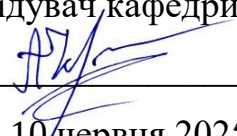


**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ КОРАБЛЕБУДУВАННЯ
імені адмірала Макарова**

Навчально-науковий інститут автоматики та електротехніки
(повне найменування інституту, факультету)

Кафедра комп'ютеризованих систем управління
(повна назва кафедри)

«Допущений до захисту»
Завідувач кафедри


10 червня 2025 р.

Пояснювальна записка
до кваліфікаційної роботи
на здобуття першого (бакалаврського) рівня вищої освіти
(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему: **Система збору даних технічного стану**
енергетичного обладнання автономного судна

Виконала студентка **4** курсу, **4347зст** групи
спеціальності «174 – Автоматизація, комп'ютерно-
інтегровані технології та робототехніка»

Кравченко С.В.

(прізвище та ініціали)

Керівник

Кудін О.О.

(прізвище та ініціали)

Рецензент

Дьяконов О.С.

(прізвище та ініціали)

м. Миколаїв — 2025 року

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри КСУ
—  — Черно О.О.
« » 2025 р.

Кравченко Світлані Василівні

(прізвище, ім'я, по батькові)

керівник роботи Кудін Олег Олексійович, к.т.н.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від "23" квітня 2025 р. № УЧ-343

2. Строк подання студентом роботи

3. Вихідні дані до роботи Система збору даних технічного стану

автономного судна повинна використовувати універсальну систему управління базами даних (СУБД), яку можна інстальювати в операційних системах Microsoft Windows та Linux

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

Аналіз існуючих методів контролю технічного стану енергетичного обладнання автономного судна. Функціональні та нефункціональні вимоги до системи збору даних. Концептуальне, логічне та фізичне проектування бази даних. Вибір апаратної конфігурації сервера бази даних. Охорона праці.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

Аналіз існуючих методів контролю технічного стану енергетичного обладнання.
Функціональні та нефункціональні вимоги до системи збору даних.
Концептуальне, логічне та фізичне проектування бази даних.
Вибір апаратної конфігурації сервера бази даних.

Анотація

В кваліфікаційній роботі проведено аналіз сучасних методів контролю технічного стану енергетичного обладнання автономних суден. Розглянуто можливості впровадження бездротових технологій передачі даних та супутникового зв'язку Starlink, які дозволяють створити систему дистанційного безперервного контролю технічного стану енергетичного обладнання автономного судна та знизити витрати на обслуговування, а також підвищити надійність експлуатації двигунів. Розроблено концептуальну, логічну та фізичну модель бази даних результатів моніторингу параметрів стану дизельних двигунів автономних суден.

Ключові слова: енергетичне обладнання, автономне судно, моніторинг параметрів, бездротові технології, система дистанційного контролю.

Abstract

The qualification work analyzes modern methods for monitoring the technical condition of the power equipment of autonomous vessels. The possibilities of implementing wireless data transmission technologies and Starlink satellite communication are considered, which allow creating a system for remote continuous monitoring of the technical condition of the power equipment of an autonomous vessel and reducing maintenance costs, as well as increasing the reliability of engine operation. A conceptual, logical and physical model of the database of results of monitoring the condition parameters of diesel engines of autonomous vessels has been developed.

Keywords: power equipment, autonomous vessel, parameter monitoring, wireless technologies, remote control system.

ЗМІСТ

ВСТУП	6
РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ МЕТОДІВ КОНТРОЛЮ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ЕНЕРГЕТИЧНОГО ОБЛАДНАННЯ МОРСЬКИХ СУДЕН.....	7
1.1 Віброакустичні методи діагностики технічного стану енергетичного обладнання.	8
1.3 Засоби контролю технічного стану двигунів водного транспорту.	11
1.6 Висновки за розділом 1	22
РОЗДІЛ 2. ПРОЕКТУВАННЯ БАЗИ ДАНИХ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ	23
2.1. Функціональні вимоги до системи моніторингу суднових двигунів. ..	23
2.2. Нефункціональні вимоги до системи моніторингу.	24
2.4 Фізична модель бази даних	29
2.5 Висновки до розділу 2	33
РОЗДІЛ 3. ВИБІР АПАРАТНОЇ КОНФІГУРАЦІЇ СЕРВЕРА.....	34
3.1 Вибір апаратної конфігурації сервера бази даних	34
3.2 Висновки до розділу 3	40
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	42

ВСТУП

Суднові дизельні двигуни є основними складовими енергетичного обладнання автономного судна. Від технічного стану цих двигунів залежить загальна комерційна ефективність використання судна. Експлуатація таких двигунів в екстремальних погодних умовах вимагає постійного контролю та діагностики технічного стану головних та допоміжних дизельних двигунів. Завдяки переходу від механічних систем управління паливом і клапанами до комплексних комп'ютеризованих систем управління двигунами суттєво розширилася можливість моніторингу їх технічного стану. Застосування бездротових технологій при створенні комп'ютеризованих систем управління енергетичним обладнанням суден та супутникового зв'язку дозволяють створити дистанційні системи моніторингу технічного стану енергетичного обладнання суден, які здатні працювати в режимі 24/7.

Метою кваліфікаційної роботи є розробка бази даних для зберігання результатів дистанційного моніторингу технічного стану судового енергетичного обладнання. Розроблено концептуальну, логічну та фізичну моделі бази даних. Вибрано апаратну конфігурацію серверу бази даних.

РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ МЕТОДІВ КОНТРОЛЮ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ЕНЕРГЕТИЧНОГО ОБЛАДНАННЯ МОРСЬКИХ СУДЕН

Інтеграція систем моніторингу технічного стану енергетичного обладнання судна з супутниковими системами передачі даних дозволяє підвищити надійність та безпеку їх експлуатації. Ефективна технічна діагностика передбачає регулярний контроль стану двигунів, ідентифікацію потенційних дефектів та несправностей, а також об'єктивну оцінку ступеня їхнього впливу на роботу та прогнозування залишкового експлуатаційного ресурсу [1, 2].

Важливим компонентом планового технічного обслуговування є безперервний моніторинг і комплексна оцінка фактичного стану обладнання. Це дозволяє оптимізувати обсяги та часові рамки проведення регламентних робіт, базуючись на реальних потребах обладнання.

Використання безперервного моніторингу та оцінювання фактичного стану обладнання дозволяє складати календарні плани проведення регламентних та ремонтних робіт, у яких терміни робіт наближені до оптимальних.

Основними критеріями, яким повинні відповідати сучасні методи діагностики технічного стану енергетичного обладнання, є:

- Достовірність виявлення критичних відхилень параметрів, несправностей та пошкоджень.
- Можливість оперативного визначення основних електричних і механічних дефектів.
- Наявність можливості дистанційного вимірювання параметрів.
- Зменшення трудомісткості технічного обслуговування.

- Наявність результатів аналізу вимірювань в режимі реального часу, що досягається завдяки використанню сучасних інформаційно-вимірювальних систем і комплексів.

1.1 Віброакустичні методи діагностики технічного стану енергетичного обладнання.

Енергетичне обладнання, що використовуються на водному транспорті, є складними науково-технічними комплексами. Вони складаються з великої кількості компонентів, вузлів та механізмів, які постійно перебувають у взаємодії [2]. При експлуатації такого обладнання спостерігається широкий спектр частоти та амплітуди вібрацій, тому будь-які зміни в їхньому технічному стані швидко відображаються у вигляді віброакустичних сигналів, що має важливе значення, особливо у випадку виникнення аварійних ситуацій [3].

Принципи віброакустичної діагностики базуються на використанні спеціальних алгоритмів, які дозволяють оцінювати стан технічних систем без необхідності їх демонтажу. Основними джерелами вібрації, які характерні для енергетичного обладнання водного транспорту, є [3]:

- незбалансовані обертові маси;
- коливання, що генеруються зубчастими передачами та підшипниковими вузлами;
- власні резонансні коливання окремих елементів та агрегатів;
- коливання, зумовлені аеродинамічними процесами та рухом газів у повітряному тракті.

Переважна увага приділяється аналізу низькочастотних (0,1–400 Гц) та середньочастотних (400–2000 Гц) коливань. Натомість високочастотні коливання (понад 2000 Гц) зазвичай ігноруються через їх незначний

енергетичний внесок. Потрібно розрізняти інформацію, яку несуть вимушені та власні коливання [3, 4]:

- вимушені коливання надають дані про якість монтажу, проведення ремонту та загальні зміни у стані системи;
- коливання є індикатором раннього виявлення дефектів.

Вібраційний метод діагностики базується на вимірюванні та подальшому аналізі вібраційних сигналів, звертаючи увагу на іншу форму, амплітуду та спектральний склад

Вібраційні методи діагностики основані на вимірюванні та подальшому аналізі вібраційних сигналів. При цьому звертають увагу на форму, амплітуду та спектральний склад означених сигналів. При порівнянні поточних результатів з попередніми вимірюваннями можна робити обґрунтовані висновки щодо подальшої експлуатації двигуна або необхідності проведення ремонтних робіт [4, 5]. Однак ці методи мають певні обмеження, включаючи труднощі з дистанційним моніторингом та складність проведення вимірювань вібраційних параметрів.

Методи спектрального аналізу передбачають регулярний контроль частотних характеристик двигуна протягом певного періоду. Вивчення отриманого сигналу на певних частотах дає змогу виявляти недоліки на початкових етапах появи дефектів та здійснювати віддалений контроль [6, 7]. Проте ці методи мають мінуси, такі як труднощі з розшифровкою результатів через подвійний облік частот та обмеження кількості гармонік для підвищення точності.

Одним із сучасних напрямків контролю є спектральний аналіз моторного мастила. Цей метод дає змогу виявляти наявність домішок та визначати експлуатаційні характеристики мастила, що безпосередньо вказує на потенційні дефекти у двигуні. Такий метод може суттєво покращити своєчасне виявлення несправностей, підвищити надійність двигуна та значно скоротити час простою [7, 8]. Незважаючи на високу ефективність, спектральний аналіз моторного мастила залишається дорогим через

складність технічної реалізації, що наразі обмежує його широке застосування.

1.2 Амплітудні методи контролю технічного стану двигунів системи енергозабезпечення.

Виявлення несправностей у двигунах здійснюється за допомогою аналізу характерних частот струму або напруги. Для оцінки ступеня та характеру пошкоджень проводиться порівняння амплітудних значень (A_i) на специфічних частотах з опорною амплітудою при нульовій частоті (A_0).

Основні несправності електродвигунів можуть бути виявленні за такими характерними частотами:

- Проблеми з обмотками статора та неполадки ротора – на частоті електричної мережі (50 Гц або 400 Гц).
- Неспіввісність валів електродвигунів та підключених до них механізмів діагностується за частотами, що є кратними частоті обертання двигуна.
- Дефекти підшипникових вузлів – частотами, кратними частоті обертання ротора.
- Пошкодження лопастей – так звані «лопатковими» частотами.

Висновок щодо нормального технічного стану електродвигуна формується на підставі порівнянні амплітудних значень A_i на характерних частотах з амплітудою A_0 . Якщо амплітуди на характерних частотах не перевищують задану граничну різницю з A_0 , то двигун та його асоційовані механізми працюють у справному стані. У разі, якщо ця різниця виявляється вищою за допустимий поріг, робиться висновок про наявність несправності, що відповідає даній частоті. Спектральний аналіз сигналу, що включає порівняння амплітудних характеристик A_i , зазвичай виконується у частотному діапазоні від –100 дБ до 0 дБ. Раптові збільшення амплітуди на

конкретних частотах є головними показниками, які дозволяють достовірно ідентифікувати вид несправності.

1.3 Засоби контролю технічного стану двигунів водного транспорту.

Прилади для контролю та діагностики на морських і річкових суднах зазвичай відповідають стандартам класифікаційних товариств та виробників енергетичного обладнання на момент їхнього запуску в роботу [9]. Морські судна експлуатуються довго, тому їх вимірювальне обладнання разом з відповідними комп'ютерними системами швидко втрачає актуальність. Проте, сучасні інформаційні технології дозволяють значно покращити моніторинг обладнання шляхом оновлення інформаційно-обчислювальних систем судна. Така модернізація отримати удосконалення енергетичної системи без повної заміни всього енергетичного обладнання [10].

Щоб гарантувати технічну безпеку під час плавання, необхідно постійно відстежувати стан головних та допоміжних дизельних двигунів. Однак, на більшості річкових суден це відстеження зазвичай обмежується лише періодичною перевіркою тиску та температури. Зазвичай для діагностики дизельних двигунів застосовують манометр, який вимірює максимальний тиск газів у циліндрах ($P_{\max}$) та тиск наприкінці стиснення (P_c) при вимкненій подачі палива. Однак, окрім цих показників, а також температури води й мастила, існують інші важливі параметри, що дозволяють точніше налаштувати дизельний двигун та ефективніше контролювати його роботу. Наприклад, моніторинг середнього індикаторного тиску (P_i) дає можливість виявляти перевантаження окремих циліндрів та рівномірно розподіляти потужність між ними.

Донедавна більшість систем моніторингу судових дизельних двигунів розроблялися як єдині програмно-апаратні комплекси, що фіксують

параметри та частково розраховують робочий процес у реальному часі [11, 12].

Однак, такі системи мають кілька суттєвих недоліків:

- Системи не повністю або неточно моделюють робочий процес.
- Кількість параметрів, які можна виміряти, обмежена.
- Системи не можуть передбачити зміни в технічному стані двигуна.
- Підключення вимірювальних та обчислювальних частин складне, потребує довгих кабелів, додаткових підсилювачів та перетворювачів, що, у свою чергу, зменшує надійність всієї системи.
- Системи коштують дорого. Це пов'язано не лише з ціною датчиків, а й з вартістю всього допоміжного обладнання, включаючи комп'ютери та програмне забезпечення. До того ж, комп'ютери часто використовуються лише для моніторингу двигуна [12].

На рисунках 1.1–1.2 показано, як виглядають частотні характеристики як для справного двигуна, так і для двигуна з різними видами несправностей. На цих графіках висота сигналу (амплітуда) показана по вертикалі, а частота – по горизонтальній. Також там позначені характерні частоти, які вказують на конкретні проблеми.

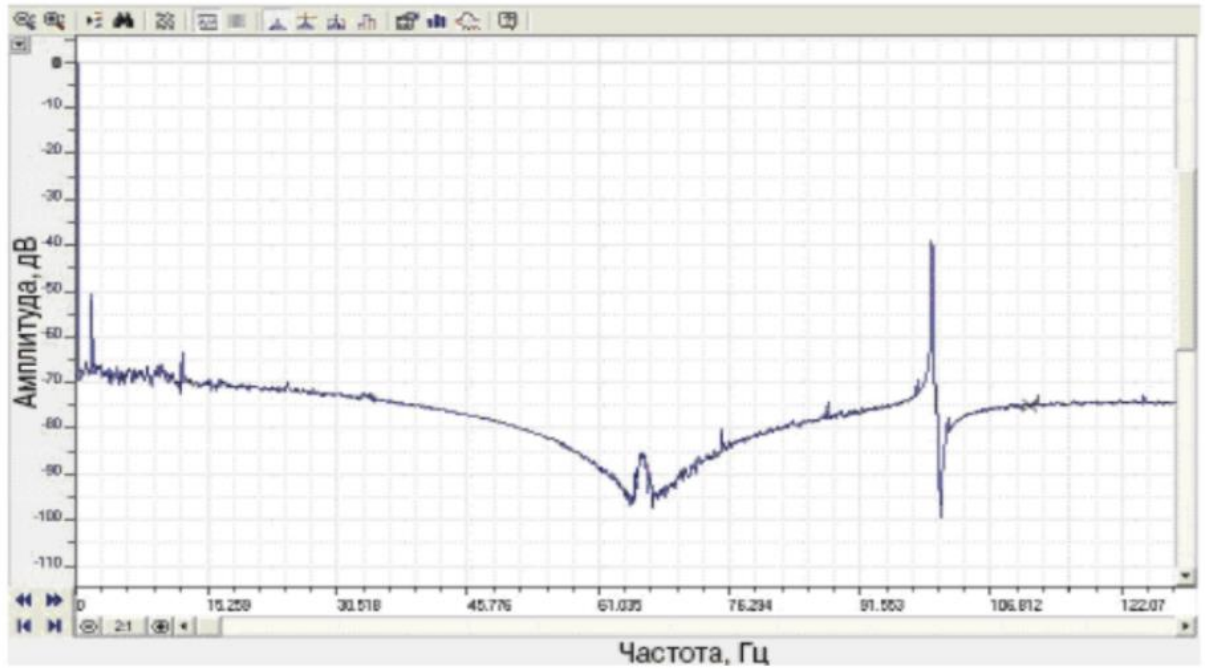


Рисунок 1.1 - Частотна характеристика модулю вектору струму справного електродвигуна (навантаження - насос)

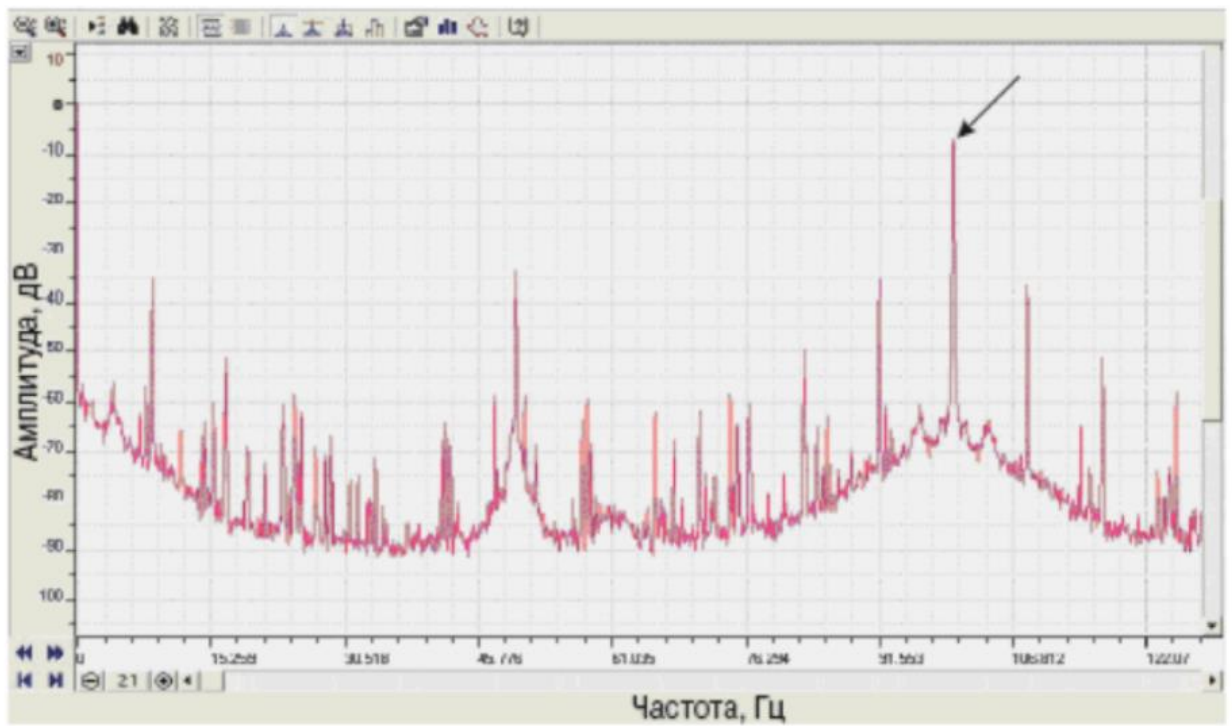


Рисунок 1.2 - Частотна характеристика модулю вектору струму електродвигуна при короткому замкненні обмотки статора

1.4 Системи діагностики середньооборотних та малооборотних двигунів.

На сучасних суднах активно впроваджуються передові системи діагностики для середньооборотних та малооборотних двигунів. Як приклад, швейцарська компанія «Зульцер» пропонує систему **CEDC**. Вона застосовує персональні комп'ютери для аналізу поточних параметрів двигуна та його технічного стану, а також дозволяє відстежувати зміни в часі й визначати оптимальні терміни для обслуговування. Коли параметри досягають граничних значень, система видає попередження про необхідність заміни або ремонту відповідних компонентів. Це допомагає своєчасно проводити роботи та підтримувати стабільну роботу двигуна. Основними елементами системи CEDC є датчики, центральний оброблювальний пристрій та засоби зв'язку для взаємодії оператора з системою [13, 15].

Для моніторингу основних показників енергетичного обладнання застосовуються різні вимірювальні пристрої. Кожен з них має унікальні характеристики, принцип функціонування, рівень точності, діапазон вимірювань та ціну. Ці датчики та сенсори, які безпосередньо розміщені на судовому енергетичному обладнанні, відповідають за збір початкових даних про його фізичний стан та робочі параметри.

Для кожного виду датчика необхідно знати його принцип дії, ключові характеристики (наприклад, діапазон вимірювання, точність, швидкість відгуку), переваги (надійність, доступність) та недоліки (чутливість до умов, складність установки).



Рисунок 1.3. Датчик тиску ORTRAND (модель F333 94-Q-1) [19]

Спеціалізований датчик динамічного тиску безперервної дії «OPTRAND» (рис. 1.3) вирізняється тим, що не потребує спеціального охолодження і може ефективно працювати при температурі до 300°C. Принцип його дії базується на пучку оптичних волокон, які розташовані навпроти металевої діафрагми. Під дією тиску ця діафрагма згинається, а інтенсивність відбитого світла стає прямо пропорційною прикладеному тиску.

Датчик «OPTRAND» ідеально підходить для роботи у складних умовах, таких як процеси згоряння, зони з електромеханічними та радіочастотними перешкодами, агресивними хімічними речовинами, радіоактивним середовищем та вибухами. В таблиці 1.2, як приклад, наведено ключові параметри діапазонів роботи та чутливості моделі F 333 94-Q-1.

Таблиця 1.1. Технічні дані датчика «OPTRAND» (модель F 333 94-Q-1) [19]

№ з/п	Параметр	Значення
1	Власна частота	> 100 кГц
2	Вимірювані середовища	Рідина, газ
3	Діапазон робочих температур при згорянні та безперервній роботі	$-40 \dots 300$ °C
4	Вимірювальний тиск	$0 \dots 20$ МПа
5	Відхилення від лінійності та запізнювання: при згорянні та максимальних значеннях тиску без згоряння та максимальних значеннях тиску робоче значення	± 1 % $\pm 0,5$ % $\pm 0,25$ %
6	Температурний коефіцієнт чутливості	$\pm 0,03$ %/°C



Рисунок 1.4. Датчик тиску Kistler (модель 7613C) [19]

Датчик Kistler (рис. 1.4.) використовують для безперебійного, безперервного, тривалого вимірювання тиску у важких умовах і перетворення цієї величини у цифровий або аналоговий уніфікований сигнал постійного струму на виході. Як приклад у табл. 1.4. подані основні параметри діапазонів роботи та чутливості датчика Kistler моделі 7613C.

Таблиця 1.4. Технічні дані датчика Kistler моделі 7613C [19]

№ з/п	Параметр	Значення
1	Власна частота	≈ 70 кГц
2	Вимірювані середовища	Рідина, газ
3	Чутливість	-20 мВ/МПа
4	Відхилення від лінійності на всіх діапазонах	$\leq \pm 0,5$
5	Діапазон робочих температур: чутлива частина датчика шестигранник роз'єму електронний блок	$-50 \dots 350$ °C $-50 \dots 150$ °C $-50 \dots 90$ °C
6	Вимірювальний тиск	$0 \dots 25$ МПа
7	Використовуваний струм	4 мА
8	Зсув чутливості: $-200 \dots \pm 150$ °C -200 ± 50 °C	$\leq \pm 3$ % ≈ 1 %

Серед інших відомих діагностичних систем слід виділити наступні системи: **DETS** від норвезької фірми «Норконтрол» [15, 16], **PED** від французької компанії «Пилстик» [16], «**Віброметр**» [17, 18], норвезька система **МЕКОМ** [13].

Провідні виробники постійно вдосконалюють комп'ютеризовані системи керування паливом та клапанами у суднових двигунах. Цей процес забезпечує покращення електронного обладнання та розвиток програмного забезпечення, що значно підвищує надійність функціонування означених систем. Крім того, завдяки появі таких технологій, як Starlink, з'явилася можливість дистанційного доступу до систем моніторингу та керування судновими двигунами в реальному часі.

Універсальні промислові контролери з розширеними функціями дозволяють швидко модернізувати систему, замінивши модуль пам'яті або сам контролер. Однак, судна, побудовані на початку 2000-х років, часто оснащені системами моніторингу, які не мають можливості подвоєного резервування модулів управління та використовують застарілі операційні системи, підтримка яких уже припинена. З огляду на це, вдосконалення систем моніторингу суднових дизелів є вкрай актуальним. Це дозволить підвищити їх надійність та розширити функціональні можливості, що має як наукове, так і практичне значення.

Головні цілі удосконалення систем моніторингу:

- Збільшення надійності двигуна за рахунок моніторингу в реальному часі, що забезпечує оптимальний розподіл навантаження на циліндри.
- Посилення контролю над викидами.
- Скорочення витрат палива та мастила.

На рис. 1.5 представлена функціональна схема моніторингу параметрів суднового дизеля MAN-B&W типу ME [2, 3].

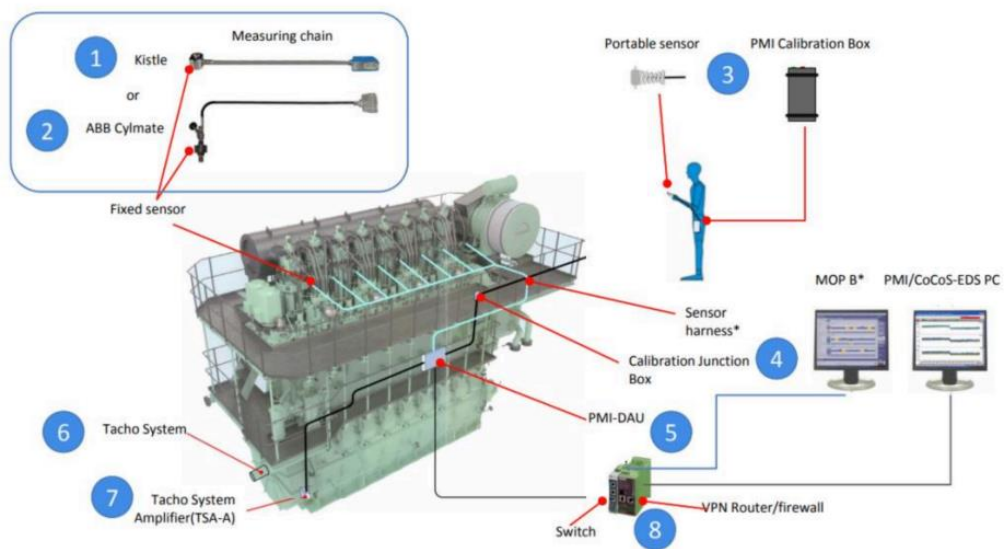


Рисунок 1.5 Функціональна схема моніторингу параметрів суднового дизеля MAN-B&W типу ME [2, 3]

1.5 Запровадження бездротових технологій та їх переваги.

Сучасні методи дистанційного контролю та управління активно сприяють широкому впровадженню бездротових технологій передачі даних. Ці технології мають низку суттєвих переваг перед традиційними дротовими системами. Однією з найважливіших переваг є відсутність потреби в

кабельних з'єднаннях, що значно спрощує створення інфраструктури та монтаж, а також знижує витрати як на обладнання, так і на його встановлення.

Бездротові системи мають можливість масштабування, модернізації та адаптації до змінення умов експлуатації, вони забезпечують гнучкість у налаштуванні без потреби у складних інфраструктурних перетвореннях.

Важливість бездротових технологій для обміну даними в системах моніторингу та управління енергетичними об'єктами широко визнана та підтверджена дослідженнями [3,5,6]. З 2010 року особливий імпульс розвитку отримали промислові контролери з інтегрованими Web-серверами, що відкриває нові можливості для створення гнучких систем дистанційного управління та моніторингу технологічних процесів.

Наприклад, концепція трирівневої ієрархічної системи обміну інформацією та моніторингу параметрів від компанії Phoenix Contact (Рис. 1.6) ілюструє можливості сучасних рішень. Ця ієрархічна система дозволяє не тільки інтегрувати бездротові технології, такі як Wi-Fi та Bluetooth, але й забезпечувати дворівневе резервування. Це значно підвищує надійність системи моніторингу та управління в цілому.

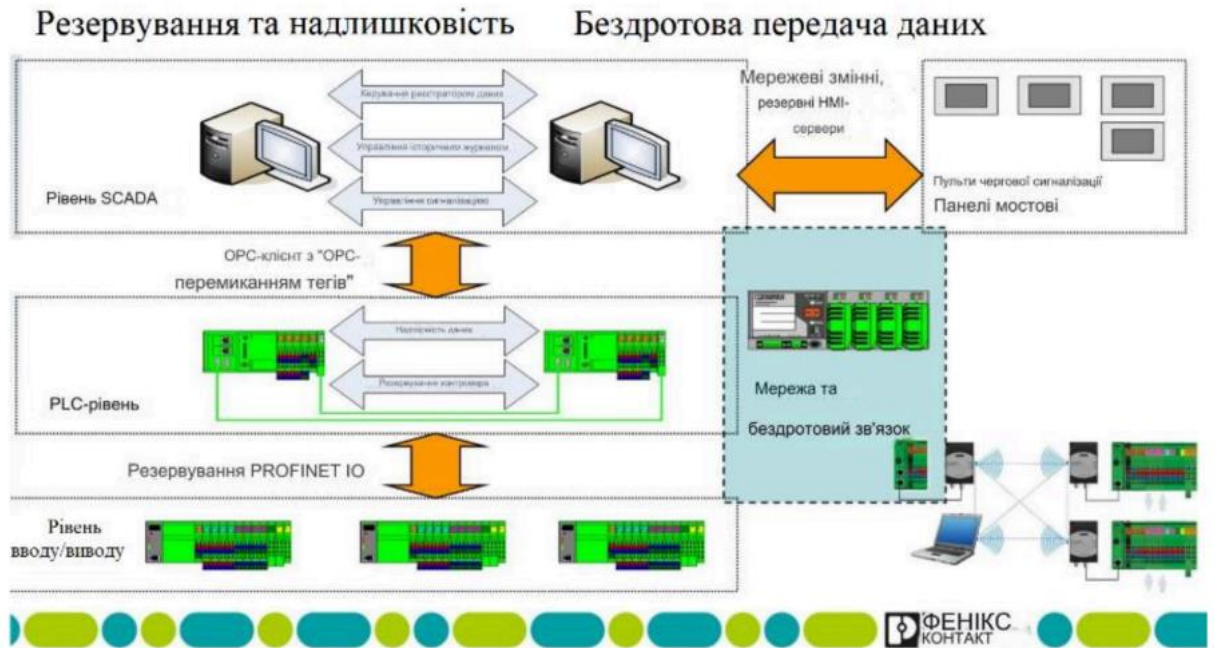


Рисунок 1.6. Концепція суднової ієрархічної системи управління.

Інформаційна модель бездротової системи передачі даних для аварійного дизель-генератора наведена на рис. 1.7. Ця модель деталізує архітектуру та взаємодію компонентів, демонструючи практичну реалізацію бездротового моніторингу критично важливого обладнання.

Опис елементів структурної схеми (рис. 1.7):

- М – Монітори.
- PC – Персональний комп'ютер.
- SWITCH – Мережевий комутатор.
- PLC – Програмований логічний контролер.
- WiFi – Бездротовий зв'язок.
- GSM/GPRS – Глобальна система мобільного зв'язку/загальна пакетна радіослужба.
- HMI – Людино-машинний інтерфейс.
- WebCam – Вебкамера.
- StarLink – Супутниковий інтернет.
- Load Control Panel – Панель керування навантаженням.

- Remote Control – Дистанційне керування.
- External Control Panel – Зовнішня панель керування.

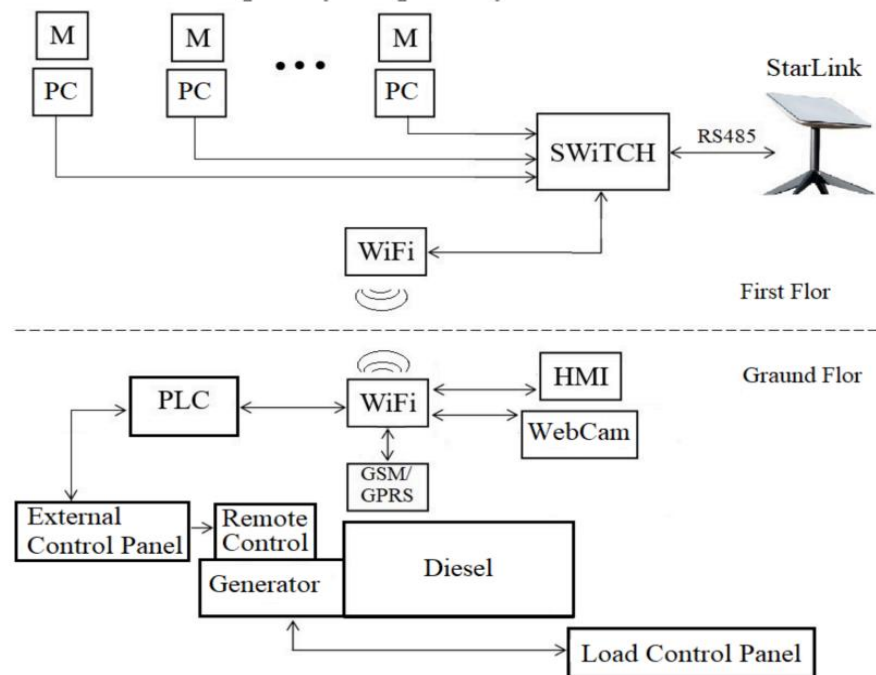


Рисунок 1.7. Інформаційна модель бездротової системи контролю параметрів аварійного дизель-генератора. [5]

На рис. 1.8 показана вдосконалена система дистанційного контролю параметрів суднового дизеля.

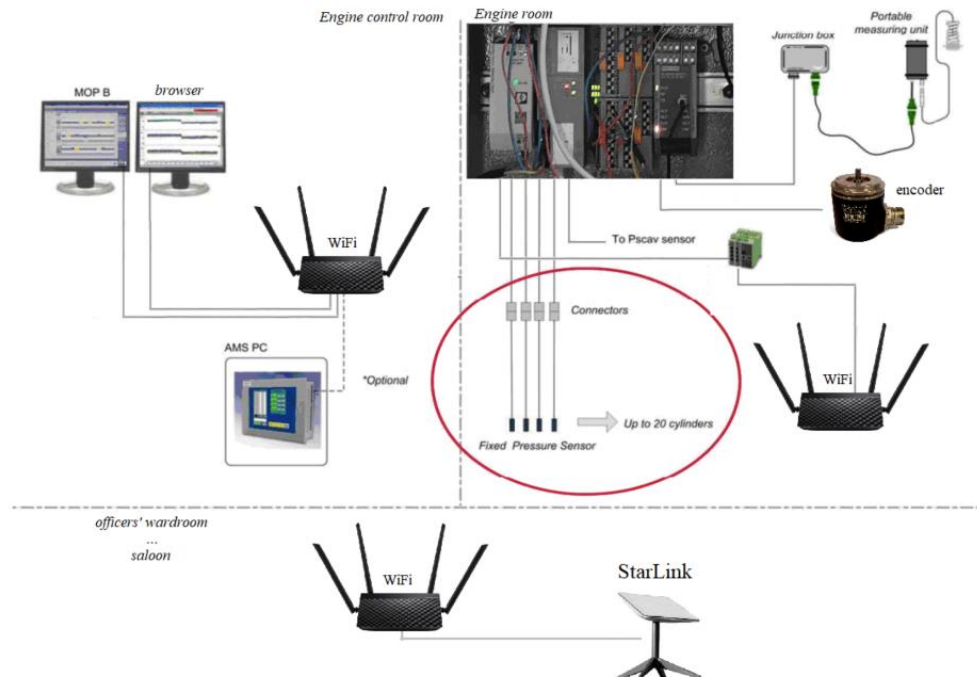


Рисунок 1.8. Вдосконалена система дистанційного моніторингу

1.6 Висновки за розділом 1

Аналіз різноманітних систем моніторингу дозволяє виділити ключовий перелік діагностичних параметрів двигунів, що є необхідними для впровадження алгоритмів автоматичної безрозбірної технічної діагностики. Результати цього аналізу чітко вказують, що сучасні електронні системи управління здатні забезпечувати безперервний моніторинг технічних показників, а також ефективний збір та обробку даних, які надходять від датчиків.

Вдосконалення системи контролю суднових дизельних двигунів стало реальністю завдяки інтегрованому сучасним цифровим системам керування, бездротовим технологіям та універсальним промисловим контролерам. Цей комплексний підхід значно підвищив надійність, ефективність та гнучкість управління силовими установками.

РОЗДІЛ 2. ПРОЕКТУВАННЯ БАЗИ ДАНИХ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ

У сучасному морському транспорті безперервний моніторинг технічного стану суднових двигунів відіграє надзвичайно важливу роль. Від надійності їх функціонування залежить не тільки ефективність експлуатації судна, а й, що критично важливо, безпека судноплавства. Постійний збір та аналіз даних про роботу двигунів дозволяють завчасно виявляти потенційні відхилення, оперативно реагувати на них та запобігати виникненню аварійних ситуацій.

Для забезпечення централізованого збору та подальшого аналізу такої інформації, особливо коли йдеться про флотилії з кількох суден, доцільним є створення бази даних. Така база повинна бути здатною ефективно обробляти великі обсяги даних у реальному часі.

2.1. Функціональні вимоги до системи моніторингу суднових двигунів.

Для ефективного функціонування, система моніторингу суднових дизельних двигунів має виконувати наступні вимоги:

- Збирати та зберігати дані: Автоматично акумулювати інформацію з усіх датчиків двигунів, записуючи її до бази даних за інтервалами або за подією.
- Агрегувати дані для багатьох двигунів: Обліковувати дані окремо для кожної силової установки, використовуючи унікальні ідентифікатори, враховуючи, що база даних обробляє інформацію від двигунів кількох суден.

- Гнучко фільтрувати та сортувати дані: Забезпечувати можливість фільтрації за датою, типом параметра (наприклад, температура, тиск) та іншими критеріями для зручної роботи з інформацією.
- Надавати аналітичні та статистичні можливості: Генерувати агреговані дані для аналізу стану двигунів, включаючи розрахунок середніх показників (температури, тиску, обертів) за період, а також базові статистичні звіти.
- Інтегруватися з іншими системами: Взаємодіяти з іншими програмними рішеннями для моніторингу та управління судном через API, дозволяючи обмін необхідними даними.

2.2. Нефункціональні вимоги до системи моніторингу.

Система моніторингу повинна задовольняти не лише функціональні, але й нефункціональні вимоги, які підвищують її якість. До нефункціональних вимог можна віднести:

- Швидкодія: система має бути достатньо потужною, щоб обробляти великі обсяги даних від численних датчиків у реальному часі, забезпечуючи миттєвий доступ до інформації та уникнення затримок.
- Масштабування: база даних повинна бути спроможною до розширення, що дозволить легко інтегрувати нові судна та двигуни без шкоди для продуктивності.
- Цілісність даних: система зобов'язана забезпечувати надійне зберігання інформації, використовуючи резервне копіювання для захисту від втрат у разі збоїв.
- Доступність: база даних має бути доступною в режимі 24/7, що гарантує постійний моніторинг стану двигунів та можливість віддаленого доступу до даних у будь-який час, з будь-якої точки світу.

- Безпека даних: досягається завдяки шифруванню даних та надійній аутентифікації користувачів, що обмежує несанкціонований доступ.

2.3 Концептуальна та логічна моделі бази даних

Під час концептуального проєктування бази даних, першим кроком є створення концептуальної схеми БД. В її основі лежить концептуальна модель даних.

Для розробки цієї концептуальної моделі необхідно визначити всі сутності, які будуть включені до бази даних, призначеної для моніторингу технічних параметрів енергетичної системи автономного судна.

При створенні концептуальної моделі бази даних для моніторингу технічних параметрів енергетичної системи автономного судна використано наступні сутності: "Судно", "Двигун", "Зчитування", "Тип події", "Подія".

Структура UML-діаграми для бази даних моніторингу стану енергетичного обладнання судна представлена на рисунку 2.1.

Використання UML-діаграми призначене для вирішення наступних завдань: Візуалізація структури даних, уникнення дублювання даних, логічна організація даних, можливість подальшої масштабованості, основа для реалізації запитів.

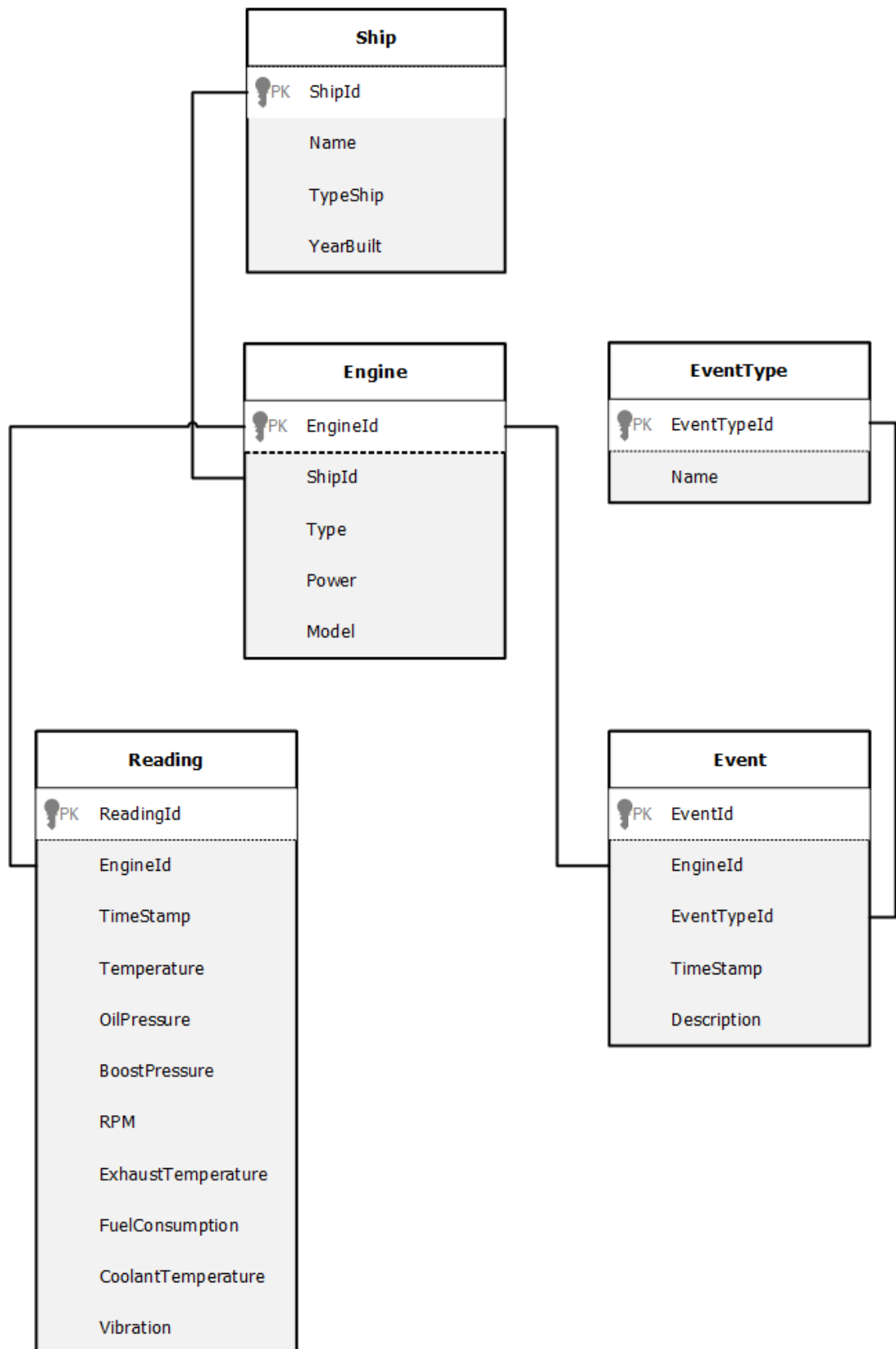


Рисунок 2.1 – Структура UML-діаграми для бази даних моніторингу стану енергетичного обладнання судна

Таблиця «Ship (Судно)». Таблиця «Ship» зберігає інформацію про автономне судно.

Ідентифікатор поля даних	Тип даних	Призначення поля даних
ShipId	INTEGER	Первинний ключ. Поле містить унікальний ідентифікаційний номер судна.
Name	VARCHAR	Найменування судна
TypeShip	VARCHAR	Тип судна
YearBuilt	INTEGER	Рік побудови судна

Таблиця «Ship» має зв'язок типу «Один-до-багатьох» із таблицею «Engine».

Таблиця «Engine (Двигун)». Таблиця «Engine» зберігає інформацію про двигуни, встановлені на судах.

Ідентифікатор поля даних	Тип даних	Призначення поля даних
EngineId	INTEGER	Первинний ключ. Поле містить унікальний ідентифікаційний номер двигуна.
ShipId	INTEGER	Зовнішній ключ. Ідентифікатор судна.
Type	VARCHAR	Тип двигуна (дизельний, газотурбінний, електричний)
Power	FLOAT	Потужність двигуна (кВт)
Model	VARCHAR	Модель двигуна

Таблиця «Engine» має зв'язки з наступними таблицями бази даних:

- «Багато-до-одного» із таблицею «Ship», одне судно може мати кілька двигунів;
- Один-до-багатьох із таблицею «Reading».
- Один-до-багатьох із таблицею «Event».

Таблиця «Reading (Зчитування)». Таблиця «Reading» зберігає показники, отримані від датчиків на двигунах у різні моменти часу.

Ідентифікатор поля даних	Тип даних	Призначення поля даних
ReadingID	INTEGER	Ідентифікатор зчитування, первинний ключ
EngineID	INTEGER	Ідентифікатор двигуна, зовнішній ключ
TimeStamp	TIMESTAMP	Час зчитування, дата і час, коли було отримано дані
Temperature	FLOAT	Значення температури двигуна
CylinderPressure	FLOAT	Значення тиску у циліндрах
OilPressure	FLOAT	Тиск масла
BoostPressure	FLOAT	Тиск наддуву
RPM	INTEGER	Оберти двигуна
ExhaustTemperature	FLOAT	Температура вихлопних газів
FuelConsumption	FLOAT	Витрата палива
Coolant_Temperature	FLOAT	Температура охолоджувальної рідини
Vibration	FLOAT	Вібрація двигуна

Таблиця «Reading» має зв'язок типу «Багато-до-одного» із таблицею Engine.

Таблиця «EventType (Тип події)». Таблиця «EventType» містить типи подій, які можуть відбуватися з двигуном (наприклад, аварія, планове обслуговування).

Ідентифікатор поля даних	Тип даних	Призначення поля даних
EventTypeID	INTEGER	Первинний ключ. Поле містить унікальний ідентифікаційний Події.
Name	VARCHAR	Найменування судна

Зв'язки: Один-до-багатьох із таблицею Event.

Таблиця Event (Подія)

Ця таблиця зберігає інформацію про події, що відбулися з двигуном.

Ідентифікатор поля даних	Тип даних	Призначення поля даних
EventID	INTEGER	Первинний ключ
EngineID	INTEGER	Зовнішній ключ
EventTypeID	INTEGER	Зовнішній ключ
TimeStamp	TIMESTAMP	Час події
Description	TEXT	Опис події

2.4 Фізична модель бази даних

Для реалізації фізичної моделі бази даних у цьому проєкті обрано систему керування базами даних (СКБД) MySQL. Її вибір обумовлений здатністю забезпечувати високу надійність, масштабованість та продуктивність при роботі з великими обсягами даних, що надходять у

реальному часі. Нижче детально описано ключові аспекти фізичної моделі, що включають вибір типів даних, індексацію, оптимізацію продуктивності, масштабованість, механізми резервного копіювання та безпеку даних.

Вибір типів даних для ефективності

Для оптимального використання пам'яті та підвищення швидкості доступу до інформації в MySQL, для кожного поля були ретельно обрані відповідні типи даних:

- Цілі числа (INTEGER, BIGINT): Ці типи використовуються для ідентифікаторів, таких як ShipID (ідентифікатор судна) та EngineID (ідентифікатор двигуна), які слугують унікальними ключами в таблицях. BIGINT доцільно застосовувати для обробки значних обсягів даних, забезпечуючи необхідну масштабованість.
- Текстові поля (VARCHAR, TEXT): Призначені для зберігання текстових значень змінної довжини, наприклад, назв та типів. VARCHAR(n) використовується для контрольованих текстових полів із заданою максимальною довжиною, тоді як TEXT ідеально підходить для полів з довгими описами, як, наприклад, поле Description у таблиці Event.
- Числові поля (FLOAT, NUMERIC): Застосовуються для зберігання числових показників двигуна з плаваючою комою, наприклад, Power (потужність) або Temperature (температура). FLOAT забезпечує швидший доступ, тоді як NUMERIC гарантує точніші обчислення, що є важливим для аналізу даних.
- Часові позначки (TIMESTAMP WITH TIME ZONE): Цей тип даних використовується для зберігання інформації про час подій та зчитувань. Він дозволяє враховувати різні часові зони та точно відстежувати дані в реальному часі, що є критично важливим для хронологічного аналізу.

Індексація для прискорення запитів

Індекси є ключовим елементом для оптимізації швидкості виконання запитів у MySQL:

- Первинні та зовнішні ключі: MySQL автоматично індексує первинні ключі, такі як ShipID, EngineID, ReadingID, забезпечуючи надзвичайно швидкий доступ до відповідних даних. Зовнішні ключі (наприклад, ShipID у таблиці Engine та EngineID у таблиці Reading) також індексуються для прискорення JOIN-запитів, які об'єднують дані з різних таблиць.
- Часові індекси: Індекси на полі Timestamp у таблиці Reading дозволяють оперативно вибирати останні записи та отримувати актуальну інформацію про стан двигуна.
- Складені індекси (Composite Indexes): Для оптимізації складних запитів, які часто виконуються за кількома полями одночасно (наприклад, EngineID і Timestamp), створюються складені індекси. Це значно прискорює пошук за комбінованими критеріями.
- Часткові індекси (Partial Indexes): Ці індекси застосовуються для фільтрації записів за певними умовами. Вони допомагають прискорити вибірку даних за заданими критеріями, наприклад, для отримання інформації лише про активні двигуни.

Оптимізація продуктивності для високих навантажень

Для забезпечення високої продуктивності в умовах безперервного потоку даних застосовуються такі методи оптимізації:

- Розбиття таблиць (Partitioning): У MySQL таблиці можуть бути розбиті на менші, керовані частини за діапазонами або списками. Наприклад, таблиця Reading, яка зберігає дані з високою частотою зчитувань, може бути розбита за Timestamp (часом), зберігаючи дані за місяцями чи роками. Це зменшує обсяг даних в одній таблиці, значно підвищуючи швидкість обробки запитів.

- Foreign Data Wrappers (FDW): MySQL підтримує підключення до зовнішніх джерел даних за допомогою FDW. Це дозволяє інтегрувати дані з інших систем моніторингу або аналітичних джерел у реальному часі, розширюючи можливості системи.
- Матеріалізовані уявлення (Materialized Views): Для зберігання результатів складних запитів, які потребують агрегованих даних (наприклад, середні значення за період), використовуються матеріалізовані уявлення. Це дозволяє зберегти попередньо обчислені результати у фізичному вигляді та оновлювати їх за розкладом, що значно зменшує навантаження на базу даних під час запитів на отримання цих агрегованих даних.

Масштабованість та надійне резервне копіювання

Для забезпечення високої доступності та стійкості системи:

- Реплікація: MySQL дозволяє налаштувати реплікацію для забезпечення високої доступності та розподілу навантаження. Основний сервер відповідає за операції запису, тоді як додаткові сервери обслуговують запити на читання. Це не тільки підвищує продуктивність, але й є критично важливим для забезпечення відмовостійкості системи.
- Резервне копіювання: Регулярне резервне копіювання реалізується за допомогою інструментів `pg_dump` для збереження структури та даних бази, а також `pg_basebackup` для повного резервного копіювання на рівні файлової системи.
- Point-in-Time Recovery (PITR): Для забезпечення можливості відновлення бази даних до будь-якого конкретного моменту часу використовується архівування журналів транзакцій (WAL). Це дозволяє відновити інформацію до точного часу у випадку збою, мінімізуючи втрату даних.
- Аутентифікація та авторизація: MySQL підтримує різноманітні методи аутентифікації, включаючи паролі, Kerberos та SSL-сертифікати.

Використання SSL-з'єднання забезпечує захист підключення до бази даних від несанкціонованого доступу, шифруючи передані дані.

Фізична модель, реалізована в MySQL, забезпечує ефективне зберігання та обробку даних для моніторингу технічного стану суднових двигунів, максимально використовуючи можливості цієї СКБД. Застосування реплікації, розбиття таблиць, індексації та матеріалізованих уявлень дозволяє досягти високої продуктивності та забезпечує гнучкість у розширенні функціоналу. Це робить систему надійною та повністю придатною для тривалої експлуатації в умовах морського транспорту, де потрібні безперервний моніторинг та високий рівень доступності даних.

2.5 Висновки до розділу 2

В Розділі 2 кваліфікаційної роботи розроблено концептуальну, логічну та фізичну моделі реляційної бази даних для зберігання результатів поточного моніторингу параметрів енергетичного обладнання автономного судна. Розроблені моделі можна в подальшому використовувати при створенні бази даних для системи дистанційного моніторингу енергетичного обладнання автономного судна.

РОЗДІЛ 3. ВИБІР АПАРАТНОЇ КОНФІГУРАЦІЇ СЕРВЕРА

3.1 Вибір апаратної конфігурації сервера бази даних

Для вибору апаратної конфігурації сервера бази даних, який призначений для збереження інформації про поточний стан дизельних двигунів енергетичного обладнання автономних суден, потрібно визначитися з критеріями оцінювання параметрів серверів, які можна придбати в Україні. Задачу вибору апаратної конфігурації серверу будемо вирішувати способом вибору найкращого сервера відповідно до максимального значення сумарного критерію.

Одним з визначальних критеріїв вибору апаратної конфігурації серверів баз даних повинна бути ціна. Також важливе значення мають такі критерії, як:

- об'єм оперативної пам'яті;
- тип оперативної пам'яті та її можливість апаратної корекції помилок;
- максимальна кількість слотів для встановлення модулів оперативної пам'яті та, відповідно максимального об'єму оперативної пам'яті;
- кількість встановлених процесорів;
- робоча частота процесора;
- кількість процесорних ядер та кількість обчислювальних потоків;
- можливість надійного зберігання інформації і швидкого оновлення, а саме, наявність апаратної підтримки RAID-масивів;
- максимальна кількість жорстких дисків.

На даний час в Україні є можливість придбання серверів фірми **Lenovo** безпосередньо від виробника. Отже, далі буде розглянуто три сервери цієї фірми, які є альтернативами.

1. **Альтернатива А1.** Універсальний стоїчний сервер **Lenovo ThinkSystem SR650 V2 (7Z73A080EA)** – це сервер (рис. 3.1), розроблений з урахуванням вимог до швидкості та можливостей розширення. Він

призначений для організації сховища та виконання операцій із введення-виведення, а також є надійним рішенням для критично важливих завдань. Ціна сервера – 148025 грн.



Рисунок 3.1 – Універсальний стоїчний сервер **Lenovo ThinkSystem SR650 V2** (7Z73A080EA)

2. **Альтернатива А2.** Універсальний стоїчний сервер **Lenovo ThinkSystem SR630 V2**. Сервер призначений для використання в дата-центрах та має можливість розширення апаратної конфігурації. Ціна сервера – 213929 грн.



Рисунок 3.2 – Універсальний стоїчний сервер **Lenovo ThinkSystem SR630 V2** (7Z71A05EEA)

3. **Альтернатива А3.** Універсальний стоїчний сервер **Lenovo ThinkSystem SR650 V2** – це сервер (рис. 3.3), розроблений з урахуванням

вимог до швидкості обробки даних та можливостей розширення. Ціна сервера – 221372 грн.

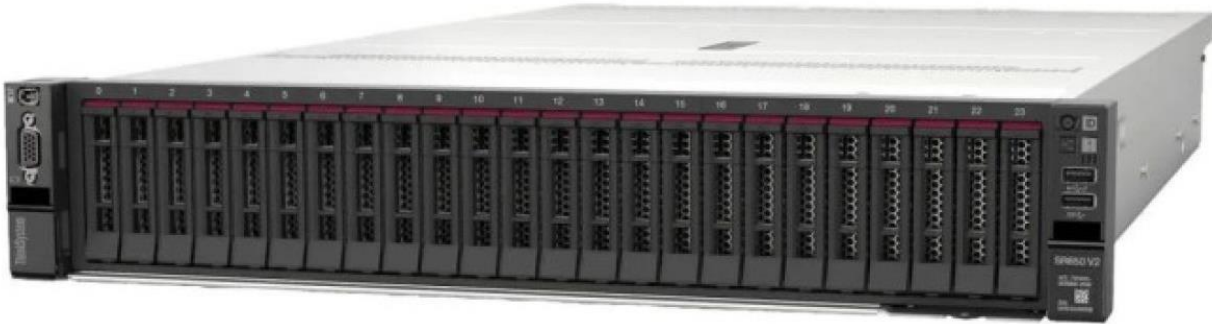


Рисунок 3.3 – Універсальний стоїчний сервер **Lenovo ThinkSystem SR650 V2** (7Z73A06CEA)

Основні характеристики серверів наведено в табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Основні характеристики (критерії) серверів

№	Найменування критерія (позначка)	Lenovo ThinkSystem SR650 V2 (7Z73A080EA)	Lenovo ThinkSystem SR630 V2 (7Z71A05EEA)	Lenovo ThinkSystem SR650 V2 (7Z73A06CEA)
1	Тип сервера (k1)	Стійкові (Rack)	Стійкові (Rack)	Стійкові (Rack)
2	Висота (k2)	2U	1U	2U
3	Процесор (k3)	Intel Xeon Silver 4310	Intel Xeon Gold 6326,	Intel Xeon Gold 6326,
4	Кількість процесорів (k4)	1	1	1
5	Тип пам'яті (k5)	DDR4-3200 ECC RDIMM	DDR4-3200 ECC RDIMM	DDR4-3200 ECC RDIMM
6	Обсяг ОЗП (k6)	32 Гб	32 Гб	32 Гб

Продовження табл. 3.1

№	Найменування параметра (критерія)	Lenovo ThinkSystem SR650 V2 (7Z73A080EA)	Lenovo ThinkSystem SR630 V2 (7Z71A05EEA)	Lenovo ThinkSystem SR650 V2 (7Z73A06CEA)
7	Кількість слотів пам'яті (k7)	32	32	32
8	Максимальна кількість дисків (k8)	16	8	16
9	Блок живлення (k9)	750 Вт	750 Вт	750 Вт
10	Кількість ядер процесора/кількість потоків (k10)	12 / 24	16 / 32	16 / 32
11	Частота процесора, GHz: (k11)	2.1-3.3 ГГц	2.9-3.5 ГГц	2.9-3.5 ГГц
12	Рівні RAID: (k12)	0,1,5,6,10,50,60	0,1,5,6,10,50,60	0,1,5,6,10,50,60
13	Ціна (k13)	148025 грн	213929 грн	221372 грн

Для спрощення процедури порівняння серверів, представлених в табл. 3.1, та отримання сумарних числових оцінок потрібно деяким критеріям присвоїти числові коефіцієнти. Числові значення коефіцієнтів для критеріїв наведені в табл. 3.2 – 3.7.

Таблиця 3.2 – Коефіцієнти для процесора (k3)

Процесор	Числовий коефіцієнт
Intel Xeon Silver 4310, 2.1-3.3 ГГц	1
Intel Xeon Gold 6326, 2.9-3.5 ГГц	2

Таблиця 3.3 – Коефіцієнти для модулів оперативної пам'яті (k5)

Тип модуля оперативної пам'яті	Числовий коефіцієнт
DDR4-2666 ECC RDIMM	1
DDR4-3200 ECC RDIMM	2
DDR4-3600 ECC RDIMM	3

Таблиця 3.4 – Коефіцієнти для максимальної кількості дисків (k8)

Кількість дисків	Числовий коефіцієнт
Диски HDD та SSD – 8 шт.	1
Диски HDD та SSD – 16 шт.	2
Диски HDD та SSD – 24 шт.	3

Таблиця 3.5 – Коефіцієнти для кількості ядер/потоків процесора (k10)

Кількість ядер/потоків процесора	Числовий коефіцієнт
12 / 24	1
16 / 32	2

Таблиця 3.6 – Коефіцієнти для частоти процесора (k11)

Частота процесора, GHz:	Числовий коефіцієнт
2,1-3,3 ГГц	1
2,9-3,5 ГГц	2

Таблиця 3.7 – Коефіцієнти для ціни (k_{13})

Ціна	Числовий коефіцієнт
148025 грн	5
213929 грн	2
221372 грн	1

Сумарний коефіцієнт критеріїв обчислено за рівнянням:

$$K_{\Sigma} = \sum_{i=1}^{13} k_i, \quad (3.1)$$

де K_{Σ} – сумарний коефіцієнт критеріїв; $i = 1, 2, \dots, 13$.

Таблиця 3.8 – Коефіцієнти оцінювання альтернатив для вибору апаратної конфігурації сервера

Критерій (позначка)	Lenovo ThinkSystem SR650 V2 (7Z73A080EA)	Lenovo ThinkSystem SR630 V2 (7Z71A05EEA)	Lenovo ThinkSystem SR650 V2 (7Z73A06CEA)
Тип сервера (k_1)	1	1	1
Висота (k_2)	2	1	2
Процесор (k_3)	1	2	2
Кількість процесорів (k_4)	1	1	1
Тип модуля пам'яті (k_5)	2	2	2
Обсяг ОП, Гб (k_6)	32	32	32
Кількість слотів пам'яті (k_7)	32	32	32

Продовження табл. 3.8

Критерій (позначка)	Lenovo ThinkSystem SR650 V2 (7Z73A080EA)	Lenovo ThinkSystem SR630 V2 (7Z71A05EEA)	Lenovo ThinkSystem SR650 V2 (7Z73A06CEA)
Максимальна кількість дисків (k_8)	16	8	16
Блок живлення (k_9)	1	1	1
Кількість ядер процесора/кількість потоків (k_{10})	1	2	2
Частота процесора, GHz: (k_{11})	1	2	2
Рівні RAID: 0, 1, 5, 6, 10, 50, 60 (k_{12})	1	1	1
Ціна (k_{13})	5	2	1
Загалом балів (K_{Σ}):	96	87	95

Отже, відповідно до результатів обчислення сумарного критерію (табл. 3.8) альтернатива A1 має значення сумарного критерію – 96 балів, альтернатива A2 – 87 балів, альтернатива A3 – 95 балів. Відповідно до отриманих результатів вибираємо альтернативу A1, а саме, сервер **Lenovo ThinkSystem SR650 V2 (7Z73A080EA)**.

3.2 Висновки до розділу 3

В розділі 3 було розглянуто апаратні конфігурації трьох серверів фірми Lenovo з метою вибору найкращої апаратної конфігурації серверу бази даних

(табл. 3.8). Прийняття рішення до вибору здійснювалось відповідно до максимального значення сумарного критерію.

За результатами розрахунків (табл. 3.8) вибрано сервер **Lenovo ThinkSystem SR650 V2 (7Z73A080EA)**.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. DMSS HD - Apps on Google Play [Internet]. (n.d.). Retrieved from https://play.google.com/store/apps/details?id=com.mm.android.DMSSHD&hl=en_US
2. KONSTANTINA BERDEMPE Electronic Marine Diesel Engine operating data management An approach to components' failures forecasting, 2020.
<https://dspace.lib.ntua.gr/xmlui/bitstream/handle/123456789/51558/%CE%94%CE%99%CE%A0%CE%9B%CE%A9%CE%9C%CE%91%CE%A4%CE%99%CE%9A%CE%97%20%CE%9C%CE%9F%CE%95%CE%A1%CE%94%CE%95%CE%9C%CE%A0%CE%95.pdf?sequence=1>
3. Lisowski, J. (2005). Game control methods in navigator decision support system. The Archives of Transport, 17(3–4), 133–147.
4. MAN B&W PMI Introduction. MAN ME-C ENGINE OPERATION COURSE. (2015). Копенгаген: MAN Diesel & Turbo.
5. Programming software - PLCNEXT ENGINEER [Internet]. (n.d.). Retrieved from <https://www.phoenixcontact.com/ukua/produkcija/programming-software-plcnext-engineer-1046008>
6. Reform in the inland water transport: China's experience [Internet]. (n.d.). Retrieved from <https://www.unescap.org/our-work/transport>
7. Sait IMO (International Maritime Organization). (n.d.).
8. Sustainable development of inland waterway transport in China (2009).
<https://documents1.worldbank.org/curated/en/860411468024540285/pdf/549620WP0P109910printing1En109jul09.pdf>
9. Бойко, В. М., & Соколов, В. Г. (2012). Діагностика судових енергетичних установок. Одеса: Фенікс.

10. Голюков, В. А., Нікольський, В. В., Левінський, М. В., Нікольський, М. В., & Слободянюк, М. В. (2022). Модернізація системи віддаленого управління та контролю аварійного дизель-генератора навчального машино-котельного відділення. Суднові енергетичні установки: науково-технічний збірник, (44), 64–70.
11. Грищенко, А. Н., & Іванов, О. В. (2016). Системи технічної діагностики та прогнозування стану суднових технічних засобів. Херсон: ХДМА.
12. Єрмошкін, М. Г., Заблоцький, Ю. В., & Сагін, С. В. (2019). Робочий цикл корабельних дизелів та його індикаторні та ефективні показники: навчальний посібник. Одеса: НУ «ОМА».
13. Миусов, М. В., Ланчуковський, В. І., & Оженко, Є. М. (2013). Электронные системы управления главными судовыми двигателями: учебное пособие. Одесса: ОНМА.
14. Нікольський, В. В. (кер. роботи). (2018). Система моніторингу завантаження контейнеровоза: звіт з НДР (ДР № 0117 У 000317). Київ: УКРНТЕІ.
15. Павлов, Г. В., Покровський, М. В., & Вінниченко, І. В. (2018). Методичні вказівки до виконання курсового проекту “Проектування систем управління на базі мікроконтролерів серії AVR” з дисципліни “Мікроконтролери в системах управління”. Миколаїв: НУК.
16. Солодяник, В. Ф., & Леонов, В. М. (2018). Інформаційні системи та технології в суднових енергетичних установках. Одеса: ОНМУ.
17. Судові енергетичні установки: Науково – технічний збірник. (n.d.). (Вип. 37).
18. Суворов, П. С. (2000). Управління режимами роботи головних суднових дизелів. Одеса: ЛАТСТАР.
19. Тимощевський, Б. Г., Митрофанов, О. С., & Проскурін, А. Ю. (2024). Основи технічної експлуатації суднових двигунів внутрішнього згоряння: навч. посібник. Миколаїв: Вид. Торубара В.В.