 300$ г/кВт·год – максимальна межа оптимальної витрати палива, $C_{fuel(\min)} = 180$ г/кВт·год – мінімальна межа оптимальної витрати палива, C_{fuel} – вимірюване значення витрати палива.

Для показника частоти обертання колінчастого валу ми визначаємо f_c (3.2.7):

$$f_c = \frac{1}{2} \left(\frac{F_{crankshaft}}{F_{crankshaft(\max)}} + \frac{F_{crankshaft(\min)}}{F_{crankshaft}} \right), \quad (3.2.7)$$

де $F_{crankshaft(\max)} = 5000$ об/хв. – максимальна межа оптимальної частоти обертання колінчастого валу, $F_{crankshaft(\min)} = 800$ об/хв. – мінімальна межа

оптимальної частоти обертання колінчастого валу, $F_{crankshaft}$ – вимірюване значення частоти обертання колінчастого валу.

Для віброшвидкості визначаємо значення v (3.2.8).

$$v = \frac{1}{2} \left(\frac{V}{V_{\max}} + \frac{V_{\min}}{V} \right), \quad (3.2.8)$$

де V_{\max} – максимальна віброшвидкість, V_{\min} – мінімальна віброшвидкість, V – вимірюване значення віброшвидкості.

Для віброприскорення визначаємо величину l (3.2.9). Крім того можна окремо розробити програму для аналізу за таблицею 1.3.1.

$$l = \frac{1}{2} \left(\frac{L}{L_{\max}} + \frac{L_{\min}}{L} \right), \quad (3.2.9)$$

де L_{\max} – максимальне віброприскорення, L_{\min} – мінімальне віброприскорення, L – вимірюване значення віброприскорення.

Для екологічних показників розрахунок ведеться аналогічним чином. Зокрема, для концентрації вуглеводнів в вихлопі обчислюємо значення ρ_{HC} (3.2.10):

$$\rho_{HC} = \frac{1}{2} \left(\frac{\omega_{HC}}{\omega_{HC(\max)}} + \frac{\omega_{HC(\min)}}{\omega_{HC}} \right), \quad (3.2.10)$$

де $\omega_{HC(\max)} = 1000$ РРМ – максимальна концентрація вуглеводнів, $\omega_{HC(\min)} = 10$ РРМ – мінімальна концентрація вуглеводнів, ω_{HC} – вимірюване значення концентрації вуглеводнів.

Для концентрації оксидів азоту визначаємо показник ρ_{NOx} (3.2.11):

$$\rho_{NOx} = \frac{1}{2} \left(\frac{\omega_{NOx}}{\omega_{NOx(\max)}} + \frac{\omega_{NOx(\min)}}{\omega_{NOx}} \right), \quad (3.2.11)$$

де $\omega_{NOx(\max)} = 500$ РРМ – максимальна концентрація оксидів азоту, $\omega_{NOx(\min)} = 100$ РРМ – мінімальна концентрація оксидів азоту, ω_{NOx} – вимірюване значення концентрації оксидів азоту.

Для концентрації оксидів вуглецю (СО) визначаємо показник ρ_{CO} (3.2.12):

$$\rho_{CO} = \frac{1}{2} \left(\frac{\omega_{CO}}{\omega_{CO(\max)}} + \frac{\omega_{CO(\min)}}{\omega_{CO}} \right), \quad (3.2.12)$$

де $\omega_{CO(\max)} = 2000$ PPM – максимальна концентрація оксидів вуглецю, $\omega_{CO(\min)} = 500$ PPM – мінімальна концентрація оксидів вуглецю, ω_{CO} – вимірюване значення концентрації оксидів вуглецю.

Для концентрації оксидів вуглецю (CO_2) визначаємо показник ρ_{CO_2} (3.2.13):

$$\rho_{CO_2} = \frac{1}{2} \left(\frac{\omega_{CO_2}}{\omega_{CO_2(\max)}} + \frac{\omega_{CO_2(\min)}}{\omega_{CO_2}} \right), \quad (3.2.13)$$

де $\omega_{CO_2(\max)} = 160000$ PPM – максимальна концентрація оксидів вуглецю, $\omega_{CO_2(\min)} = 140000$ PPM – мінімальна концентрація оксидів вуглецю, ω_{CO_2} – вимірюване значення концентрації оксидів вуглецю.

Для концентрації кисню визначаємо показник ρ_{O_2} (3.2.14):

$$\rho_{O_2} = \frac{1}{2} \left(\frac{\omega_{O_2}}{\omega_{O_2(\max)}} + \frac{\omega_{O_2(\min)}}{\omega_{O_2}} \right), \quad (3.2.14)$$

де $\omega_{O_2(\max)} = 2000$ PPM – максимальна концентрація кисню, $\omega_{O_2(\min)} = 10$ PPM – мінімальна концентрація кисню, ω_{O_2} – вимірюване значення концентрації кисню.

Друга модель (3.2.15) визначає кореляцію між показниками, а саме залежність від частоти обертання колінчастого валу.

$$K = \frac{dP_{air} + dP_{water} + dP_{oil} + dC_{fuel} + dV + dL + d\omega_{HC} + d\omega_{NOx} + d\omega_{CO} + d\omega_{CO_2} + d\omega_{O_2}}{dF_{crankshaft}}, \quad (3.2.15)$$

де K – кореляційний інтегральний показник коливань вимірюваних величин.

Висновки до розділу 3

Проект передбачає формування системи моніторингу роботи двигуна маломірних суден.

Система моніторингу включає в себе збір даних про робочі параметри двигуна та його екологічні показники за допомогою 13 датчиків.

Дані з датчиків обробляються на платі Arduino Mega і пересилаються на сервер для подальшого аналізу.

Структура системи моніторингу базується на підключенні датчиків через макетну плату до відповідних пінів з використанням діодної розв'язки для живлення.

Для збору даних використовуються різні типи датчиків, такі як датчики тиску, температури, рівня палива, обертів колінчастого вала, акустичні датчики та інші.

Зібрані дані відправляються на сервер за допомогою протоколу HTTP через WiFi з'єднання.

Програмна структура проекту полягає в зчитуванні значень з датчиків, формуванні рядка даних і відправленні його на сервер.

Для аналізу даних розроблено програму, яка виводить графіки в реальному часі за допомогою бібліотеки Matplotlib.

Графіки дозволяють візуалізувати дані з кожного з семи каналів і проводити поточний аналіз роботи двигуна.

Крім того окрема програма перевіряє кореляцію.

Розроблено математичні моделі, що пояснюють принципи перевірки максимальних та мінімальних значень, а також визначають інтегральний показник кореляції показників з частотою обертання колінчастого валу.

Цей підхід дозволяє виявляти порушення експлуатаційних нормативів та проводити аналіз роботи двигуна в нормальному режимі.

РОЗДІЛ 4

ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

Студент –

Яценко С. Я. гр. 671

« » _____ 2019р.

Консультант –

д.б.н., проф.. Григорьева Л.І.

« » _____ 2023р.

Миколаїв – 2023р.

4.1 Охорона праці при моніторингу роботи суднового ДВЗ

4.1.1 Охорона праці на робочому місці суднового механіка при вахтовій та без вахтовій організації системи захисту та контролю суднового ДВЗ

У даному розділі роботи розглянути питання охорони праці на посту чергового механіка при роботі з судновими дизельними ДВЗ, описано принципи організації служби з охорони праці та аварійних груп, основні вимоги до працівника, параметри індивідуальних засобів захисту, основні шкідливі виробничі фактори та методи їх контролю.

Служба з охорони праці формується згідно з НПАОП 0.00-4.21-04 „Типове положення про службу охорони праці” та НПАОП 0.00-4.15-98 „Положення про розробку інструкцій з охорони праці” та відповідає за проведення навчань, інструктажів згідно з нормами НПАОП 0.00-4.12-05 "Типове положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці", моніторингу умов праці та консультування працівників, видачу індивідуальних засобів захисту згідно з НПАОП 05.0-3.01-06 "Норми безплатної видачі спеціального одягу, спеціального взуття та інших засобів індивідуального захисту працівникам рибного господарства".

Особою, відповідальною за стан охорони праці на судні, є капітан. Старший помічник капітана є відповідальним за стан охорони праці в загальносудновій службі. Начальники інших суднових служб відповідають за стан охорони праці у своїх службах.

На судні має бути складений розклад за тревогами на випадок надзвичайних ситуацій, за яким має проводитись навчання щодо дій в надзвичайних ситуаціях.

Залежно від чисельності екіпажу на суднах має бути сформовано [25]:

- за чисельності менше 15 осіб - одна аварійна партія;
- за чисельності 15 - 50 осіб - одна аварійна партія і машинно-котельна аварійні група;

- за чисельності 15 - 50 осіб - одна аварійна партія і машинно-котельна аварійні група;

- за чисельності 50 - 100 осіб - носова і кормова аварійні партії і машинно-котельна аварійна група;

- за чисельності екіпажу 100 осіб і більше - носова, кормова і машинно-котельна аварійні партії.

Суднову документацію з охорони праці ведуть начальники суднових служб, кожний за своєю службою під керівництвом старшого помічника капітана. Загальна документація з охорони праці повинна зберігатись у старшого помічника капітана.

Умови праці при несенні вахтової служби суднового механіка регулюються нормами конвенції ПДНВ-78, а саме розділами А-III/4 - А-III/5 „Вимоги до рядового складу машинної вахти на суднах з машинним відділенням”, розділами А-VI/1 -А-VI/4 „Вимоги по відношенню до функцій, пов’язаних з аварійними ситуаціями, охороною праці, першою медичною допомогою та виживанням в екстремальних ситуаціях” та розділом А-VI/6-1 „Вимоги по відношенню до інструктажів з питань, пов’язаних з охороною для всіх моряків”. В рамках тієї ж конвенції визначено і основні заходи при проведенні ремонтних робіт (розділ А III/4, 2 колонка). Безпосереднє регулювання порядку технічної експлуатації суднового ДВЗ та систем автоматичного моніторингу його стану регулюється правилами КНД 31.2.002.01-96 та КНД 31.2.002.08-96.

Вимоги посадової інструкції суднового механіка [26] повинні передбачати такі параметри як:

1. стан здоров’я за критеріями придатності;

- наявність захворювань за міжнародною класифікацією захворювань ВООЗ (10 редакція МКЗ-10);

- критерії зору за діагностичними кодом Н 0059 (гострота зору в денний час, зір на світанку та в сутінках, поле зору, розпізнавання кольорів);

- критерії слуху за діагностичним кодом Р 68-95 (за аудіометром стандарту ISO 8253 - 1: 2010 з втратою не більше 40 дБ на частотах 500, 1000, 2000 та 3000 Гц);

2. Стандарти компетентності;

- знання інструментарію та порядку його використання;

- контроль двигунів та пропульсивної системи, підготовка допоміжного обладнання, реагування на несправності;

- контроль за електричними пристроями;

- користування засобами комунікації;

- знання регламентів щоденного обслуговування обладнання та норм ведення технічної документації;

3. Проходження інструктажів з охорони праці;

- знання прав та обов'язків за посадовою інструкцією;

- порядок отримання засобів індивідуального захисту та вміння їх використовувати;

- знання специфічної морської термінології;

- базові знання про особливості впливу викидів суднового ДВЗ на навколишнє середовище;

- пожежна безпека та пожежегасіння;

- порядок дій при спасінні при аварійних ситуаціях на морі (бажано вміння плавати);

- порядок дій в надзвичайних ситуаціях;

- навички надання первинної медичної допомоги;

- знання шляхів евакуації;

- навички користування засобами комунікації, сигналізації та екстреного сповіщення.

Вимоги до робочого засобів індивідуального захисту [27] регламентуються відповідно до вимог ГОСТ 12.4.011-89 "ССБТ. Средства защиты работающих. Общие требования и классификация" і ГОСТ

12.4.103-83 "ССБТ. Одежда специальная защитная, средства индивидуальной защиты ног и рук. Классификация".

До індивідуальних захисних засобів належать:

- Костюм (комбінезон) бавовняний;
- Берет бавовняний;
- Черевики шкіряні;
- Рукавиці комбіновані;
- Навушники або вкладиші протишумові;
- Окуляри захисні відкриті;
- Каска захисна з підшоломником;
- Респіратор пилогазозахисний;
- Пояс запобіжний;
- Рукавички діелектричні;
- Калоші діелектричні.

На дверях машинного відділення мають бути нанесені знаки маркування безпеки, що вказують на обов'язкове застосування персоналом засобів індивідуального захисту (далі - ЗІЗ).

Для агресивних хімічних речовин розробляється Паспорт безпеки (MSDS) [28] відповідно до Директив і Регламентів Європейського Союзу.

Окрім паспортів безпеки цих речовин, поруч повинні перебувати специфічні засоби індивідуального захисту:

- лицьовий щиток;
- хімічно стійкі рукавиці;
- хімічно стійкі чоботи та фартух;
- флакон із засобом для промивання очей.

Маркування обладнання, вимикачів та засобів контролю здійснюється чіткими написами за нормами ГОСТ 12.2.003-91 ССБП "Обладнання виробниче. Загальні вимоги безпеки".

4.1.2. Опис умов праці виробничого приміщення та складання вихідних даних для кількісної оцінки умов праці

Умови праці в приміщенні визначаються технічними особливостями суднової енергетичної установки в межах допустимих значень ДСН 3.3.6.042-99 "Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень".

Обов'язковою є наявність інструкції з безпечного виконання певних видів робіт на кожному робочому місці. В машинному приміщенні мають бути розміщені схеми судових систем, вентилів, трубопроводів, клапанів, зсувок та їх призначення. Світлові люки мають бути огорожені та освітлюватись в темний час доби. Система вентиляції має утримуватись в робочому стані. На маховиках та вентилях мають бути маркування з положенням відкрито/закрито. Рухомі деталі, які не потребують постійного нагляду мають бути огорожені кожухами та щитами з кольором, який відрізняється від кольору інших елементів. Всі огороження, кожухи, щити мають бути надійно закріплені. Всі елементи, що виділяють надлишкове тепло мають бути тепло ізолювані та мати температуру на поверхні ізоляції не вище 40 °С. На всіх пультах управління та клапанах в ході ремонтних робіт має бути вивішено таблички з написом: "Не вмикати! Працюють люди!".

На дверях та люках аварійних виходів має бути попереджувальний напис "Аварійний вихід. Не захаращувати!".

Не допускається огляд приміщень де можливим є витік отруйних речовин чи забруднення повітря без попереднього забору проб на концентрацію даних речовин. Відкривати люки картера допускається не раніше ніж через 10 - 20 хвилин після зупинки двигуна, за винятком аварійних ситуацій, при цьому не допускається спрямовувати в картер вентиляційний струмінь повітря, оскільки це може викликати вибух парів масла.

Рівень впливу джерел електромагнітного та іонізуючого випромінювання регулюється ДСанПіН 3.3.6-096-2002 "Державні санітарні норми і правила при роботі з джерелами електромагнітних полів" та ГОСТ 12.1.006-84 ССБТ "Електромагнітні поля радіочастот. Допустимі рівні на

робочих місцях і вимоги до проведення контролю". Відомо, що частота роботи серця (70 герц) та мозку (50 герц) є близькими до частоти промислового електромагнітного випромінювання (50 герц), що може стати причиною порушень роботи внутрішніх органів через резонансні частоти. Дане питання є маловивченим, проте існують і однозначно підтверджені гранично допустимі рівні випромінювання, що регламентуються ГДР(ПДУ) 5803-91 „Предельно допустимые уровни (ПДУ) воздействия электромагнитных полей (ЭМП) диапазона частот 10 - 60 КГц (2427)” та становлять 100 мкВт/см² згідно з наказом МОЗ №2760 від 30.11.2020.

Пожежна безпека в обраному виробничому приміщенні забезпечується дотриманням вимог ДСТУ 2272-93 „Система стандартів безпеки праці. Пожежна безпека. Терміни та визначення”.

Освітленість регулюється нормами ДСТУ EN 12464-1:2016 „Світло та освітлення. Освітлення робочих місць” та ДБН В.2.5-28-2006 „Природне та штучне освітлення”.

Метод розрахунку освітленості базується на законі обернених квадратів (1) та вимірюється в люксах.

$$E = \frac{I}{r^2} \cos i, \quad (1)$$

де I – сила світла в канделах, r – відстань до джерела світла, i – кут падіння проміння.

Норма освітленості від суміщених природного та штучного освітлення за стандартом ISO 8995 становить 500-750 лк.

Так як основну увагу в даному дослідженні приділено засобам автоматичної фіксації вібрації, температури та вмісту викидів двигуна – на них варто зосередити основну увагу.

Пов’язаними величинами в даному аспекті виступають шум та вібрація.

Рівень шуму в приміщенні визначається ДСН 3.3.6.037-99 "Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку" та вимірюється за міждержавним технічним стандартом ГОСТ 10150-88 на базі коректованого

рівню звукової потужності двигуна (2) в дБА, визначеними по ГОСТ 12.1.026-ГОСТ 12.1.028.

$$L_{PA} = 10 \lg(P_e \cdot n) + 65 + K, (2)$$

де P_e - потужність двигуна, n - частота обертання в об/хв, K - коефіцієнт конструктивних особливостей двигунів з малою питомою масою (3) до 5 кг/кВт.

$$K = 10 \lg\left(\frac{i}{m}\right), (3)$$

де i - число циліндрів двигуна, m - питома маса кг/кВт.

Рівень акустичних шумів, створюваних радіоапаратурою під час її роботи, не повинен перевищувати 60 дБ.

На дверях приміщень де відбувається регулярне перевищення гранично допустимого рівня шуму має бути відповідне маркування та напис „Заходити в навушниках”.

Рівні вібрації регламентуються ДСН 3.3.6.039-99 „Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації” та визначаються за ДСТУ EN 14253:2018 „Вібрація механічна. Вимірювання та обчислювання впливу на здоров'я загальної виробничої вібрації”.

Основними характеристиками вібрації є амплітуди вібропереміщення, коливної швидкості (віброшвидкість), коливного прискорення (віброприскорення), період та частота коливань.

При оцінці впливу вібрації на організм за основу беруть значення віброшвидкості (4) на базі миттєвих значень швидкості $V(t)$ за час усереднення t_{yc} , що залежать від характеру зміни віброшвидкості в часі.

$$V_{yc} = \sqrt{\frac{1}{t_{yc} \cdot \int_0^{t_{yc}} V^2(t) dt}}. (4)$$

Через широке варіювання значень частот та амплітуд коливання на практиці застосовують логарифмічний рівень коливань (4)

$$L_V = 10 \lg \frac{V^2}{V_0^2} = 20 \lg \frac{V_{yc}}{V_0}, (4)$$

де V_{yc} – усереднене значення віброшвидкості в означеній смузі частот, V_0 – опорна константа віброшвидкості ($5 \cdot 10^{-8}$ м/с).

Віброприскорення може бути обчислено на базі формули (5).

$$L_a = 20 \lg \frac{a}{10^{-6}}. \quad (5)$$

Температура в приміщенні регулюється санітарними нормами та технічними характеристиками при експлуатації двигуна, за якими температура води зовнішнього контуру силової установки коливається в межах від -2 до 32 °С.

При цьому у зимовий період температура на робочому місці має коливатись в межах 18°С - 23°С.

Основною величиною в даному випадку виступає критерій тепло напруженості циліндро-поршневої групи (ЦПГ) деталей двигуна.

Питомий тепловий потік (6) при цьому виражається залежністю [29].

$$q_{охол\Sigma} = \frac{Q_{w(\partial\theta)}}{F_\Sigma}, \quad (6)$$

де $Q_{w(\partial\theta)}$ – абсолютна кількість теплоти, переданої в систему охолодження ДВЗ в Дж; F_Σ – сумарна охолоджувальна площа.

Нормування запиленості робочих приміщень здійснюється за СН 245-71 „Санітарні норми проектування промислових підприємств” та ГОСТ І2.І.005-88 „Повітря робочої зони”. Практичні вимірювання проводяться за допомогою аспіратора [30], або автоматизовано за допомогою датчика MQ-135, описаного в даній дипломній роботі чи іншого подібного обладнання.

Концентрація пилу визначається за формулою (7).

$$X_1 = \frac{P_1 - P}{V_1}, \quad (7)$$

де P_1 та P – маса фільтра до (P) і після досліду (P_1), V_1 – об’єм просоченого через фільтри повітря.

Означені показники стану двигуна та середовища в машинному відділенні можуть контролюватись в ході вахтової служби або дистанційно безвахтовим методом. ГОСТ 10032-80 регламентує три ступені автоматизації суднових ДВЗ:

I ступінь – А1 автоматична підтримка нормальної роботи, аварійна сигналізація та захист;

II ступінь – А2 автоматичне дистанційне управління з частковим обслуговуванням без постійного вахтового спостереження;

III ступінь – А3 дистанційний автоматичний контроль без обслуговування терміном понад 150 годин.

На суднах, що мають знак автоматизації А1, А2 і А3, на входах і видних місцях в МКВ мають бути нанесені попереджувальні знаки: «Увага! Механізми запускаються автоматично»!

4.1.3 Особливості роботи розробки в напрямку моніторингу екологічних показників

Розроблена система моніторингу стану ДВЗ включає блок екологічного моніторингу, який збирає дані з 5 датчиків (рис 4.1.3.1) та піддає його аналізу за допомогою двох програм, одна з яких сигналізує на месенджер при перевищенні максимумів, а друга здійснює аналіз динаміки показників.

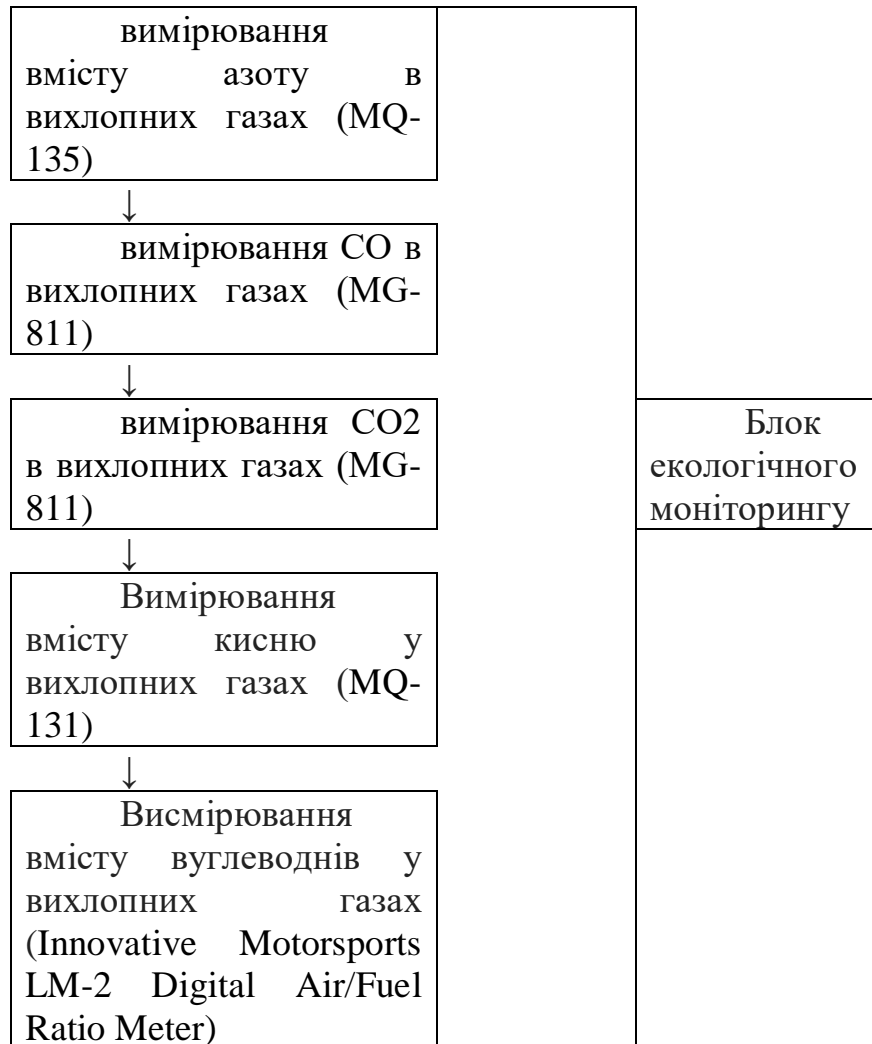


Рис 4.1.3.1 Блок екологічного моніторингу.

Отримані дані, а особливо результат їх аналізу відносно технологічних показників ДВЗ дозволить застосовувати до ДВЗ маломірних суден підхід, аналогічний до такого для автомобільних, що може зчинити значний вплив на стан акваторії портів.

4.2 Дії в умовах надзвичайних ситуацій

4.2.1. Убезпечення персоналу при техногенних аваріях

В лабораторії електроніки можуть виникати різні аварійні ситуації, які можуть бути потенційно небезпечними для працівників. Основні види аварій та надзвичайних ситуацій, що можуть виникнути при роботі з Arduino, включають:

1. Пожежа: Можливі причини пожежі включають коротке замикання, перевантаження, неправильне підключення компонентів або некоректне використання електричного обладнання. Пожежа може швидко поширитися і становити загрозу для працівників та майна.

Заходи для боротьби з наслідками пожежі:

Переконайтесь, що в лабораторії є вогнегасники, які легко доступні та періодично перевіряються.

Встановіть автоматичну систему пожежогасіння або димові датчики для спостереження за наявністю диму.

Забезпечте наявність плану евакуації та навчіть працівників, як правильно евакуюватися в разі пожежі.

Зберігайте легкозаймисті матеріали і речовини в спеціальних шафах або контейнерах з відповідною позначкою та відповідно до нормативних вимог.

2. Електротравми: При роботі з Arduino та електричними компонентами існує ризик отримання електротравм. Це може статися через неправильне підключення, використання неізольованого обладнання або недотримання основних правил безпеки.

Заходи для боротьби з наслідками електротравм:

Забезпечте наявність заземлення та ізоляції обладнання та проводів.

Використовуйте ізольовані інструменти та перевіряйте їх на наявність пошкоджень перед використанням.

Навчіть працівників правильному використанню електричного обладнання та основним правилам безпеки при роботі з електронікою.

Перевіряйте електропроводку та електроустаткування на наявність пошкоджень та відповідність стандартам безпеки.

Забезпечуйте використання переносних пристроїв зі справними заземленням та захистом від струму короткого замикання.

Забезпечуйте наявність першої допомоги та навчіть працівників надавати її в разі електротравм.

3. Отруєння: При роботі з електронікою можуть використовуватися хімічні речовини або розчинники, які можуть бути токсичними. Неправильне використання або недостатній вентиляційний контроль може спричинити отруєння.

Заходи для боротьби з наслідками отруєння:

Зберігайте хімічні речовини в спеціальних контейнерах з позначкою і заходами безпеки.

Забезпечте належне провітрювання робочої зони та встановіть вентиляційні системи, якщо потрібно.

Навчіть працівників правильному використанню хімічних речовин, включаючи застосування відповідних захисних засобів та процедур.

Механічні травми: При роботі з електронікою можуть використовуватися гострі інструменти, паяльні пристрої та інші механічні пристрої, які можуть становити ризик порізів, ударів або травм.

Заходи для боротьби з наслідками механічних травм:

Забезпечуйте наявність і використання особистих захисних засобів, таких як рукавиці, окуляри та нагрудні нарукавники.

Навчіть працівників правильному використанню інструментів і обладнання, а також технік безпеки при роботі з ними.

Забезпечуйте належне зберігання інструментів та обладнання після використання, щоб уникнути випадкових травм.

4. Несанкціонований доступ: У лабораторії електроніки може бути цінне обладнання та конфіденційна інформація, яка може стати предметом крадіжки або несанкціонованого доступу.

Заходи для боротьби з наслідками несанкціонованого доступу:

Встановіть системи безпеки, такі як відеоспостереження та контроль доступу.

Забезпечте належне зберігання цінного обладнання та інформації, наприклад, в сейфах або закритих приміщеннях.

Обмежте доступ до лабораторії тільки для авторизованих працівників і встановіть процедури контролю доступу.

4.2.2 Особливості інформування населення при надзвичайних ситуаціях

Основний спосіб інформування населення про дії під час надзвичайних ситуацій (НС) полягає у використанні провідних мовних мереж (наприклад, квартирних та зовнішніх гучномовців та стаціонарних радіоточок), які є залишками радянської системи попередження про НС. Крім цього, інформування також здійснюється через місцеве телебачення та радіомовлення.

Для виклику уваги та попередження населення про необхідність увімкнути засоби інформування використовується сигнал цивільної тривоги "Увага всім", який може бути сиреною або переривистими гудками інших сигнальних засобів.

Первісна інформація надається за допомогою стандартного шаблону, який коригується управлінням, відділом або штабом цивільної оборони (ЦО) з питань надзвичайних ситуацій та цивільного захисту населення (ЦЗО), залежно від конкретної ситуації та подій.

Час між подачею звукового сигналу "Увага всім" та передачею повідомлення становить 5 хвилин.

Повідомлення, що передається, повинно включати наступну інформацію: місце та час виникнення надзвичайної ситуації, розміри та масштаби цієї ситуації, час події та тривалість уражуючих факторів, територію, яка потрапляє в зону впливу та осередки найбільшої небезпеки, порядок дій у надзвичайних ситуаціях такого типу та іншу важливу інформацію.

Це повідомлення передається у випадках таких надзвичайних ситуацій, як стихійні лиха (повені, паводки, підтоплення, зсуви, урагани, смерчі,

снігопади, хуртовини, бурі, пожежі на торф'яниках та лісові пожежі) та техногенні аварії (витоки хімічних речовин, радіаційне випромінювання, вибухи, пожежі, розлив ртуті тощо).

Сигнали про надзвичайні ситуації передаються територіальними органами цивільної оборони, захисту населення та територій від надзвичайних ситуацій, такими як управліннями, відділами та штабами цивільної оборони. Основним сигналом цивільної оборони в Україні є "Увага всім". Після оголошення загрози, ситуація може змінюватись динамічно. Головною метою попередження населення є своєчасне інформування про безпосередні джерела небезпеки.

Крім основного сигналу, існують також попереджувальні сигнали, які використовуються для різних видів небезпек. Наприклад, для радіаційної загрози в мирний час використовується сигнал "Аварія на атомній електростанції", а в умовах війни - "Повітряна небезпека" та "Загроза радіаційного зараження".

Відповідальність за оповіщення про аварії покладається на диспетчерську службу хімічно чи радіаційно небезпечного підприємства, а також на територіальні відділи МНС. Після вислання сигналу "Увага всім", черговий диспетчер має протягом 5 хвилин коротко оголосити про аварію та надати інструкції щодо дій в даній ситуації.

Працівники, почувши сигнал оповіщення, негайно використовують індивідуальні засоби захисту та дотримуються інструкцій, передбачених для такої ситуації. Потім вони рухаються до підготовлених укриттів або залишають зону забруднення.

Якщо потрібно, оголошується евакуація населення. Особовий склад невійськових формувань Цивільної оборони збирається на пункти збору і

залучається до локалізації та ліквідації загрози, надання першої допомоги, організації евакуації, проведення профілактичних заходів та запобігання мародерству.

Населенню, почувши сигнал оповіщення, слід використовувати первинні засоби захисту для органів дихання та шкіри (наприклад, марлеві пов'язки, змочені оцтом чи лимонною кислотою). Також населенню рекомендується закрити вікна та двері, відключити газ та нагрівальні прилади, погасити вогонь. Якщо це можливо, треба також повідомити сусідів про небезпеку.

Під час перебування на вулиці настійно рекомендується уникати контакту з предметами голими руками.

Під час тимчасового проходження первинної хмари забруднення рекомендується захистити шкіру, використовуючи одяг, рукавички та шапку, і залишатись у приміщенні з герметично закритими дверима та вікнами. Якщо забруднення повітря важкими речовинами, такими як хлор, необхідно перебувати на верхніх поверхах, а при забрудненні леткими речовинами, наприклад, аміаком, - на нижніх поверхах.

Після проходження первинної хмари рекомендується організувати евакуацію. В містах людей збирають у будинках та під'їздах за вказівкою представників органів цивільного захисту та внутрішніх справ. У випадку їх відсутності необхідно рухатись в напрямку, протилежному напрямку вітру. Якщо це можливо, рекомендується мати при собі налаштований радіоприймач, оскільки мережі Інтернету та мобільного зв'язку можуть бути перевантаженими.

При виході з зони ураження необхідно зняти та віддати на утилізацію верхній одяг, ретельно помити тіло, очі та промити рот.

У випадку загрози ураження необхідно звернутись до медичного пункту.

Якщо потрапляєте в зону пожежі або розповсюдження хмари забруднювача, рухайтесь не в протилежному напрямку поширення, а в напрямку вітру, використовуючи укриття або відкритий простір у випадку пожежі або землетрусу.

При виявленні небезпечних речовин та предметів:

Не торкайтесь виявленого предмета чи речовини.

Обмежте доступ до виявленого.

Повідомте службу оперативного реагування, санітарно-епідеміологічну службу та управління надзвичайних ситуацій.

Визначте межі зони забруднення чи враження та покиньте її.

Якщо забрудник потрапляє на одяг, негайно його видаліть підручними засобами.

Після виходу з зони враження проведіть обробку тіла миючими засобами та, за потреби, дотримуйтесь карантинних обмежень.

Українська система екстреного сповіщення, сформована внаслідок російської агресії, включає кілька важливих компонентів, які спрямовані на швидке та ефективне інформування населення про надзвичайні ситуації.

Додаток "Повітряна тривога": Цей мобільний додаток був розроблений для швидкого оповіщення громадян про можливі небезпечні події, зокрема ракетні атаки та повітряні тривоги. Користувачі додатку отримують сповіщення в реальному часі з вказівками щодо захисних дій та інструкцій щодо поведінки в небезпечних ситуаціях. Додаток також надає інформацію про близькі до них притулки та медичні заклади.

Система сповіщення ДСНС: Державна служба з надзвичайних ситуацій (ДСНС) відіграє важливу роль у сповіщенні населення про надзвичайні ситуації. Вона використовує різні канали комунікації, такі як радіо, телебачення, радіостанції та офіційні веб-сайти, щоб поширювати важливу інформацію про надзвичайні події, інструкції щодо поведінки та захисних заходів.

Соціальні мережі: Українські владні органи, включаючи ДСНС та інші державні структури, активно використовують соціальні мережі, зокрема Facebook, Twitter та Telegram, для швидкого поширення інформації про надзвичайні ситуації. Це дозволяє надати оперативну інформацію громадянам, а також взаємодіяти з ними через коментарі та питання, поєднання вказаних новацій, таких як додаток "Повітряна тривога", система сповіщення ДСНС та соціальні мережі, з традиційною системою сповіщення, що включає сирени, гучномовці та радіо, має декілька корисних переваг:

Розширення охоплення: Традиційна система з сиренами, гучномовцями та радіо орієнтується на широку аудиторію, забезпечуючи швидке та масове сповіщення. Однак, додавши до цього сучасні засоби комунікації, які використовуються в додатку та соціальних мережах, система може охоплювати більше людей, включаючи тих, хто може не мати доступу до традиційних засобів сповіщення.

Різноманітність каналів сповіщення: Комбінація різних каналів сповіщення дозволяє досягти більшої широти та точності в розповсюдженні інформації. Наприклад, сирени та гучномовці ефективно використовуються для надзвичайних ситуацій, коли потрібно миттєво привернути увагу всього населення, тоді як додаток та соціальні мережі забезпечують детальну інформацію, інструкції та можливість взаємодії з громадянами.

Зручність та доступність: Сучасні засоби сповіщення, такі як додаток та соціальні мережі, є зручними та доступними для більшості людей, оскільки вони використовуються на їх власних мобільних пристроях. Це дозволяє швидко та ефективно отримувати інформацію про надзвичайні ситуації навіть якщо традиційна система сповіщення може бути недоступною або неправильно сприйнятою. Додаток "Повітряна тривога" та соціальні мережі дозволяють швидко оновлювати інформацію та забезпечувати точні інструкції щодо безпеки, надаючи громадянам можливість отримувати оновлену інформацію навіть під час надзвичайної ситуації.

Гнучкість та індивідуалізація: Додаток та соціальні мережі дозволяють громадянам отримувати персоналізовану інформацію та налаштувати сповіщення залежно від їх місця проживання та інтересів. Це дозволяє забезпечити більшу ефективність сповіщення та зменшити його вплив на особисте життя громадян.

Швидка взаємодія та зворотний зв'язок: Система сповіщення, яка поєднує додаток та соціальні мережі з традиційними засобами, дозволяє забезпечити швидку взаємодію та зворотний зв'язок з громадянами. Це дозволяє надавати додаткову інформацію, відповідати на запитання та сприяти більшій взаємодії між владними органами та населенням.

В цілому, поєднання сучасних засобів сповіщення з традиційною системою, що включає сирени, гучномовці та радіо, дозволяє створити більш ефективну та комплексну систему сповіщення про надзвичайні ситуації. Це забезпечує більш широке охоплення населення, точну та актуальну інформацію.

ВИСНОВКИ

Розвиток систем автоматизованого моніторингу суднових ДВЗ почався у 30-х та набув поширення у 70-х роках, стаючи обов'язковою складовою суднових систем згідно з конвенцією ПДНВ-78.

Сучасні системи моніторингу суднових ДВЗ виконують функції контролю, управління, діагностики, передачі даних, прогнозування та обміну інформацією.

Додавання систем попередження, поточної діагностики та уникнення людського втручання допоможе зменшити поломки, оскільки більшість з них становить людський фактор.

Використання експлуатаційних та екологічних параметрів, заснованих на практиці для великих суднових ДВЗ та автомобільних ДВЗ, робить розроблювану систему прогресивним прикладом автоматизованої системи моніторингу ДВЗ майбутнього.

Розробка комбінованої системи на основі плати Arduino Mega, що включає 13 датчиків для вимірювання робочих параметрів та екологічних показників, дозволить збирати, обробляти та аналізувати дані про роботу двигуна маломірних суден.

Структура системи моніторингу передбачає збір даних на платі Arduino Mega та їх передачу на сервер для подальшого аналізу.

Для збору даних використовуються різні типи датчиків, включаючи датчики тиску, температури, рівня палива, обертів колінчастого вала, акустичні датчики та інші.

Розроблена програмна структура проекту дозволяє зчитувати дані з датчиків, формувати рядок даних та передавати його на сервер.

Для аналізу та візуалізації даних розроблена програма, що виводить графіки в реальному часі за допомогою бібліотеки Matplotlib. Це дозволяє оператору візуально оцінити роботу двигуна з кожного з семи каналів моніторингу.

В рамках проекту також розроблено математичні моделі, які пояснюють принципи перевірки максимальних та мінімальних значень параметрів і визначають інтегральний показник кореляції показників з частотою обертання колінчастого вала. Цей підхід дозволяє виявляти порушення експлуатаційних нормативів та проводити аналіз роботи двигуна в нормальному режимі.

Загальна система моніторингу роботи двигуна маломірних суден забезпечує збір, обробку та аналіз даних для попередження поломок та оптимального управління.

Розроблена система моніторингу має потенціал для застосування в судновій промисловості, де важливо забезпечити ефективну та безпечну експлуатацію двигунів.

У подальшому, можна розширити систему моніторингу шляхом додавання додаткових датчиків та розробки нових математичних моделей для вимірювання та аналізу інших параметрів роботи двигуна.

Результати цієї роботи можуть бути використані для покращення ефективності, безпеки та екологічної придатності маломірних судових ДВЗ, сприяючи зменшенню експлуатаційних ризиків та підвищенню їх надійності.

В цілому, розроблена система моніторингу є кроком у напрямку автоматизації та покращення управління судовими ДВЗ, забезпечуючи ефективне використання ресурсів, зниження ризику поломок та покращення загальної продуктивності.

Отримані результати підтверджують потенціал використання автоматизованої системи моніторингу для покращення якості та надійності роботи судових ДВЗ. Завдяки цій системі, оператори отримують реальний часовий доступ до важливих параметрів та можуть приймати своєчасні рішення щодо підтримки оптимального режиму роботи двигуна.

Розроблена система моніторингу є гнучкою та може бути адаптована до різних типів маломірних суден та їх двигунів. Це дозволяє

використовувати її як у нових проектах, так і для модернізації існуючих систем моніторингу.

Впровадження системи моніторингу суднових ДВЗ має потенціал для зниження витрат на обслуговування та ремонт двигунів. Вчасне виявлення проблемних параметрів та їх відповідне управління можуть зменшити витрати на некоректну експлуатацію та непередбачувані ремонти.

Розроблена система моніторингу є цінним інструментом для операторів суден, які прагнуть підвищити безпеку, ефективність та довговічність своїх двигунів. Це може мати позитивний вплив на судновий транспорт загалом, зменшуючи екологічні впливи та забезпечуючи стабільну та надійну роботу суднових ДВЗ.

У майбутньому можливе поширення та удосконалення системи моніторингу суднових ДВЗ за рахунок використання передових технологій, таких як штучний інтелект, аналітика даних та безпроводові комунікації

ЛІТЕРАТУРА

1. Ю. П. Кондратенко, Г. В. Кондратенко, О. О. Черно, А. К. Попов. Вимірювальні перетворювачі систем автоматичного керування. Методичні вказівки до лабораторних робіт. / Під редакцією д.т. н., проф. Ю. П. Кондратенка — Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова.
2. Kang, Y.-J., Noh, Y., Jang, M.-S., Park, S., & Kim, J.-T. (2023). Hierarchical level fault detection and diagnosis of ship engine systems. *Expert Systems with Applications*, 213(Part A), 118814. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2022.118814>
3. Ceylan, B. O., Akyuz, E., & Arslanoğlu, Y. (2022). Modified quantitative systems theoretic accident model and processes (STAMP) analysis: A catastrophic ship engine failure case. *Ocean Engineering*, 253, 111187. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2022.111187>
4. Tan, D., Wu, Y., Lv, J., Li, J., Ou, X., Meng, Y., Lan, G., Chen, Y., & Zhang, Z. (2023). Performance optimization of a diesel engine fueled with hydrogen/biodiesel with water addition based on the response surface methodology. *Energy*, 263(Part C), 125869. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.125869>
5. Qu, C., Zhou, Z., Liu, Z., Jia, S., Wang, L., & Ma, L. (2021). State prediction for marine diesel engine based on variational modal decomposition and long short-term memory. *Energy Reports*, 7, 880-886. ISSN 2352-4847. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2021.09.185>
6. Wang, R., Chen, H., & Guan, C. (2021). Random convolutional neural network structure: An intelligent health monitoring scheme for diesel engines. *Measurement*, 171, 108786. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2020.108786>
7. Wang, Z., Zhang, J., Jiang, Z., Mao, Z., Chang, K., & Wang, C. (2021). Quantitative misalignment detection method for diesel engine based on the average of shaft vibration and shaft shape characteristics. *Measurement*, 181, 109527. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2021.109527>
8. Qu, C., Zhou, Z., Liu, Z., & Jia, S. (2022). Predictive anomaly detection for marine diesel engine based on echo state network and autoencoder. *Energy Reports*, 8(Supplement 4), 998-1003. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2022.01.225>

9. Ma, Z., Xie, W., Xiang, H., Zhang, K., Yang, M., & Deng, K. (2023). Thermodynamic analysis of power recovery of marine diesel engine under high exhaust backpressure by additional electrically driven compressor. *Energy*, 266, 126470. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.126470>
10. Tran, T. A. (2020). Effect of ship loading on marine diesel engine fuel consumption for bulk carriers based on the fuzzy clustering method. *Ocean Engineering*, 207, 107383. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2020.107383>
11. Dong, X.T., Nguyen, M.H., & Lee, D. (2020). Algorithm development for acoustic emission measurement in high-frequency ranges and its application on a large two-stroke marine diesel engine. *Measurement*, 162, 107907. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2020.107907>
12. Паливо-мастильні матеріали, технічні рідини та системи їх забезпечення./ Упор. В.Я.Чабанний. – Кіровоград: Центрально-Українське видавництво, 2008. – 500с.
13. Тимошевський Б. Г. Дослідження параметрів роботи роторно-поршневого двигуна / Б. Г. Тимошевський, О. С. Митрофанов // Двигатели внутреннего сгорания. - 2019. - № 1. - С. 3-8. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/dvs_2019_1_2.
14. Горбов В. М., Енциклопедія суднової енергетики. - Миколаїв:НУК, 2010, р. 624.
15. Поляков А. П. Дослідження впливу підігріву палива на його характеристики в'язкості і густини / А. П. Поляков, О. О. Галушак, С. О. Квасневський // Вісник СевНТУ. Сер. : Машиноприладобудування та транспорт. - 2013. - Вип. 142. - С. 116-119. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vsntum_2013_142_31.
16. Слинько Г. І. Підвищення паливної економічності дизельного двигуна 6ЧН12/14 завдяки вдосконаленню розпилення та сумішоутворення / Г. І. Слинько, Р. Ф. Сухонос, П. В. Цокотун, В. В. Слинько, Д. А. Володін // Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні. - 2020. - № 1. - С. 69-76. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nmt_2020_1_12.

17. Варбанец Р. А. Анализ возможности вибродиагностики технического состояния судовых дизелей / Р. А. Варбанец, Ю. Н. Кучеренко, В. И. Кырнац // *Авиационно-космическая техника и технология*. - 2014. - № 6. - С. 75–79. - Режим доступа: http://nbuv.gov.ua/UJRN/aktit_2014_6_12.

18. Анализ метода устранения "утечки" спектра при диагностике систем турбонаддува судовых дизелей [Текст] / Р. А. Варбанец, Ю. Н. Кучеренко, А. И. Головань, Н. И. Александровская // *Искусственный интеллект*. – 2013. – № 4(62). – С. 289-295.

19. Відпрацьовані гази // *Словник-довідник з екології : навч.-метод. посіб.* / уклад. О. Г. Лановенко, О. О. Остапшина. — Херсон : ПП Вишемирський В. С., 2013. — С. 38.

20. Анісімов В. Ф., Пришляк В. М., П'ясецький А. А., Бурлака С. А. Експериментальне дослідження відпрацьованих газів дизельних двигунів. Збірник наукових праць Вінницького національного аграрного університету. Сер. Технічні науки. 2013. Вип. 12. С. 56–66. URL: <http://www.irbis-nbuv.gov.ua/>

21. Omidvarborna; et al. (2014). "Characterization of particulate matter emitted from transit buses fueled with B20 in idle modes". *Journal of Environmental Chemical Engineering*. 2 (4): 2335–2342. doi:10.1016/j.jece.2014.09.020.

22. Jessica Castner, Ozone Alerts and Respiratory Emergencies: The Environmental Protection Agency's Potential Biological Pathways for Respiratory Effects, „*Journal of Emergency Nursing*”, 46 (4), 2020, 413–419.e2, DOI: 10.1016/j.jen.2020.05.008, PMID: 32650877, PMCID: PMC7340387 (ang.)

23. В.І.Андрєєв, О.І. Случак, О.Ф. Прищепов, О.В. Щесюк, С. Яценко. (2021). Система вібромоніторингу ДВЗ маломірних суден на базі Arduino. *Aerospace technic and technology*. 150-157. 10.32620/aktt.2021.4sup1.21.

24. Тензомер // *Термінологічний словник-довідник з будівництва та архітектури* / Р. А. Шмиг, В. М. Боярчук, І. М. Добрянський, В. М. Барабаш ; за заг. ред. Р. А. Шмига. — Львів, 2010. — С. 187

25. Про затвердження Правил охорони праці під час виконання робіт на борту риболовних суден Держгірпромнагляд; Наказ, Правила від 27.12.2006

№ 26 / Офіційний вісник України 2007 р., № 9, стор. 189, стаття 341, код акта 38681/2007. Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0074-07#Text>

26. Європейський комітет з розробки стандартів у галузі внутрішнього судн оплавства. Компіляція резолюцій CESNI , прийнятих на Засіданні від 08 листопада 2018 року / CESNI (18) 54 доп. 2 фінальна версія. Режим доступу:<https://www.cesni.eu/wp-content/uploads/2021/04/ES-QIN-2018-UA.pdf>

27. Державний комітет України з промислової безпеки, охорони праці та гірничого нагляду. Наказ "Про затвердження Норм безплатної видачі спеціального одягу, спеціального взуття та інших засобів індивідуального захисту працівникам суднобудівної промисловості" / Офіційний вісник України — 2007 р., № 28, стор. 83, стаття 1129, код акта 39420/2007. Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0327-07#Text>

28. Техніка безпеки при роботі в судовому машинно - котельному відділенні [Текст]: Методичні вказівки до виконання практичних робіт з дисципліни «Безпека людини та охорона навколишнього середовища» / Укл. Д. Г. Парменова, В. І. Крайнова – Одеса: НУ«ОМА», 2018 . – 41 с. Режим доступу: onmag.od.ua/wp-content/uploads/2020/03/14.11.18-Методичні-вказівки-ВСЕ-спец-машин-відділен-УКР-1.pdf

29. Дьяченко Н. Х. Теория двигателей внутреннего сгорания / Н. Х. Дьяченко. – Л. : Машиностроение, 1974. – 552 с.

30. Беліков А.С., Устимович Л.Д., Бабич О.С., Годяев С.Г., Дмитрюк С. П., Кравчук А. М. Лабораторний практикум з охорони праці /Дніпропетр. держ. агр. ун-т. Дніпропетровськ, 2009. 111 с.

ДОДАТКИ

Додаток А. Програми для передачі даних вібромоніторингу

A1

```
using System.IO.Ports;
```

```
const int DEBUG = true;

const int SENSOR_PIN = 7;

const int SAMPLES = 128;

const int AUDIO = 7;

char[] im = new char[SAMPLES];
char[] data = new char[SAMPLES];
int[] barht = new int[SAMPLES];

SerialPort esp8266 = new SerialPort("COM9", 115200);

void Setup()
{
    esp8266.Open();
    esp8266.DataReceived += new SerialDataReceivedEventHandler(Esp8266DataReceived);
    SendData("AT+RST\r\n", 2000, DEBUG);
    SendData("AT+CWMODE=2\r\n", 1000, DEBUG);
    SendData("AT+CIFSR\r\n", 1000, DEBUG);
    SendData("AT+CIPMUX=1\r\n", 1000, DEBUG);
    SendData("AT+CIPSERVER=1,80\r\n", 1000, DEBUG);
    pinMode(SENSOR_PIN, INPUT);
}

void Loop()
{
    int i, j, val;
    // get audio data
    for (i = 0; i < SAMPLES; i++)
    {
        val = analogRead(SENSOR_PIN);
```



```

    data[i] = (char)(val / 4 - 128);

    im[i] = 0;

}

// perform FFT
fix_fft(data, im, 7, 0);

// calculate absolute value for 64 results
for (i = 0; i < SAMPLES / 2; i++)
{
    barht[i] = (int)Math.Sqrt(data[i] * data[i] + im[i] * im[i]);
}

// combine adjacent values
for (i = 0, j = 0; i < SAMPLES / 2; i++, j += 2)
{
    barht[i] = barht[j] + barht[j + 1];
}
}

void Esp8266DataReceived(object sender, SerialDataReceivedEventArgs e)
{
    SerialPort sp = (SerialPort)sender;
    string indata = sp.ReadExisting();
    if (indata.Contains("+IPD, "))
    {
        int connectionId = indata[5] - '0';
        string webpage = "";
        for (int i = 0; i < SAMPLES / 2; i++)
        {
            webpage += barht[i];
            webpage += ",";
        }
    }
}

```

```
webpage = webpage.Remove(webpage.Length - 1);  
string cipSend = "AT+CIPSEND=";  
cipSend += connectionId;  
cipSend += ",";  
cipSend += webpage.Length;  
SendData(cipSend, 1000, DEBUG);  
SendData(webpage, 1000, DEBUG);  
}  
}  
  
void SendData(string data, int timeout, bool debug)  
{  
    esp8266.Write(data);  
    if (debug)  
    {  
        Console.WriteLine("Sent: " + data);  
    }  
    System.Threading.Thread.Sleep(timeout);  
}
```

```
using System;

using System.Drawing;

using System.Windows.Forms;

namespace GraphingProgram
{
    public partial class Form1 : Form
    {
        public Form1()
        {
            InitializeComponent();
        }

        private void Form1_Load(object sender, EventArgs e)
        {
            // Встановити межі діапазону значень по x та по y
            double minX = -Math.PI;

            double maxX = Math.PI;

            double minY = -1.2;

            double maxY = 1.2;

            // Обчислити розміри діаграми та шкалу
            int margin = 50;

            int width = pictureBox1.Width - 2 * margin;

            int height = pictureBox1.Height - 2 * margin;

            double xScale = width / (maxX - minX);
```

```

double yScale = height / (maxY - minY);

// Створити зображення
Bitmap bmp = new Bitmap(pictureBox1.Width, pictureBox1.Height);
Graphics g = Graphics.FromImage(bmp);
g.SmoothingMode = System.Drawing.Drawing2D.SmoothingMode.AntiAlias;
Pen pen = new Pen(Color.Black, 2);

// Відображення функції  $\sin^2(x/3)$  на ділянці  $-3\pi$  до  $\pi$ 
double x1 = -3 * Math.PI;
double x2 = Math.PI;
double dx = 0.1;
double y, lastY = 0;
for (double x = x1; x <= x2; x += dx)
{
    y = Math.Pow(Math.Sin(x / 3), 2);
    if (x > x1)
    {
        g.DrawLine(pen, (float)((x - dx - minX) * xScale) + margin, (float)((maxY - lastY)
* yScale) + margin,
        (float)((x - minX) * xScale) + margin, (float)((maxY - y) * yScale) + margin);
    }
    lastY = y;
}

// Відображення функції  $0.01((x^2)-40*\sin(x))$  на ділянці  $-\pi$  до  $\pi$ 
x1 = -Math.PI;
x2 = Math.PI;

```

```

dx = 0.1;

lastY = 0;

for (double x = x1; x <= x2; x += dx)
{
    y = 0.01 * ((x * x) - (40 * Math.Sin(x)));

    if (x > x1)
    {
        g.DrawLine(pen, (float)((x - dx - minX) * xScale) + margin, (float)((maxY - lastY)
* yScale) + margin,
            (float)((x - minX) * xScale) + margin, (float)((maxY - y) * yScale) + margin);
    }

    lastY = y;
}

// Відображення функції cos^2(x) на ділянці π до 3π
x1 = Math
x2 = 3 * Math.PI;
dx = 0.1;
lastY = 0;

for (double x = x1; x <= x2; x += dx)
{
    y = Math.Pow(Math.Cos(x), 2);

    if (x > x1)
    {
        g.DrawLine(pen, (float)((x - dx - minX) * xScale) + margin, (float)((maxY - lastY)
* yScale) + margin,
            (float)((x - minX) * xScale) + margin, (float)((maxY - y) * yScale) + margin);
    }

    lastY = y;
}

```

```
}

// Відображення координатних осей та підписів

g.DrawLine(pen, margin, margin, margin, pictureBox1.Height - margin);

g.DrawLine(pen, margin, pictureBox1.Height - margin, pictureBox1.Width - margin,
pictureBox1.Height - margin);

g.DrawString("-π", new Font("Arial", 10), Brushes.Black, new PointF((float)(-Math.PI *
xScale + margin), pictureBox1.Height - margin));

g.DrawString("π", new Font("Arial", 10), Brushes.Black, new PointF((float)(Math.PI *
xScale + margin), pictureBox1.Height - margin));

g.DrawString("-3π", new Font("Arial", 10), Brushes.Black, new PointF((float)(-3 *
Math.PI * xScale + margin), pictureBox1.Height - margin));

g.DrawString("3π", new Font("Arial", 10), Brushes.Black, new PointF((float)(3 *
Math.PI * xScale + margin), pictureBox1.Height - margin));

g.DrawString("1.2", new Font("Arial", 10), Brushes.Black, new PointF(margin - 30,
(float)(maxY * yScale + margin - 10)));

g.DrawString("-1.2", new Font("Arial", 10), Brushes.Black, new PointF(margin - 30,
(float)(minY * yScale + margin - 10)));

// Відобразити зображення на формі

pictureBox1.Image = bmp;

}

}

}
```

Додаток Б. Скетч для пересилання даних

```
#include <WiFi.h>

#include <HTTPClient.h>

#include <Adafruit_MAX31855.h>

#include <NewPing.h>

const char* ssid = "SSID_Вашої_мережі";

const char* password = "Пароль_Вашої_мережі";

const char* serverName = "https://script.google.com/macros/s/Ваш_Google_Script_ID/exec";

#define MPX5010DP_1 A0

#define MPX5010DP_2 A1

#define MPX5010DP_3 A2

#define THERMOCOUPLE_CLK D2

#define THERMOCOUPLE_CS D3

#define THERMOCOUPLE_DO D4

Adafruit_MAX31855 thermocouple(THERMOCOUPLE_CLK, THERMOCOUPLE_CS,
THERMOCOUPLE_DO);

#define FUEL_FLOW_TRIGGER D5

#define FUEL_FLOW_ECHO D6

NewPing fuelFlowSensor(FUEL_FLOW_TRIGGER, FUEL_FLOW_ECHO);

#define CRANKSHAFT_SENSOR D7

#define ACOUSTIC_SENSOR_1 D8

#define ACOUSTIC_SENSOR_2 D9
```

```
#define MQ135 A3

#define MG811_1 A4
#define MG811_2 A5

#define MQ131 A6

#define LM2_SENSOR A7

const int sampleSize = 128;
const int httpTimeout = 10000;
const int postDataDelay = 300000;

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  WiFi.begin(ssid, password);
  while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
    delay(1000);
    Serial.println("Connecting to WiFi...");
  }
  Serial.println("Connected to WiFi");

  pinMode(MPX5010DP_1, INPUT);
  pinMode(MPX5010DP_2, INPUT);
  pinMode(MPX5010DP_3, INPUT);

  pinMode(CRANKSHAFT_SENSOR, INPUT);
```



```
pinMode(ACOUSTIC_SENSOR_1, INPUT);
pinMode(ACOUSTIC_SENSOR_2, INPUT);
}

void loop() {
int mpx5010dp1Data = analogRead(MPX5010DP_1);
int mpx5010dp2Data = analogRead(MPX5010DP_2);
int mpx5010dp3Data = analogRead(MPX5010DP_3);

int thermocoupleTemperature = thermocouple.readCelsius();

int fuelFlow = fuelFlowSensor.ping_cm() / 100;

int crankshaftSensorData = digitalRead(CRANKSHAFT_SENSOR);

int acousticSensor1Data = digitalRead(ACOUSTIC_SENSOR_1);
int acousticSensor2Data = digitalRead(ACOUSTIC_SENSOR_2);

int mq135Data = analogRead(MQ135);

int mg811_1Data = analogRead(MG811_1);
int mg811_2Data = analogRead(MG811_2);

int mq131Data = analogRead(MQ131);

int lm2SensorData = analogRead(LM2_SENSOR);
```

```

String dataString = "mpx5010dp1=" + String(mpx5010dp1Data) + "&mpx5010dp2=" +
String(mpx5010dp2Data) + "&mpx5010dp3=" + String(mpx5010dp3Data) + "&thermocouple="
+ String(thermocoupleTemperature) + "&fuelFlow=" + String(fuelFlow) + "&crankshaft=" +
String(crankshaftSensorData) + "&acoustic1=" + String(acousticSensor2Data) + "&acoustic2=" +
String(acousticSensor2Data) + "&mq135=" + String(mq135Data) + "&mg811_1=" +
String(mg811_1Data) + "&mg811_2=" + String(mg811_2Data) + "&mq131=" +
String(mq131Data) + "&lm2Sensor=" + String(lm2SensorData);

if (WiFi.status() == WL_CONNECTED) {
  HTTPClient http;
  http.setTimeout(httpTimeout);
  http.begin(serverName);
  http.addHeader("Content-Type", "application/x-www-form-urlencoded");
  int httpResponseCode = http.POST(dataString);
  if (httpResponseCode > 0) {
    String response = http.getString();
    Serial.println(httpResponseCode);
    Serial.println(response);
  } else {
    Serial.println("Error on HTTP request");
  }
  http.end();
} else {
  Serial.println("WiFi not connected");
}
delay(postDataDelay);
}

```

Додаток В. Програма для заповнення Google-таблиці

```
from flask import Flask, request

import gspread

from oauth2client.service_account import ServiceAccountCredentials

import datetime

app = Flask(__name__)

# Ключ доступу до таблиці Google Sheets

key = 'your-key-here'

# Зв'язок з API Google Sheets

scope = ['https://spreadsheets.google.com/feeds', 'https://www.googleapis.com/auth/drive']

creds = ServiceAccountCredentials.from_json_keyfile_name('google-creds.json', scope)

client = gspread.authorize(creds)

# Вибір таблиці для запису даних

sheet = client.open_by_url('https://docs.google.com/spreadsheets/d/your-sheet-url-here/edit#gid=0').sheet1

@app.route('/', methods=['POST'])

def get_data():

    # Отримуємо дані від Arduino

    MPX5010DP_1= request.form.get(' MPX5010DP_1')

    MPX5010DP_2 = request.form.get(' MPX5010DP_2')

    MPX5010DP_3= request.form.get(' MPX5010DP_3')

    CRANKSHAFT_SENSOR = request.form.get(' CRANKSHAFT_SENSOR ')

    ACOUSTIC_SENSOR_1= request.form.get(' ACOUSTIC_SENSOR_1')
```

```
ACOUSTIC_SENSOR_2 = request.form.get(' ACOUSTIC_SENSOR_2')
MAX31855 thermocouple = request.form.get(' MAX31855 thermocouple ')
fuelFlowSensor = request.form.get(' fuelFlowSensor ')
MQ135 = request.form.get(' MQ135')
MG811_1 = request.form.get(' MG811_1 ')
MG811_2 = request.form.get(' MG811_2 ')
MQ131= request.form.get(' MQ131')
LM2_SENSOR = request.form.get(' LM2_SENSOR ')

# Формуємо список з отриманими даними
row = [datetime.datetime.now(), audio1, audio2, other1, other2, other3, other4, other5]

# Додаємо рядок до таблиці
sheet.append_row(row)

return 'Data received'

if __name__ == '__main__':
    app.run(host='0.0.0.0', port=8080)
```

Додаток Г. Програма для сповіщення про перевищення норм.

```
from flask import Flask, request

import gspread

from oauth2client.service_account import ServiceAccountCredentials

import datetime

app = Flask(__name__)

# Ключ доступу до таблиці Google Sheets
key = 'your-key-here'

# Зв'язок з API Google Sheets
scope = ['https://spreadsheets.google.com/feeds', 'https://www.googleapis.com/auth/drive']
creds = ServiceAccountCredentials.from_json_keyfile_name('google-creds.json', scope)
client = gspread.authorize(creds)

# Вибір таблиці для запису даних
sheet = client.open_by_url('https://docs.google.com/spreadsheets/d/your-sheet-url-here/edit#gid=0').sheet1

# Максимальні значення для кожної колонки
max_values = {
    'MPX5010DP_1': ???,
    'MPX5010DP_2': ???,
    'MPX5010DP_3': ???,
    'CRANKSHAFT_SENSOR ': ???,
    'ACOUSTIC_SENSOR_1': ???,
    'ACOUSTIC_SENSOR_2': ???,
    'MAX31855 thermocouple ': ???
```

```

'fuelFlowSensor ': ???

'MQ135 ': ???

'MG811_1': ???

'MG811_2': ???

'MQ131': ???

'LM2_SENSOR ': ???
}

def check_max_values(row):

    for i, value in enumerate(row[1:]):

        if value > max_values[sheet.get_addr(1, i+2)[0]]: # sheet.get_addr повертає адресу
клітинки у форматі "A1", "B2" тощо

            return f"Перевищено {sheet.get_addr(1, i+2)[0]}"

    return None

@app.route('/', methods=['POST'])

def get_data():

    # Отримуємо дані від Arduino

MPX5010DP_1= request.form.get(' MPX5010DP_1')

    MPX5010DP_2 = request.form.get(' MPX5010DP_2')

MPX5010DP_3= request.form.get(' MPX5010DP_3')

    CRANKSHAFT_SENSOR = request.form.get(' CRANKSHAFT_SENSOR ')

ACOUSTIC_SENSOR_1= request.form.get(' ACOUSTIC_SENSOR_1')

    ACOUSTIC_SENSOR_2 = request.form.get(' ACOUSTIC_SENSOR_2')

MAX31855 thermocouple = request.form.get(' MAX31855 thermocouple ')

    fuelFlowSensor = request.form.get(' fuelFlowSensor ')

    MQ135 = request.form.get(' MQ135')

MG811_1 = request.form.get(' MG811_1 ')

MG811_2 = request.form.get(' MG811_2 ')

```

```
MQ131= request.form.get(' MQ131')

LM2_SENSOR = request.form.get(' LM2_SENSOR ')

# Формуємо список з отриманими даними

row = [datetime.datetime.now(),MPX5010DP_1, MPX5010DP_2, MPX5010DP_3,
CRANKSHAFT_SENSOR, MAX31855 thermocouple,fuelFlowSensor, MQ135, MG811_1,
MG811_2, MQ131, LM2_SENSOR]

# Додаємо рядок до таблиці

sheet.append_row(row)

# Перевіряємо максимальні значення

max_check = check_max_values(row)

if max_check:

    # Відправляємо повідомлення про перевищення максимального значення

    # тут можна додати код для надсилання повідомлення на електронну пошту або
месенджер

    print(max_check)

return 'Data received'

if __name__ == '__main__':

    app.run(host='0.0.0.0', port=8080)
```

Додаток Д. Програма для сигналізування про падіння показників нижче рекомендованого рівня

```
from flask import Flask, request

import gspread

from oauth2client.service_account import ServiceAccountCredentials

import datetime

app = Flask(__name__)

# Ключ доступу до таблиці Google Sheets
key = 'your-key-here'

# Зв'язок з API Google Sheets
scope = ['https://spreadsheets.google.com/feeds', 'https://www.googleapis.com/auth/drive']
creds = ServiceAccountCredentials.from_json_keyfile_name('google-creds.json', scope)
client = gspread.authorize(creds)

# Вибір таблиці для запису даних
sheet = client.open_by_url('https://docs.google.com/spreadsheets/d/your-sheet-url-here/edit#gid=0').sheet1

# Мінімальні значення для кожної колонки
min_values = {
    'MPX5010DP_1': ???,
    'MPX5010DP_2': ???,
    'MPX5010DP_3': ???,
    'CRANKSHAFT_SENSOR ': ???,
    'ACOUSTIC_SENSOR_1': ???,
```



```

'ACOUSTIC_SENSOR_2': ???,

'MAX31855 thermocouple ': ???

'fuelFlowSensor ': ???

'MQ135 ': ???

'MG811_1': ???

'MG811_2': ???

'MQ131': ???

'LM2_SENSOR ': ???
}

def check_min_values(row):

    for i, value in enumerate(row[1:]):

        if value < min_values[sheet.get_addr(1, i+2)[0]]: # sheet.get_addr повертає адресу
клітинки у форматі "A1", "B2" тощо

            return f"Нижче норми {sheet.get_addr(1, i+2)[0]}"

    return None

@app.route('/', methods=['POST'])

def get_data():

    # Отримуємо дані від Arduino

MPX5010DP_1= request.form.get(' MPX5010DP_1')

    MPX5010DP_2 = request.form.get(' MPX5010DP_2')

MPX5010DP_3= request.form.get(' MPX5010DP_3')

    CRANKSHAFT_SENSOR = request.form.get(' CRANKSHAFT_SENSOR ')

ACOUSTIC_SENSOR_1= request.form.get(' ACOUSTIC_SENSOR_1')

    ACOUSTIC_SENSOR_2 = request.form.get(' ACOUSTIC_SENSOR_2')

MAX31855 thermocouple = request.form.get(' MAX31855 thermocouple ')

    fuelFlowSensor = request.form.get(' fuelFlowSensor ')

    MQ135 = request.form.get(' MQ135')

```

```
MG811_1 = request.form.get(' MG811_1 ')
MG811_2 = request.form.get(' MG811_2 ')
MQ131= request.form.get(' MQ131')
LM2_SENSOR = request.form.get(' LM2_SENSOR ')

# Формуємо список з отриманими даними

row = [datetime.datetime.now(),MPX5010DP_1, MPX5010DP_2, MPX5010DP_3,
CRANKSHAFT_SENSOR, MAX31855 thermocouple,fuelFlowSensor, MQ135, MG811_1,
MG811_2, MQ131, LM2_SENSOR]

# Додаємо рядок до таблиці

sheet.append_row(row)

# Перевіряємо мінімальні значення

min_check = check_min_values(row)

if min_check:

    # Відправляємо повідомлення про падіння нижче максимального значення

    # тут можна додати код для надсилання повідомлення на електронну пошту або
месенджер

    print(min_check)

return 'Data received'

if __name__ == '__main__':

    app.run(host='0.0.0.0', port=8080)
```

Додаток Е. Програма для виводу графіків

```
import time

import matplotlib.pyplot as plt

from drawnow import *

from flask import Flask, request

import gspread

from oauth2client.service_account import ServiceAccountCredentials

import datetime

app = Flask(__name__)

# Ключ доступу до таблиці Google Sheets

key = 'your-key-here'

# Зв'язок з API Google Sheets

scope = ['https://spreadsheets.google.com/feeds', 'https://www.googleapis.com/auth/drive']

creds = ServiceAccountCredentials.from_json_keyfile_name('google-creds.json', scope)

client = gspread.authorize(creds)

# Вибір таблиці для запису даних

sheet = client.open_by_url('https://docs.google.com/spreadsheets/d/your-sheet-url-
here/edit#gid=0').sheet1

val = [[], [], [], [], [], [], []]

plt.ion()

#create the figure function

def makeFig(channel, title):
```

```
plt.ylim(-1023,1023)

plt.title(title)

plt.grid(True)

plt.ylabel('data')

plt.plot(val[channel], 'ro-', label='Channel {0}'.format(channel))

plt.legend(loc='lower right')

@app.route('/', methods=['POST'])
def get_data():
    # Отримуємо дані від Arduino
    MPX5010DP_1= request.form.get(' MPX5010DP_1')
    MPX5010DP_2 = request.form.get(' MPX5010DP_2')
    MPX5010DP_3= request.form.get(' MPX5010DP_3')
    CRANKSHAFT_SENSOR = request.form.get(' CRANKSHAFT_SENSOR ')
    ACOUSTIC_SENSOR_1= request.form.get(' ACOUSTIC_SENSOR_1')
    ACOUSTIC_SENSOR_2 = request.form.get(' ACOUSTIC_SENSOR_2')
    MAX31855 thermocouple = request.form.get(' MAX31855 thermocouple ')
    fuelFlowSensor = request.form.get(' fuelFlowSensor ')
    MQ135 = request.form.get(' MQ135')
    MG811_1 = request.form.get(' MG811_1 ')
    MG811_2 = request.form.get(' MG811_2 ')
    MQ131= request.form.get(' MQ131')
    LM2_SENSOR = request.form.get(' LM2_SENSOR ')
    # Формуємо список з отриманими даними
    row = [datetime.datetime.now(),MPX5010DP_1, MPX5010DP_2, MPX5010DP_3,
    CRANKSHAFT_SENSOR, MAX31855 thermocouple,fuelFlowSensor, MQ135, MG811_1,
    MG811_2, MQ131, LM2_SENSOR]

    # Додаємо рядок до таблиці
```

```
sheet.append_row(row)

# Додаємо отримані дані до списку значень для кожного каналу
val[0].append(int(MPX5010DP_1))
val[1].append(int(MPX5010DP_2))
val[2].append(int(MPX5010DP_3))
val[3].append(int(CRANKSHAFT_SENSOR))
val[4].append(int(MAX31855 thermocouple))
val[5].append(int(fuelFlowSensor))
val[6].append(int(MQ135))
val[7].append(int(MG811_1))
val[8].append(int(MG811_2))
val[9].append(int(MQ131))
val[10].append(int(LM2_SENSOR))

# Оновлюємо графіки для кожного з каналів
drawnow(lambda: makeFig(0, 'MPX5010DP_1 Channel 1'))
drawnow(lambda: makeFig(1, 'MPX5010DP_2 Channel 2'))
drawnow(lambda: makeFig(3, 'MPX5010DP_3 Channel 3'))
drawnow(lambda: makeFig(4, 'CRANKSHAFT_SENSOR Channel 4'))
drawnow(lambda: makeFig(5, 'MAX31855 thermocouple Channel 5'))
drawnow(lambda: makeFig(6, 'fuelFlowSensor Channel 6'))
drawnow(lambda: makeFig(7, 'MQ135 Channel 7'))
drawnow(lambda: makeFig(8, 'MG811_1 Channel 8'))
drawnow(lambda: makeFig(9, 'MG811_2 Channel 9'))
drawnow(lambda: makeFig(10, 'MQ131 Channel 10'))
drawnow(lambda: makeFig(11, 'LM2_SENSOR Channel 11'))
```

```
return 'Data received successfully'
```

```
if name == 'main': app.run(host='0.0.0.0')
```

Додаток Є. Програма для визначення кореляції:

```
from flask import Flask, request

import gspread

from oauth2client.service_account import ServiceAccountCredentials

import datetime

import pandas as pd

app = Flask(__name__)

# Ключ доступу до таблиці Google Sheets

key = 'your-key-here'

# Зв'язок з API Google Sheets

scope = ['https://spreadsheets.google.com/feeds', 'https://www.googleapis.com/auth/drive']

creds = ServiceAccountCredentials.from_json_keyfile_name('google-creds.json', scope)

client = gspread.authorize(creds)

# Вибір таблиці для запису даних

sheet = client.open_by_url('https://docs.google.com/spreadsheets/d/your-sheet-url-
here/edit#gid=0').sheet1

@app.route('/', methods=['POST'])

def get_data():

    # Отримуємо дані від Arduino

    MPX5010DP_1 = request.form.get('MPX5010DP_1')

    MPX5010DP_2 = request.form.get('MPX5010DP_2')

    MPX5010DP_3 = request.form.get('MPX5010DP_3')

    CRANKSHAFT_SENSOR = request.form.get('CRANKSHAFT_SENSOR')

    ACOUSTIC_SENSOR_1 = request.form.get('ACOUSTIC_SENSOR_1')
```

```
ACOUSTIC_SENSOR_2 = request.form.get('ACOUSTIC_SENSOR_2')

MAX31855_thermocouple = request.form.get('MAX31855_thermocouple')

fuelFlowSensor = request.form.get('fuelFlowSensor')

MQ135 = request.form.get('MQ135')

MG811_1 = request.form.get('MG811_1')

MG811_2 = request.form.get('MG811_2')

MQ131 = request.form.get('MQ131')

LM2_SENSOR = request.form.get('LM2_SENSOR')
```

```
# Формуємо список з отриманими даними
```

```
row = [
    datetime.datetime.now(),
    MPX5010DP_1,
    MPX5010DP_2,
    MPX5010DP_3,
    CRANKSHAFT_SENSOR,
    ACOUSTIC_SENSOR_1,
    ACOUSTIC_SENSOR_2,
    MAX31855_thermocouple,
    fuelFlowSensor,
    MQ135,
    MG811_1,
    MG811_2,
    MQ131,
    LM2_SENSOR
]
```

```
# Додаємо рядок до таблиці
```



```
sheet.append_row(row)

# Отримуємо дані з таблиці
data = sheet.get_all_values()

# Створюємо DataFrame з даними
df = pd.DataFrame(data[1:], columns=data[0])

# Визначаємо кореляцію між стовбцями
correlation_matrix = df.corr()

# Конвертуємо кореляційну матрицю в рядок формату CSV
correlation_csv = correlation_matrix.to_csv()

#Відправляємо кореляційний рядок у відповідь
return correlation_csv

if name == 'main':
app.run(host='0.0.0.0', port=8080)
```