

Міністерство освіти і науки України
Національний університет «Одеська морська академія»
Навчально-науковий інститут інженерії

Кафедра суднових енергетичних установок

ДИПЛОМНА РОБОТА МАГІСТРА
на тему:

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДІАГНОСТУВАННЯ ТА КОНТРОЛЮ РОБОЧОГО ПРОЦЕСУ СУДНОВИХ ДИЗЕЛІВ

Курсанта 2-го року навчання навчально-наукового інституту інженерії
Маневського Віктора Вікторовича

Керівник: д-р техн. наук, професор Міусов М.В.

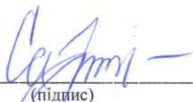


Нормоконтроль

Профес. К.т.н. доц. Фаресенко Д.Т.

Роботу заслухано на засіданні кафедри суднових енергетичних установок.
Рекомендовано до захисту в ЕК, протокол № 9 від 17.12 2025 р.

Завідувач кафедри СЕУ,
д-р техн. наук, професор



Сергій САГІН

(підпис)

Рецензент (зовнішній)



(ПІБ, підпис, дата)

А. Феданко 19.12.25

Рецензент (внутрішній)



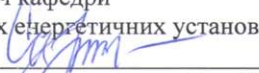
(ПІБ, підпис, дата)

Д.Т. Фаресенко 19.12.25

Одеса – 2025

Національний університет «Одеська морська академія»
Навчально-науковий інститут інженерії
Кафедра суднових енергетичних установок

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
суднових енергетичних установок


д-р техн. наук, професор Сергій САГІН
10 вересня 2025 р.

ЗАВДАННЯ

на виконання дипломної роботи магістра

Курсант ННІ _____ Маневський Віктор Вікторович _____

1. Тема дипломної роботи: _____ **Забезпечення діагностування та** _____
_____ **контролю робочого процесу суднових дизелів** _____

Затверджена наказом ректора НУОМА № 1414 від 24 листопада 2025 р. _____

2. Об'єкт дослідження _____ **процес експлуатації двигунів внутрішнього** _____
_____ **згоряння суден морського та внутрішнього водного транспорту** _____

3. Предмет дослідження _____ **процес діагностування суднових** _____
_____ **двигунів внутрішнього згоряння** _____

4. Обсяг пояснювальної записки: _____ **80...90 стор.** _____

5. Структура пояснювальної записки дипломної роботи: _____

_____ **Аналіз літературних джерел з завдання забезпечення діагностування** _____
_____ **робочого циклу суднових двигунів внутрішнього згоряння** _____

_____ **Методологічні основи наукових досліджень** _____

_____ **Безперервне діагностування робочого циклу під час експлуатації** _____
_____ **суднових двигунів внутрішнього згоряння** _____

_____ **Підвищення ефективності функціонування систем діагностики і** _____
_____ **контролю робочого процесу суднового дизеля** _____

6. Зміст основної частини пояснювальної записки (перелік питань, що
підлягають розробці):

_____ **Аналіз літературних джерел з завдання забезпечення діагностування** _____
_____ **робочого циклу суднових двигунів внутрішнього згоряння** _____

_____ **Методологічні основи наукових досліджень** _____

_____ **Безперервне діагностування робочого циклу під час експлуатації** _____
_____ **суднових двигунів внутрішнього згоряння** _____

_____ **Підвищення ефективності функціонування систем діагностики і** _____
_____ **контролю робочого процесу суднового дизеля** _____

7. Перелік графічного матеріалу:

_____ **Методологія наукового дослідження** _____

_____ **Аналіз сучасних систем діагностування суднових дизелів** _____

_____ **Результати досліджень** _____

_____ **Висновки** _____

РЕФЕРАТ

Дипломна робота магістра: 95 сторінок, 17 рисунків, 3 таблиці, 58 літературних джерел.

Магістерське наукове дослідження спрямоване на розв'язання науково-прикладного завдання – підвищення ефективності функціонування систем діагностики і контролю робочого процесу суднового дизеля.

Головним науковим результатом магістерського наукового дослідження полягає у розробці рекомендації щодо покращення візуалізації результатів діагностування та контролю робочого процесу суднового дизеля з безперервним відображенням та передачею цієї інформації оператору.

Доведено, що для розв'язання завдань контролю технічного стану та якості проходження робочого циклу суднових дизелів доцільно використовувати засоби технічної діагностики, які дозволяють за аналізом деяких параметрів усунути несправності, що ведуть до відмов і аварії дизеля.

Запропоновано схеми побудови систем діагностування доцільно виконувати у модульному варіанті, за трирівневою архітектурою: первинний (нижній) рівень, рівень передачі даних та контрольно-аналітичний рівень. Це забезпечує гнучкість процесу діагностування та надає можливі вибору та зміну параметрів, що діагностуються.

Запропоновані сучасна система діагностування CoCoS-EDS (Computer Controlled Surveillance-Engine Diagnostics System) – що призначена для дизелів ME з електронним керуванням фазами паливоподачі та газорозподілу.

СУДНОВИЙ ДИЗЕЛЬ, РОБОЧИЙ ЦИКЛ, ДІАГНОСТУВАННЯ РОБОЧОГО ЦИКЛУ, ВІЗУАЛІЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ ДІАГНОСТУВАННЯ

ABSTRACT

Master`s degree thesis: 95 pages, 17 figures, 3 tables, 58 references.

The master's scientific research is aimed at solving the scientific and applied task – improving the efficiency of diagnostic and control systems of the marine diesel engine.

The main scientific result of the master's research is to develop recommendations for improving the visualization of the results of diagnosing and monitoring the working process of marine diesel with continuous display and transmission of this information to the operator.

It has been proved that in order to solve the problems of control of the technical condition and quality of the working cycle of marine diesels, it is advisable to use technical diagnostic tools, which allow the analysis of some parameters to eliminate faults leading to diesel failures and accidents. It is offered to execute schemes of construction of diagnostic systems in modular variant, according to three-level architecture: primary (lower) level, data transmission level and control-analytical level.

This provides flexibility in the diagnostic process and provides the possibility to choose and change the parameters to be diagnosed. The modern diagnostic system CoCoS-EDS (Computer Controlled Surveillance-Engine Diagnostics System) is proposed - which is intended for ME diesels with electronic control of fuel and gas distribution phases.

MARINE DIESEL, WORKING CYCLE, WORKING CYCLE DIAGNOSTICS,
DIAGNOSTIC PROCESS VISUALIZATION

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК ПРИЙНЯТИХ СКОРОЧЕНЬ.....	9
ВСТУП.....	10
1. АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ З ЗАВДАННЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРОЦЕСУ ДІАГНОСТУВАННЯ РОБОЧОГО ЦИКЛУ СУДНОВИХ ДВИГУНІВ ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ.....	12
1.1. Діагностичні параметри двигунів внутрішнього згоряння морських суден	12
1.2. Сучасні системи моніторингу та діагностики суднових двигунів внутрішнього згоряння	13
1.3. Діагностичні параметрів суднових двигунів внутрішнього згоряння.....	18
1.4. Висновки за розділом 1	21
2. МЕТОДОЛОГІЧНІ ОСНОВИ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	23
2.1. Технологія наукових досліджень.....	23
2.2. Наукове пізнання.....	24
2.3. Методологічні принципи наукових досліджень	27
2.4. Технологічна карта досліджень у задачі визначення ефективних параметрів суднової дизельної енергетичної установки	32
2.5. Висновки за розділом 2	33
3. БЕЗПЕРЕРВНЕ ДІАГНОСТУВАННЯ РОБОЧОГО ЦИКЛУ ПІД ЧАС ЕКСПЛУАТАЦІЇ СУДНОВИХ ДВИГУНІВ ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ	35
3.1. Причини відхилення робочих показників та технічного стану суднових дизелів від еталонних параметрів	35

3.2. Вибір обладнання систем безперервного діагностування робочого процесу суднових двигунів внутрішнього згорання.....	37
3.3. Забезпечення процесу діагностування робочого процесу судового дизелю та візуалізація його результатів.....	39
3.4. Розробка модулів систем моніторингу та діагностики робочого процесу судових дизелів	46
3.5. Висновки за розділом 3	54
4. ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ СИСТЕМ ДІАГНОСТИКИ І КОНТРОЛЮ РОБОЧОГО ПРОЦЕСУ СУДНОВОГО ДИЗЕЛЯ ВИКОРИСТАННЯМ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ СО-COS	55
4.1. Система діагностики Со-Со-EDS.....	57
4.1.1. Контроль і реєстрація параметрів головного дизеля.....	57
4.1.2. Побудова графіків і характеристик.....	60
4.1.3. Побудова тренда.....	60
4.2. Діагностика двигуна.....	61
4.3. Система планування технічного обслуговування енергетичної установки Со-Со-MPS.....	63
4.4. Алгоритм використання програми Со-Со-MPS.....	66
4.5. Електронний каталог запасних частин Со-Со-SPS.....	67
4.6. Система обліку та замовлення запасних частин Со-Со-SPO.....	69
4.7. Взаємодія програм, що входять в інформаційну систему Со-СоS.....	71
4.7.1. Використання системи Со-СоS при виникненні відмови.....	71
4.7.2. Використання системи Со-СоS при виконанні планового технічного обслуговування.....	73
4.8. Висновки за розділом 4.....	74

5. ЕНЕРГЕТИЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ СУДНОВОЇ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ УСТАНОВКИ	75
5.1. Коефіцієнт енергетичної ефективності	75
5.2. Розрахунок узагальненого пропульсивного ККД суднової енергетичної установки	81
ВИСНОВКИ.....	87
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	89

ПЕРЕЛІК ПРИЙНЯТИХ СКОРОЧЕНЬ

АЦП	–	аналого-цифровий перетворювача
ВМТ	–	верхня мертва точка
ВОД	–	високо-обертовий дизель
ДВЗ	–	двигун внутрішнього згоряння
ККД	–	коефіцієнт корисної дії
КШМ	–	кривошипно-шатунний механізм
МГР	–	механізм газорозподілу
МОД	–	мало-обертовий дизель
ОНП	–	охолоджувач наддувного повітря
ПА	–	паливна апаратура
ПКВ	–	поворот колінчатого валу
ПНВТ	–	паливний насос високого тиску
СДУ	–	суднова дизельна установка
СЗЧ	–	смінно- запасні частини
СОД	–	середньо-обертовий дизель
СППР	–	система підтримки прийняття рішень
СТЗ	–	суднові технічні засоби
ТО	–	технічне обслуговування
ЦПГ	–	циліндропоршнева група

ВСТУП

Двигуни внутрішнього згорання (ДВЗ) у промисловості і на усіх видах транспорту широко застосовуються завдяки найкращій економічності по питомій витраті палива та значному моторесурсу.

На морському транспорті суднові двигуни внутрішнього згорання (СДВЗ) займають домінуюче положення. Більш 95 % світового флоту обладнано СДВЗ дизельного типу, що виконують функції головної енергетичної установки та забезпечують хід судну, а також допоміжної енергетичної установки та забезпечують привод електрогенераторів та інших допоміжних механізмів.

Аналізуючи особливості перспектив розвитку суднобудування, можна виділити три головних задачі, на розв'язання яких повинне бути спрямоване створення енергетичних установок для суден:

1) забезпечення інтенсивного зростання економічної ефективності флоту, насамперед за рахунок поліпшення надійності та якості суден;

2) підвищення ступеня використання паливо енергетичних ресурсів у першу чергу за рахунок підвищення економічності, зниження металоємності, зниження трудомісткості будівлі й обслуговування суден;

3) рішення економічних проблем у напрямках різкого зниження забруднення водяного і повітряного середовищ, забезпечення безпеки експлуатації енергетичних компонентів, створення необхідних санітарно-гігієнічних і комфортних умов для екіпажа і пасажирів.

Дизельні енергетичні установки з мало-обертливими двигунами (МОД), завдяки високій економічності і широкому діапазону агрегатних потужностей зберігають своє домінуюче положення на судах морського транспорту. Високо економічні двотактні МОД з крейцкопфом використовуються як основний тип головних двигунів (ГД) для транспортних

суден середньої водотоннажності при потужності на вихідному фланцю понад 3000 кВт та великотоннажних суднах з ефективною потужністю головної енергетичної установки 70000...100000 кВт.

Середньо-обертові двигуни (СОД) й далі будуть знаходити переважне застосування на транспортних суднах обмеженого тоннажу, а також спеціалізованих суднах з обмеженим об'ємом машинного відділення. Основним призначенням СОД є та далі буде їх використання як приводи електричних генераторів.

Значним резервом поліпшення економічності суднових енергетичних установок (СЕУ) є їх технічна діагностика з метою забезпечення необхідної теплової та механічної напруженості – головних причин передчасного виходу з експлуатації. Якісне проведення діагностики СДВЗ, а особливо параметрів робочого циклу, а також стану робочих речовин, що забезпечують його надійну експлуатацію, завжди відносились до актуальніших технічних заходів, що сприяють безвідмовної експлуатації на протязі всього терміну служби дизеля, якій прогнозований виробником.

Саме цим питання присвячена дипломна робота.

1. АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ З ЗАВДАННЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРОЦЕСУ ДІАГНОСТУВАННЯ РОБОЧОГО ЦИКЛУ СУДНОВИХ ДВИГУНІВ ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ

1.1. Діагностичні параметри двигунів внутрішнього згоряння морських суден

Однією з важливих передумов забезпечення технічної безпеки судноплавства є моніторинг параметрів судових дизелів (головних та допоміжних) у процесі їх експлуатації. Інформація про поточні значення параметрів робочого процесу судових дизелів під час експлуатації дозволяє обслуговуючому персоналу підтримувати нормальний технічний стан дизелів та запобігати виникненню аварійних ситуацій. На судах морського та внутрішнього водного транспорту, що на даний час знаходяться в експлуатації, моніторинг параметрів двигунів найчастіше зводиться до періодичного контролю тисків і температур: за допомогою максиметрів персонал визначає максимальні значення тисків газів по циліндрам (p_{\max}) чи тиску кінці процесу стиснення (p_c) при відключеної подачі палива. Крім p_{\max} , p_c , температур води та мастила, можна виділити цілу низку інших параметрів, моніторинг яких під час експлуатації дає можливість здійснювати більш якісний контроль робочого процесу дизеля та проводити точне регулювання окремих вузлів. Наприклад:

- контроль середнього індикаторного тиску (p_i) дозволяє визначити перевантаження окремих циліндрів та рівномірно розподілити потужність по всіх циліндрах дизеля;

- контроль максимальної швидкості підвищення тиску при згорянні палива (жорсткості $\Delta p/\Delta \phi$ робочого процесу) дозволяє обмежити ударні навантаження на підшипники окремих циліндрів та виявити недоліки у роботі паливної апаратури (ПА);

- контроль геометричних та дійсних фаз паливоподачі проводиться комплексна оцінка технічного стану ПА;

- контроль фаз газорозподілу під час роботи дизеля дозволяє оперативно оцінювати технічний стан газорозподільного механізму та підтримувати паспортні значення кутів закриття та відкриття клапанів.

Крім перелічених вище, можна виділити ще цілий ряд параметрів робочого процесу, моніторинг яких під час експлуатації значною мірою допоможе обслуговуючому персоналу підтримувати нормальний технічний стан дизеля [1].

1.2. Сучасні системи моніторингу та діагностики суднових двигунів внутрішнього згоряння

До цього часу більшість систем моніторингу робочого циклу СДВЗ було спроектовано як єдиний програмно-апаратний комплекс, який проводить запис параметрів та частковий розрахунок робочого процесу в режимі реального часу. Найбільш характерними системами такого типу є NK-5, NK-100, NK-200 фірми Autronica A/S, а також ряд аналогічних систем, розроблених компаніями Terasaki Electric Co., Ltd., Konsberg, JRCS, Nyundai, Samsung, Honeywell, Sulzer [2]. Системи подібного типу покликані вирішувати два завдання:

- 1) отримання даних у реальному часі та частковий розрахунок робочого процесу, що дозволяє виробникам випускати завершені комплекси моніторингу СДВЗ;

- 2) надавати технічному персоналу судна великий обсяг інформації, необхідної для якісної технічної експлуатації двигунів.

Однак такий підхід до вирішення завдання моніторингу ДВЗ має низку недоліків:

- недостатньо повне (неточне) моделювання робочого процесу;
- як вихідні дані використовується обмежена кількість вимірюваних параметрів;
- не виявляються прогнозуючі тренди технічного стану двигуна;
- з'єднання вимірювальної та розрахункової частин систем моніторингу ДВЗ значно збільшує їх складність; для передачі сигналів від двигуна до обчислювального комплексу використовуються довгі кабельні лінії; встановлюються додаткові підсилювачі та перетворювачі сигналів, що знижує надійність функціонування системи загалом;
- вартість систем такого типу залишається дуже високою, оскільки складається з вартості як датчиків і первинних перетворювачів, а й усього проміжного устаткування, включаючи вартість обчислювального комплексу і програмного забезпечення. Крім того, комп'ютери в таких системах задіяні лише для вирішення задачі моніторингу ДВЗ [1]. Розглянемо застосовувані нині системи діагностики СОД та високооборотних дизелів (ВОД).

Система CEDC фірми «Wartsila-Sulzer» (Швейцарія) призначена для діагностування циліндропоршневої групи (ЦПГ), ПА, турбокомпресора, охолоджувача наддувного повітря (ОНП). Ця система встановлена на дизелях типу RT-flex60, RT-flex68, RT-flex82, RT-flex84, RT-flex96. Діагностична система на основі міні-ЕОМ аналізує поточні параметри дизеля та його технічний стан. При зміні діагностичних параметрів проводиться аналіз тенденцій їхньої зміни в часі та встановлюється необхідний термін перебирання вузла. Поломка деталі (вузла) попереджається сигналом досягнення граничного значення параметра. Таким чином, щоразу виробляються ті роботи, які необхідні підтримки характеристик дизеля оптимальному рівні. Діагностичні системи складаються із трьох основних частин: датчиків та перетворювачів сигналів, встановлених на дизелі або у

безпосередній близькості до нього; центрального обробного та реєструючого пристрою, розміщеного в центральному пульті управління або у спеціальному приміщенні; засобів зв'язку «людина – машина», що у центральному посту управління. Сигнали передаються у цифровому вигляді. Термічна навантаження циліндра вимірюється термодатчиками, встановленими у кришці циліндра (2 шт.), верхній частині втулки (4 шт.) та нижній частині втулки з боку випуску (1 шт.) на глибині близько 6 мм від робочої поверхні. Чотири термодатчики у верхній частині втулки дозволяють визначити похибку організації процесу згоряння, обертання та вібрацію поршневих кілець, а також зафіксувати сухе тертя, яке відзначає в основному датчик у нижній частині втулки. Робота поршневих кілець контролюється двома додатковими датчиками, що розташовані у верхній частині втулки. Ці датчики визначають щільність прилягання кілець до втулки в момент проходження кільцем місця установки датчика та фіксують втрату рухливості та поломку кілець; за відсутності кільця в струмку (поломка кільця) інтенсивність сигналу падає щонайменше 25 %. При аналізі процесу згоряння характерні точки процесу (p_c , p_{max} та ін) порівнюються з усередненими значеннями за кілька циклів і з інтервалом в 30 секунд отримані дані подаються на принтер. Попереджувальний сигнал у системі виробляється за абсолютної, а, по відносної величині параметра, що зберігається у пам'яті ЕОМ, і навіть на магнітній стрічці [3].

Система Sypva фірми «Wartsila-Sulzer» забезпечує безперервне вимірювання та реєстрацію зносу верхнього поршневого кільця дизеля, а також відзначає обертання кілець або його відсутність. Система встановлювалась на дизелях типа RTA з різними розмірами та кількістю циліндрів. Датчики – індуктивні. Верхні поршневі кільця головного двигуна спеціальної конструкції. Датчики встановлюються в наскрізних свердліннях втулки урівень з її робочою поверхнею. Обчислювальний пристрій за певними програмами оцінює загальний технічний стан дизеля та залишковий

ресурс деталей ЦПГ, рекомендує час чергового профілактичного обслуговування. Діагностична система може бути з'єднана зі штатними системами управління та регулювання – регулятором «Woodward», системою регулювання циркуляційного та циліндрового мастила – та брати участь у загальному процесі автоматичного регулювання режиму роботи дизеля, аж до аварійної зупинки його у разі небезпечного виходу за норму будь-яких контрольованих параметрів, у тому числі в системах підготовки палива та мастила, охолодження тощо [3].

Система DETS фірми «NorControl» (Норвегія) є вимірювальний комплекс, що дає інформацію про систему впорскування палива та процесу згоряння в дизелі у вигляді роздрукованих значень параметрів та графіків. Система використовує два датчики (тиску впорскування палива та тиску в циліндрі) п'єзоелектричного типу. Два магнітні датчики дають інформацію про кут повороту колінчатого валу (ПКВ) та частоту обертання. Додатково встановлюється датчик тиску повітря. Реєструються наступні характерні параметри: p_i , p_c , p_{max} , тиск розширення в точці 40° після верхньої мертвої точки (ВМТ), момент максимального тиску, град, ПКВ; різницю між найбільшим і найменшим значеннями p_i протягом п'яти ходів поршня. Для візуального контролю будується діаграма тиску стиснення в зоні ВМТ та крива тиску впорскування [4].

Система PED фірми «Pielstick-MAN Diesel» (Франція) вперше була встановлена на дизелях серії 18PC2-5V. За допомогою системи діагностуються перебіг та показники робочого циклу СОД фірми SEMT-Pielstick серій PC-2, PC-3, PC-4 та їх подальші модифікації. Діагностичною системою контролюється стан рамових підшипників колінчастого валу та верхнього поршневого кільця, агрегатів турбокомпресора. Датчики системи вимірюють наступні параметри: температуру і тиск за ОНП, температуру охолоджуючої води на вході в ОНП, тиск повітря за турбокомпресором, положення рейок паливних насосів високого тиску (ПНВТ), частоту

обертання ротора турбокомпресора, вібрацію підшипників турбокомпресора за допомогою датчика стану підшипників (безконтактного датчика переміщення). Датчик дає можливість виявити порушення центрування колінчастого валу. Стан верхнього кільця контролюється індуктивним датчиком Nipp фірми Vibrometr [5].

Система «Vibrometr» фірми «Vibrometr» (Швейцарія) діагностує такі вузли: ЦПГ, системи упорскування палива, турбокомпресора, поршневих кілець. Діагностична система випробовувалась на двотактних МОД, СОД та ВОД. Діагностична система контролює такі вузли дизеля: поршень (поява стукотів, задираки); клапани, деталі клапанних приводів (розподільний вал, коромисло тощо) ПНВТ; підшипники (знос), а також такі параметри, як частота і напрямок обертання колінчастого валу, p_{\max} і характеристики упорскування. У діагностичній системі використовуються п'єзоелектричні датчики, які збирають інформацію про акустичні сигнали, після обробки яких робиться висновок про нормальний або аномальний стан вузлів. П'єзоелектрична система оцінки звукових хвиль «Niss» включає п'єзоелектричний акселерометр, який виявляє розбаланс ротора та зношування підшипників турбокомпресора. Стан поршневих кілець контролюється за допомогою датчика Niss. Інформація відображається на дисплеї [6].

Система Mecom фірми «Statronik» (Норвегія) призначена для діагностування дизелів, турбін, котлів, за її допомогою реєструються такі параметри: рівень вібрації механізмів, температури підшипників турбін, втулок циліндрів, температура випускних газів, тиск у різних точках газоповітряного тракту [7].

Сучасні діагностичні системи дизелів контролюють зміну тиску в циліндрах залежно від часу, кута ПКВ або перебігу поршня. Діаграма $p_{\text{ц}}=f(\varphi, \text{°ПКВ})$ зображується на екрані осцилоскопа і вводиться в пам'ять ЕОМ для подальшого аналізу, у процесі якого встановлюються величини p_i , p_c , p_{\max} ,

кут ПКВ, якому відповідає максимальний тиск у циліндрі. Значення цих параметрів, а також інших, що стосуються робочого процесу (тиск і температура наддувного повітря, частота обертання колінчастого валу), виводяться або можуть бути викликані дисплеєм (табло) пристрою [8-9].

Системи «Komos-D1, -D2, -D3, -D4» фірми МН1 (Японія), що використовують електроні систему діалогу, призначені для діагностування головного та допоміжних двигунів. Вимірювані значення порівнюються з еталонними, які у пам'яті ЕОМ [10-11].

З представленою аналізу існуючих діагностичних систем ДВЗ можна зробити такі висновки:

- в даний час кожен виробник ДВЗ в першу чергу стурбований моніторингом параметрів (діагностикою) тільки свого двигуна, універсальні системи моніторингу для двигунів будь-яких моделей не створюються;

- установка спеціалізованих діагностичних комплексів здійснювалася на ДВЗ будь якої потужності, що встановлюються на морських судах.

1.3. Діагностичні параметрів судових двигунів внутрішнього згорання

Аналіз розглянутих вище та інших, не описаних систем дозволяє сформулювати перелік діагностичних параметрів двигунів, необхідні реалізації алгоритмів безрозбірної автоматичної технічної діагностики (таблиця 1.1.) [12-14].

Таблиця 1.1. Перелік діагностичних параметрів двигунів, перспективних для використання в системах моніторингу та діагностики

Об'єкт, що діагностується	Параметр, що контролюється
Двигун (ефективні показники)	Крутний момент на фланці двигуна, потужність
	Витрата палива
	Частота обертання колінчатого валу
Робочий процес	Максимальний тиск циклу
	Швидкість наростання тиску
	Кут, що відповідає максимальному тиску циклу
	Температура випускних газів по циліндрам
	Тиск в газовипускному трубопроводі
Система паливоподачі	Тиск впорскування палива
	Циклова подача палива
	Кут випередження впорскування палива
	Тиск за насосом, що підкачує паливо
	Температура палива перед ПА високого тиску
Циліндропоршнева група	Тиск наприкінці стиснення
	Витрата мастила двигуном
	Вібрація в районі кришок циліндрів
Колінчатий вал	Вібрація в районі колінчатого валу
	Температура вкладишів підшипників ковзання або температура підлог підшипників колінчатого валу
Система мащення та система охолодження	Тиск мастила
	Температура мастила на виході з двигуна
	Температура мастила на вході в двигун
	Температура охолоджуючої рідини на виході з двигуна

Закінчення таблиці 1.1

Об'єкт, що діагностується	Параметр, що контролюється
Система мащення та система охолодження	Температура охолоджуючої рідини на вході в двигун
	Циркуляція охолоджуючої рідини
Система управління	Час перехідного процесу пуску
	Час перехідного процесу реверсу
	Точність регулювання частоти обертання
	Час перехідного процесу зміни частоти обертання
Турбонагнітач	Тиск наддуву
	Температура наддувочного повітря
	Вібрація турбонагнітача (віброшвидкість)
	Частота обертання ротору
	Тиск перед турбіною
Шкідливі викиди у довкілля	Емісія оксидів азоту в випускних газах двигуна
	Емісія оксидів вуглецю в випускних газах двигуна
	Димність випускних газів двигуна

Проведений аналіз сучасних датчиків дозволяє зробити висновок про те, що технічних обмежень щодо вимірювання діагностичних параметрів на сучасному етапі технічного прогресу немає. Нині промисловістю випускаються різноманітні датчики, дозволяють вимірювати параметри робочого процесу найскладнішого для діагностування об'єкта СЕУ – ДВЗ [15].

Для контролю тиску газів в циліндрах найбільш широко застосовуються такі неохолодні датчики: тензометричні датчики GT-20 (20А, 21) фірми

Autronica A/S; п'єзоелектричні датчики фірми Kistler; оптичні датчики Optrand; ємнісні датчики PS-16 DEPAS Особливістю зазначених датчиків є широкий діапазон робочих температур від 40 до 500°C. Типовий робочий діапазон вимірюваних тисків 200...250 бар [16-18].

Для аналізу процесу упорскування палива застосовують датчики тиску, розраховані працювати при високих імпульсних навантаженнях з максимальним тиском до 2000...3000 бар. Робочий температурний діапазон датчиків тиску палива сягає 150°C.

Для вимірювання температури та тиску застосовуються датчики серій Sentry та GT фірми Kongsberg.

Для вимірювання віброшвидкості можливе використання датчиків типу Diesel-I. «EnergoLab», які мають два незалежні канали вимірювання – канал X та канал Y.

Для вимірювання шкідливих викидів в атмосферу можуть бути використані датчики фірм NGK Spark Plugs та Siemens VDO. Як приклад можна навести інтелектуальний датчик із багатошаровим сенсорним елементом ZrO₂, який розроблений спільно з NGK та випускається Siemens VDO. Датчик допускає як прямий вимір NO_x, і співвідношення «повітря/паливо». Інтелектуальний датчик включає газовий сенсорний елемент та електронний блок, що генерує три сигнали: NO_x, двійковий, лінійний. Дані передаються ECU двигуна за допомогою шини CAN [19, 20].

1.4. Висновки за розділом 1

З виконаного аналізу можна констатувати, що у час вирішення завдання технічної діагностики судових двигунів, отже, та інших, менш складних об'єктів СЕУ морських та річкових суден, стає можливим, оскільки сучасні

електронні системи управління дозволяють здійснювати безперервний моніторинг технічних параметрів, тобто збір та обробку інформації, отриманої від датчиків регульованих величин та процесів.

У зв'язку з цим завдання встановлення спеціалізованих діагностичних комплексів стає актуальним, тому що інформація, отримана від електронних систем управління двигуном та іншими об'єктами СЕУ, може оброблятися центральним комп'ютером управління або комп'ютером машинного відділення з метою управління та діагностування всієї СЕУ [6], а не лише її окремих об'єктів.

Одночасно з цим візуалізація результатів, що отримані під час діагностування дизеля, за допомогою сучасних інтелектуальних систем та особливо вдосконалення передачі цих результатів до оператора та підвищення ефективності функціонування систем діагностики і контролю робочого процесу суднового дизеля є нерозв'язаним завданням.

2. МЕТОДОЛОГІЧНІ ОСНОВИ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1. Технологія наукових досліджень

Технологія наукових досліджень – це сукупність знань про процеси досліджень та методику їх виконання. Процес досліджень включає вибір теми, інформаційний пошук, вирішення основних та допоміжних завдань і етап впровадження. Графічне зображення цього процесу називається технологічною картою наукових досліджень [21]. Такий підхід до наукового дослідження був запропонований доктором наук, професором І.І. Кринецьким і далі розвинений доктором наук, професором В.А. Голіковим [22].

Його використання можливе у будь-яких прикладних науково-технічних завданнях, у тому числі у завданнях моніторингу та параметричної діагностики судових дизелів. Завершальна наукове дослідження зворотний передбачає остаточне зіставлення результатів роботи з цілями основних завдань. Існує багато як прихильників, так і критиків такої форми уявлення загальної структури та завдань наукового дослідження. Ми відносимо себе до прихильників не лише тому, що є учнями професора І.І. Кринецького та послідовниками професора Голікова В.А., а й з низки об'єктивних причин.

По-перше, логічне уявлення взаємозв'язків дослідницького процесу при вирішенні великої комплексної наукової задачі допомагає структурувати наукову діяльність та впорядкувати дії щодо вирішення поставленого завдання [23].

По-друге, чітке структурування і логічні взаємозв'язки дозволяють уникнути низки помилок і повторень, що неминуче виникають під час вирішення комплексного завдання з багатьма невідомими, що з безлічі приватних завдань із заздалегідь невідомою глибиною вкладення цих завдань.

По-третє, нині на найсучаснішому рівні розглядається концепція графічного чи віртуального уявлення наукової та організаційної діяльності.

Прикладами цього є проекти найбільших ІТ-компаній: Microsoft MindMap©, ConceptDraw MindMap©, Microsoft Project©, ConceptDraw Project© та ін. В даний час існують та успішно розвиваються цілі напрямки віртуального програмування, такі як Project management, Flow Chart drawing та багато інших, які за допомогою сучасних засобів on-line програмування вирішують науково – прикладні завдання технічних наук [24-27].

2.2. Наукове пізнання

Наукове пізнання починається із спостереження навколишньої дійсності – природи, техніки, технологій й т.п. Спостерігаючи незрозумілі, суперечливі явища й процеси, дослідник прагне знайти пояснення незрозумілому й, не знайшовши відповіді, приступає до вивчення наявних знань (концепцій, методології, теорії й т.п.) з метою придбання нових знань про навколишню дійсність шляхом дослідження [22].

У процесі наукового пізнання необхідно уникати оман – не перевірених досвідом і практикою ілюзорних, або перекручених, відображень світу.

Реальні знання – об'єктивні й представляються у вигляді концепцій, законів науки, навчань, теоретичних положень і підтверджених практикою висновків. Вони об'єктивно існують незалежно від свідомості вченого.

Абсолютні (детерміновані) знання характеризуються повним відтворенням узагальнених уявлень про навколишню дійсність, що забезпечують збіг з нею наших концептуальних подань. Наукові знання вважаються відносними, якщо вони носять стохастичний (імовірнісний) характер, вірно відображають дійсність, однак характеризуються неповним

збігом наукового подання з навколишньою дійсністю. На відміну від відносного знання, абсолютне знання не змінюється й не спростовується. Відрізнити дійсні знання від оман можливо тільки на практиці.

Процес наукового пізнання включає в себе п'ять етапів:

- 1) спостереження;
- 2) вивчення;
- 3) дослідження;
- 4) апробацію;
- 5) підтвердження [23].

На етапі *спостереження* дослідник накопичує інформацію про явища й процеси навколишньої дійсності, не впливаючи на неї. Спочатку формується загальне враження про пізнаванність явищ або процесів, потім здійснюється угруповання фактів дійсності за певними важливими ознаками з наступним виділенням із цих груп проблемних (не зрозумілих або не очевидних) фактів дійсності.

Етап *вивчення* необхідний для вибору найбільш актуальної, принципової й вчасно розв'язуваної в результаті наступних досліджень, наукової проблеми або завдання. Необхідно спочатку спланувати й систематизувати дослідження в цьому напрямку.

Вивчити будь-яке явище – це означає встановити взаємозв'язок між процесами й параметрами, що його характеризують. Цей етап вимагає від дослідника високої ерудиції, глибини знань та уміння вгадувати явища природи.

При виборі теми наукового дослідження використовується метод експертних оцінок. У цьому випадку експертом є або сам дослідник, або колектив учених. Вимоги до наукової й науково-технічної експертизи викладені в Законі України «Про наукову й науково-технічну експертизу». Наукова і науково-технічна експертиза – це діяльність, метою якої є

дослідження, перевірка, аналіз та оцінка науково-технічного рівня об'єктів експертизи і підготовка обґрунтованих висновків для прийняття рішень.

Об'єктом наукового **дослідження** є процес, явище, матеріальна або ідеальна система. **Предмет дослідження** – це параметри внутрісистемної структури: властивості елементів, закономірності взаємодії між елементами усередині системи й поза неї, закономірності розвитку, властивості, якості та т.і. Предмет дослідження уміщується у об'єкті дослідження.

Для посилення цілеспрямованості дослідження уточнюють його мету та завдання.

Мета відбиває інтереси й запити верхніх системних ієрархічних рівнів, коли їхні ідеї є відбиттям актуальності наукового дослідження.

Головне завдання дослідження спрямоване на встановлення умов досягнення мети після одержання нових наукових результатів, що є наслідком рішення ряду допоміжних наукових завдань.

При постановці головного завдання дослідження виходять із необхідності доказу реальності передбаченої наукової новизни.

Передбачувана **наукова новизна** представляє нову ідею, гіпотезу, закономірність або наукову тезу про шляхи досягнення поставленої мети. Процес рішення головного завдання традиційно розділяється на ряд самостійних допоміжних завдань, результати рішення яких мають елементи наукової новизни. Наукові результати надалі використовуються при доказі передбачуваної наукової новизни дослідження. Теоретично обґрунтовані й доведені наукові передумови повинні мати не тільки теоретичне, але й практичне підтвердження [23].

Основними компонентами наукового дослідження є: постановка завдання; аналіз і вибір умов і методів рішення завдання на основі аналізу інформації, отриманої на етапі вивчення; формулювання вихідних гіпотез й їхній теоретичний аналіз; планування, організація й проведення експерименту; аналіз й узагальнення отриманих результатів; перевірка

вихідних гіпотез на основі отриманих фактів; остаточне формулювання нових фактів і законів, одержання пояснень або наукових передбачень.

У результаті наукового дослідження наукова гіпотеза з імовірнісного судження може перетворитися в теорію – істинне судження. **Теорія** – це система узагальненого істинного знання, що встановлює властивості, зв'язки й відносини в предметах, процесах або явищах, пояснюючи певні сторони дійсності, що є уявним відбиттям і відтворенням реальної дійсності. Теорія формується у результаті узагальнення пізнавальної діяльності й практики.

2.3. Методологічні принципи наукових досліджень

Методологія – це система способів організації наукової діяльності, а також вивчення про структуру, логічну організацію, методи та засоби діяльності.

Метод – це послідовність дії для досягнення якої-небудь мети, рішення конкретного завдання, сукупність прийомів або операцій практичного або теоретичного пізнання дійсності.

Методи умовно розділяють на: **загальні**, діючі у всіх галузях науки й на всіх етапах дослідження; **загальнонаукові**, які застосовні для всіх наук; **часткові**, які використовуються певною групою наук; **спеціальні** – які застасовуються тільки для даної науки.

До **загальнонаукових** методів відносять: спостереження, порівняння, рахунок, вимір, експеримент, узагальнення, абстрагування, формалізацію, аналіз і синтез, індукцію й дедукцію, аналогії, моделювання, ідеалізації, ранжирування, аксіоматичний, гіпотетичний, логічний, евристичний, історичний й системний методи.

Методи експериментально-теоретичного рівня: експеримент, аналіз і синтез, індукція й дедукція, ідентифікація і моделювання, гіпотетичний і логічний методи. Ці методи дозволяють дослідникові виявити безсумнівні факти й об'єктивні прояви в перебігу досліджуваних процесів. З їхньою допомогою здійснюється нагромадження факторів й їхня перевірка. Таким чином, виявлення істини вимагає не тільки збору факторів, але і їхньої правильної теоретичної обробки.

Методи теоретичного дослідження: абстрагування, ідеалізація, формалізація, аналіз і синтез, індукція й дедукція, аксіоматика, узагальнення та інші. На теоретичному рівні виробляються логічні дослідження зібраних фактів, вироблення понять, суджень й умовиводів. На теоретичному рівні наукове мислення переходить від емпіричної відносності до теоретичних узагальнень.

Методи метатеоретичного рівня служать для дослідження самих теорій і розробки шляхів їхньої побудови. Основним завданням цього рівня пізнання є пізнання умов формалізації наукових теорій і вироблення формалізованих мов, які названі метамовами.

До методів метатеоретичного рівня належить **системний аналіз**, що одержав широке застосування в різних сферах наукової діяльності при вивченні складних, взаємозалежних систем або проблем. Суть системного аналізу полягає у виявленні зв'язків між елементами системи та встановленні їх впливу на поведінку системи загалом [23].

Системний аналіз зазвичай складається із чотирьох основних етапів:

1) **постановка задачі.** Визначаються цілі, завдання дослідження та критерії вивчення процесу. Це надзвичайно важливий етап. Неправильна або неповна постановка цілей може звести нанівець всю роботу;

2) **окреслення межі системи та визначення її структури.** Всі об'єкти та процеси, що мають відношення до поставленої мети, розбиваються на два класи: досліджувальну систему та зовнішнє середовище, а також розрізняють

замкнуті та розімкнені системи. Вплив зовнішнього середовища в замкнуту систему можна знехтувати. Виділяють структурні частини системи та встановлюють взаємодію між ними та зовнішнім середовищем;

3) *упорядкування математичної моделі системи.* Спочатку визначають параметри елементів і потім використовують той чи інший математичний апарат (лінійне програмування, теорія множин та ін.) [28].

При дослідженні складних систем, що характеризуються великою кількістю параметрів різної природи, з метою спрощення математичного опису їх розчленовують на підсистеми, виділяють типові підсистеми, роблять стандартизацію зв'язків для різних рівнів ієрархій однотипних систем.

Теоретичні дослідження. Під час проведення будь-якого теоретичного дослідження переслідується кілька цілей:

- узагальнення результатів усіх попередніх досліджень та знаходження загальних закономірностей шляхом обробки та інтерпретації цих результатів;
- вивчення об'єкта, недоступного безпосередньому дослідженню;
- поширення результатів попередніх досліджень на ряд таких об'єктів без повторення всього обсягу досліджень;
- підвищення надійності об'єкта експериментального дослідження.

На етапі дослідження застосовуються евристичні, логічні, загальнотеоретичні й експериментальні методи, базовані на аналізі, синтезі й узагальненні [29].

Аналіз – це метод, що є однією з основ будь-якого аналітичного дослідження й полягає в розчленуванні або розкладанні предметів дослідження на складові частини для вивчення їхніх якостей і властивостей та отримання висновків.

Синтез – метод з'єднання окремих сторін предмета дослідження в єдине ціле. Аналіз і синтез взаємозалежні й фактично становлять собою єдність протилежностей.

Узагальнення полягає у визначенні загального для розглянутих об'єктів або процесів поняття, що характеризує їхній стан або поведіння. Узагальнення є методом, який використовується при формуванні закономірностей, законів і теорій.

Вище розглянуте є широко відомими методами наукових досліджень, які практично завжди, використовуються у творчій діяльності. Їхнє знання й навички використання дають можливість швидше отримати необхідні результати при організації й виконанні наукових досліджень.

Системний аналіз – це науково-методологічна дисципліна, яка вивчає принципи, методи та засоби дослідження складних об'єктів за допомогою представлення їх як системи та аналізу цих систем. Таким чином, у системному аналізі будь-який об'єкт розглядається з урахуванням його системного характеру, тобто не як єдине ціле, а як комплекс взаємопов'язаних складових елементів, їх властивостей та процесів.

Системний аналіз носить загальний, міждисциплінарний характер, тобто стосується освіти, розвитку науки, функціонування, синтезу будь-яких систем, та деякі фахівці вважають, що системний аналіз замінює філософію, є новою загальною методологією науки. Таке сприйняття системного аналізу невірне, оскільки зводить функцію філософського знання лише до методології наукового дослідження. Системний аналіз, з одного боку, дозволяє застосовувати ряд загальнофілософських положень для вирішення окремих задач, а з іншого – збагачує саму філософію розвитком конкретних наук [28].

Даний аналіз використовується для дослідження таких складних систем, як системи автоматичного управління, енергетичні і електромеханічні системи, економіка окремої галузі, промислового підприємства, об'єднання, при плануванні та організації технології комплексних процесів та ін. Системний аналіз складається з основних чотирьох етапів, які були описані раніше:

- 1) постановка задачі;
- 2) визначення границь системи, що вивчається;
- 3) складання математичної моделі і її верифікація;
- 4) аналіз моделі предмета дослідження.

Найважливішою складовою частиною наукових досліджень є *експеримент*, основою якого є науково поставлений дослід з точно врахованими і керованими умовами.

У поняття *експеримент* вкладається наукова постановка дослідів, спостереження і обробці результатів досліджуваного явища. При чому в умовах, які точно враховуються та дозволяють стежити за ходом явищ і відтворювати його кожного разу при повторенні цих умов.

Основними цілями *експерименту* є виявлення властивостей досліджуваних об'єктів, перевірка справедливості гіпотез та глибоке вивчення теми наукового дослідження.

Таким чином, *експеримент* являє собою процес вивчення об'єкта або явища, заснований на цілеспрямованому впливі на нього штучно створених умов, що дозволяє спостерігати, порівнювати і вимірювати його властивості, встановлювати їх залежність від зовнішніх впливів. У порівнянні зі спостереженням експеримент – більш складний метод емпіричного пізнання.

Експерименти розрізняються:

- способом формування умов (природні і штучні);
- метою дослідження (перетворюючі, констатуючі, пошукові, вирішальні);
- організацією проведення (лабораторні, натурні, польові);
- структурою досліджуваних об'єктів і явищ (прості, складні);
- характером зовнішніх впливів на об'єкт дослідження (речові, за енергетичні, інформаційні);
- характером взаємодії засобів експериментального дослідження з об'єктом дослідження (звичайний і модельний);

- числом варійованих факторів (однофакторний і багатофакторний);
- характером досліджуваних об'єктів або явищ (технологічні, соціометричні).

2.4. Технологічна карта досліджень у задачі визначення ефективних параметрів суднової дизельної енергетичної установки

Визначення ефективних параметрів судових дизелів є проблемою через труднощі здійснення точної кількісної оцінки механічних втрат. Спочатку під час експлуатації судових дизельних установок (СДУ) склалася суперечлива ситуація, пов'язана з поданням паспортних даних судових дизелів та можливостями їх контролю. У паспортах зазначені значення ефективної потужності, моменту, середнього ефективного тиску та питомої ефективної витрати палива. При цьому на практиці можна визначити лише середній індикаторний тиск i , відповідно, розрахувати індикаторну потужність, момент та питому індикаторну витрату палива. Тобто в розпорядженні екіпажу є засоби контролю індикаторних параметрів [30], при цьому звітні форми необхідно вести в ефективних параметрах, оцінюючи приблизно величину механічного коефіцієнта корисної дії (ККД) на поточному навантажувальному режимі [31]. Як основний документ, що наказує контроль за ефективними параметрами, можна вказати Резолюцію ІМО МЕРС.214(63) (IMO Resolution MERC) з приводу визначення коефіцієнта енергоефективності суден [32] та лист Реєстру судноплавства України, в якому судновласників зобов'язують проводити випробування судових дизелів з обов'язковим виміром ефективних моментів, що крутять, на валу. Такі вимірювання можна проводити за допомогою електронних торсіометрів (Siemens, Datum Elektroniks, MARIDIS та ін. [33]). Установка та калібрування

таких пристроїв виробляються виключно силами зовнішніх метрологічних фірм та пов'язані з матеріальними та тимчасовими витратами. У деяких випадках керуючі компанії прямо вказують судновим фахівцям, які значення механічних втрат слід застосовувати у розрахунках. Наприклад, у сервісних листах MAN (MAN-Diesel & Turbo) для основних дизелів типу МС вказується величина механічного ККД 0,9...0,93, а дизелів типу ME значення механічного ККД досягає 0,95...0,96 на номінальних режимах [27].

Експлуатація СЕУ зазвичай відбувається на режимах 40...80 % від номінальної потужності та нижче. Значення механічного ККД цих режимах значно менше, та її оцінка, вироблена без спеціальних засобів і методів, здійснюється дуже приблизно.

Аналіз характеристик систем торсіографування [28] показав, що на практиці похибка визначення ефективного моменту, що крутить, знаходиться в межах 3 %.

На основі викладеного матеріалу, складаю технологічну карту наукового дослідження (рис. 2.1).

2.5. Висновки за розділом 2

Як результат розділу 2 визначені основні етапи наукового дослідження та розроблена технологічна карта наукового дослідження.

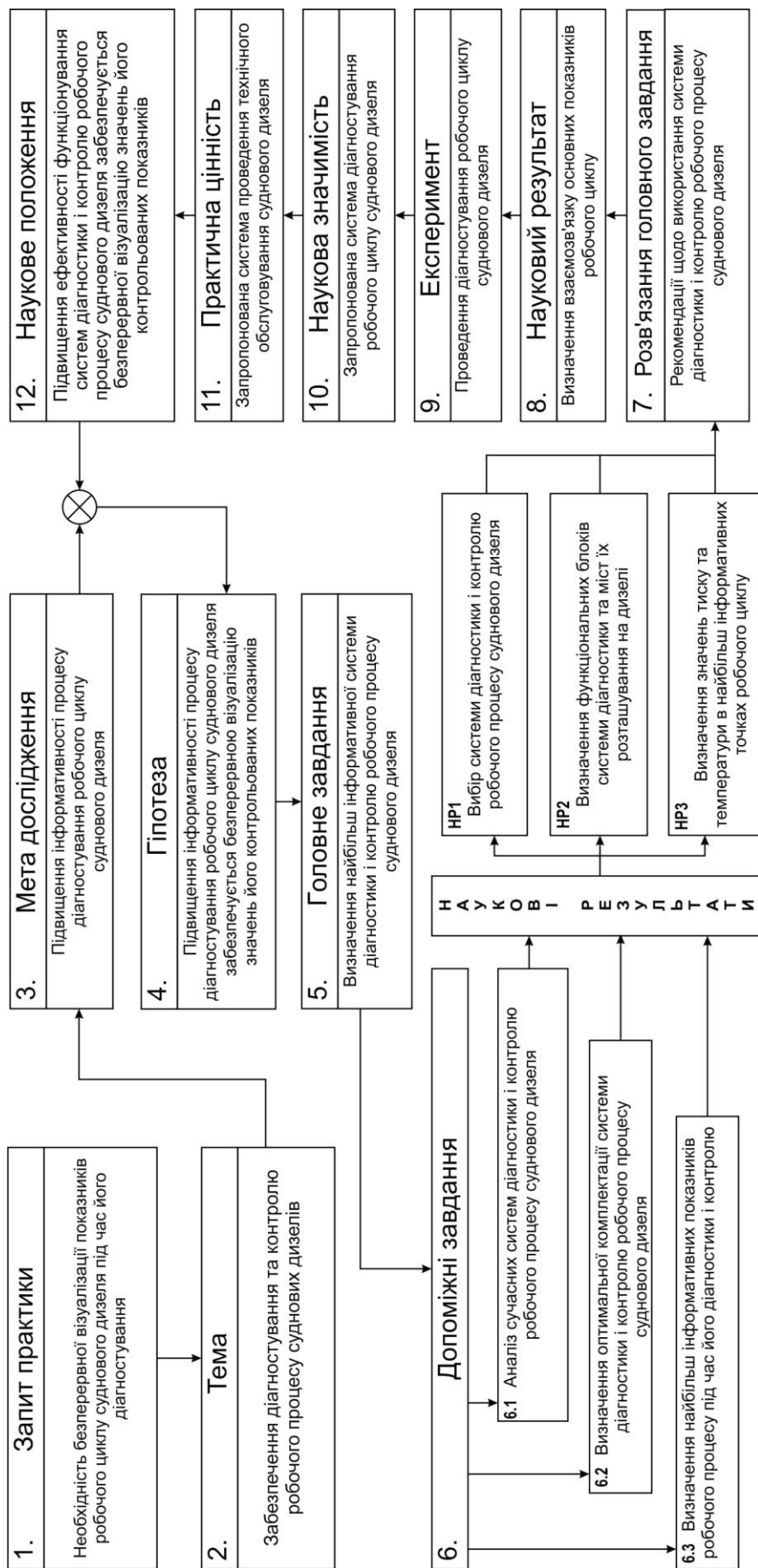


Рис. 2.1. Технологічна карта наукового дослідження

3. БЕЗПЕРЕРВНЕ ДІАГНОСТУВАННЯ РОБОЧОГО ЦИКЛУ ПІД ЧАС ЕКСПЛУАТАЦІЇ СУДНОВИХ ДВИГУНІВ ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ

3.1. Причини відхилення робочих показників та технічного стану суднових дизелів від еталонних параметрів

У процесі експлуатації дизелів відбувається природний процес розрегулювання вузлів ПА високого тиску та механізму газорозподілу (МГР), а також зношування основних ЦПГ. Ці зміни, некритичні в міжремонтний період, проте знижують якість робочого процесу в циліндрах і, відповідно, підвищують питому витрату палива та загальний рівень вібрації двигунів. Крім того, при цьому збільшується нерівномірність розподілу теплових та механічних навантажень між циліндрами, що підвищує ризик виникнення аварійних ситуацій.

Серйозні проблеми виникають і під час експлуатації суднових електроенергетичних установок. Під час паралельній роботі генераторних агрегатів виникають періодичні обмінні процеси активної енергії між дизель-генераторами. Основною причиною цього є динамічна нестабільність частоти обертання двигунів. Значною мірою вона обумовлена нестабільністю робочих процесів та крутних моментів окремих циліндрів двигунів. У поєднанні з автоколиваннями у системі регулювання частоти обертання це призводить до істотних обмінних коливань активної потужності при паралельній роботі генераторних агрегатів. У зв'язку з цим вирівнювання навантажень та нівелювання дисбалансу потужностей по циліндрах двигунів сприяють зниженню інтенсивності коливальних процесів обміну енергією між дизель-генераторами та підвищенню їх моторесурсу.

Періодичне індиціювання дозволяє виявляти та усувати причини дисбалансу потужностей циліндрів та усувати перелічені вище проблеми [33].

Індиціювання дизелів можна виконувати за допомогою системи параметричної діагностики D4.0H [34]. Визначення основних параметрів робочого процесу система D4.0H визначає такі параметри робочого процесу (рис. 3.1):

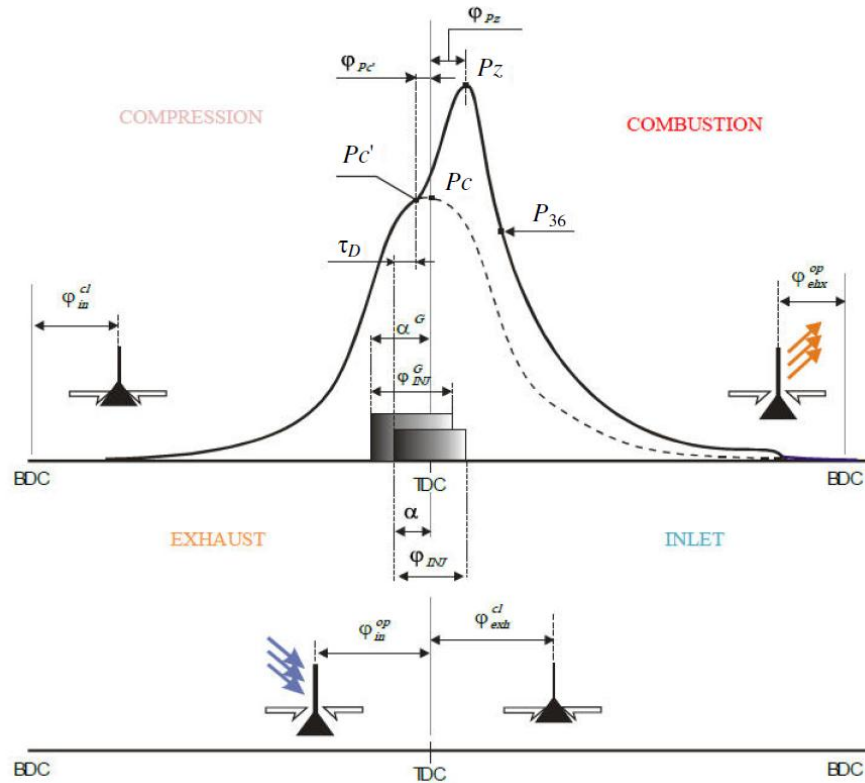


Рис. 3.1. Розгорнута індикаторна діаграма чотиритактного дизеля з основними параметрами робочого процесу

- p_i , N_i – середній індикаторний тиск та індикаторну потужність циліндра;
- p'_c , φ'_c – тиск та кут повороту колінчастого валу (ПКВ) на початку займання палива в робочому циліндрі;
- p_c (p_{comp}) – тиск у кінці стиснення;
- p_z (p_{max}) – максимальний тиск згоряння палива та відповідний кут ПКВ;
- p_{exp} – тиск на лінії розширення (36° ПКВ за ВМТ);
- фази газорозподілу (по кутах закриття впускних та випускних клапанів МГР);

- геометричні (по ПНВТ) та дійсні (по ходу голки форсунки) фази паливоподачі;
- кут та час затримки самозаймання палива (розрахунковим шляхом).

3.2. Вибір обладнання систем безперервного діагностування робочого процесу судових двигунів внутрішнього згоряння

Визначення фаз паливоподачі та газорозподілу, а також діагностика ПА високого тиску та МГР проводяться за допомогою аналізу віброакустичних сигналів відповідних вузлів. Для цієї мети у складі системи є високочастотний вібродатчик VS-20m на магнітній платформі, що забезпечує надійний контакт датчика зі сталевим майданчиком вузла, що діагностується на працюючому дизелі. Використання віброакустичного методу повністю відповідає сучасній ідеології «неруйнівного діагностичного контролю» [35]. Вібродатчик VS-20m використовується для отримання інформації про початок подачі/відсікання палива (геометричні фази паливоподачі) та підйом/посадку голки форсунки (дійсні фази паливоподачі).

Традиційна діагностика ПА високого тиску пов'язана із отриманням діаграм тиску палива (рис. 3.2). Безумовно, їхній аналіз дає найточнішу інформацію про технічний стан ПНВТ та форсунки. Максимальні значення тиску впорскування палива $p_{f,max}$ (рис. 3.2) у сучасних паливних системах досить великі: від майже 300 МПа на сучасних ВОДД та СОД дизелях майже до 200 МПа на МОД. При цьому фаза упорскування становить 10...20 °ПКВ, що при великих значеннях частоти обертання колінчастого валу характеризує різкий динамічний процес з великими значеннями амплітуди та швидкості наростання тиску. Усього кілька фірм у світі випускають специфічні датчики тиску, що працюють у таких жорстких умовах [36].

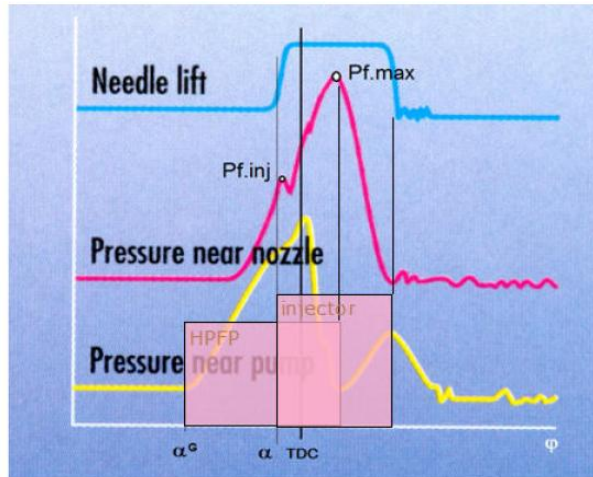


Рис. 3.2. Діаграми тиску в паливній системі під час упорскування (згори донизу: лінійне переміщення голки, тиск палива перед соплами розпилювача, тиск після ПНВТ)

Очевидно, що при таких високих значеннях тиску установка позаштатних датчиків у ПА та моніторинг процесу упорскування палива можуть проводитись лише в лабораторних умовах. Насправді на транспортному судні заборонені будь-які включення нештатного устаткування паливну систему високого тиску, т. до. при розгерметизації велика ймовірність вибуху і пожежі.

В цьому випадку чи не єдиною альтернативою є аналіз віброакустичних сигналів вузлів ПА. У системі D4.0H так аналізуються фази паливоподачі та здійснюється діагностика ПНВТ та форсунки. Для визначення геометричних фаз паливоподачі (рис. 3.1) датчик VS-20m встановлюється на заглушку навпроти відсічного вікна плунжерної пари ПНВТ (рис. 3.3, б). У цьому місці датчик реєструє вібросигнали, що виникають на початку подачі палива ПНВТ та відсікання. Для визначення дійсних фаз паливоподачі (рис. 3.1), діагностування загального стану ПА високого тиску вібродатчик VS-20m встановлюється на торець форсунки, перпендикулярно до ходу голки (рис. 3.3, а). В цьому випадку датчик реєструє вібросигнали, що виникають при підйомі та посадці голки форсунки.

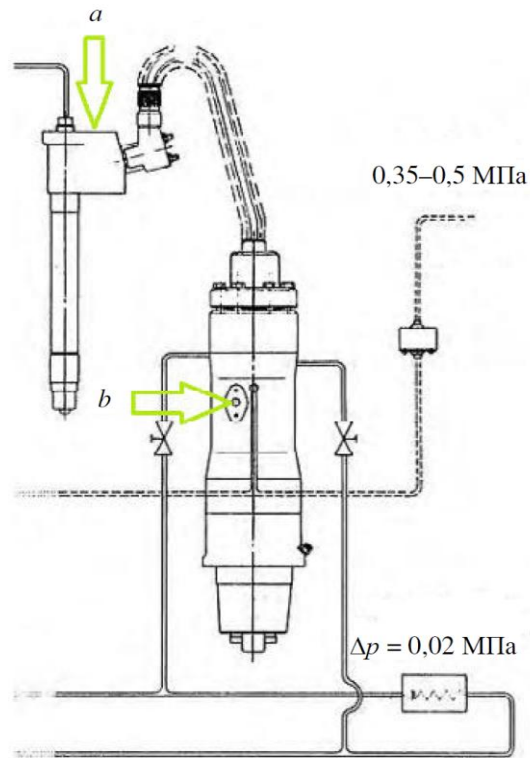


Рис. 3.3. Місця встановлення вібрдатчика VS-20m при індиціюванні дизеля

При встановленні вібрдатчика на форсунку він додатково реєструє удари від посадки (закриття) клапанів газорозподілу. Якщо амплітуда сигналів закриття клапанів недостатньо велика при встановленні датчика на торець форсунки, вибирається місце на кришці циліндра, поблизу від клапанів.

3.3. Забезпечення процесу діагностування робочого процесу суднового дизелю та візуалізація його результатів

Визначення затримки самозаймання палива. Затримкою самозаймання палива вважається час між початком упорскування палива в циліндр та початком його займання. На рис. 3.4 це відповідає фазам α та ϕ_{Pc} :

$$\varphi\tau_D = |\alpha - \varphi p'_c|.$$

Зв'язок між кутом ПКВ і часом затримки самозаймання, мс,

$$\tau_D = \frac{\varphi\tau}{6RPM},$$

де RPM – частота обертання колінчастого валу за хвилину.

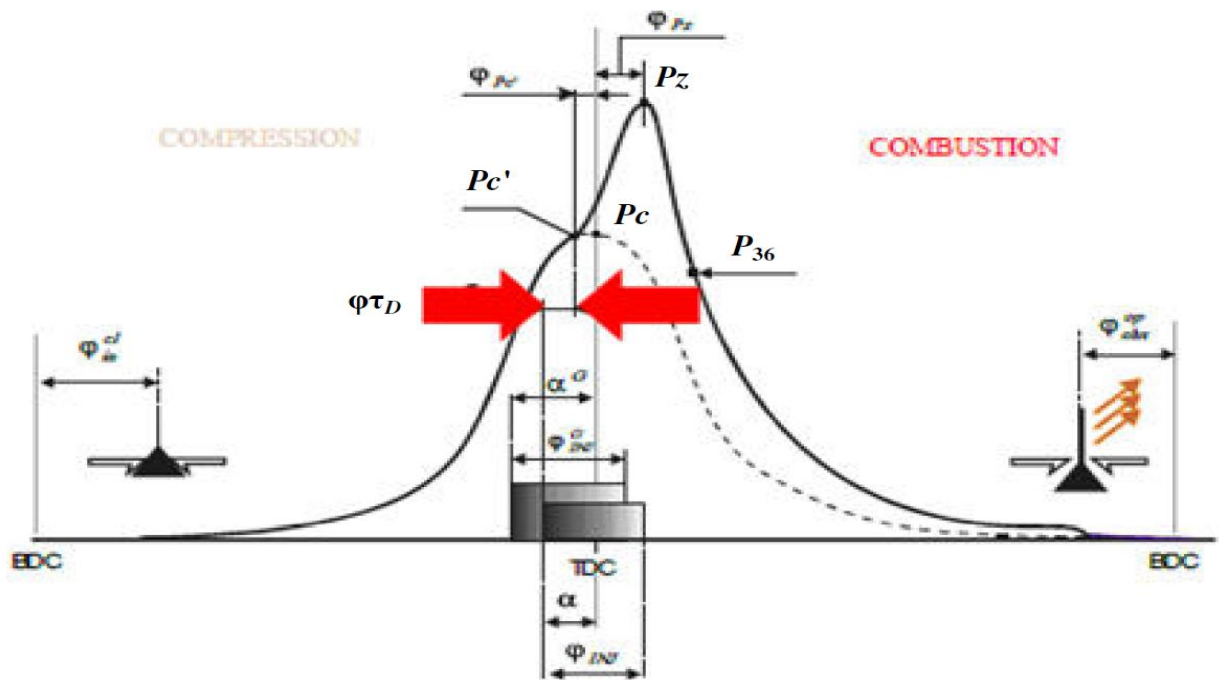


Рис. 3.4. Затримка самозаймання палива

Затримка самозаймання обумовлена наступними один за одним і фізичними та хімічними процесами, що перетинаються:

- розпилення та випаровування палива, його змішування з повітрям у камері стиснення;

- хімічна затримка, пов'язана з розвитком передполум'яних процесів.

Загальний вид формули визначення часу затримки самозаймання [37]:

$$\tau_D = \frac{C}{p^n} \exp\left(\frac{E}{RT}\right),$$

де p , T – тиск і температура газів у циліндрі в момент упорскування палива;

E – енергія активації палива;

R – газова постійна;

C , n – емпіричні коефіцієнти.

Для підвищення якості згорання палива, збільшення економічності робочого циклу та зменшення динамічних навантажень на кривошипно-шатунний механізм (КШМ) та підшипники необхідно зменшувати затримку самозаймання. Основні заходи, спрямовані на зменшення затримки самозаймання:

- підвищення тиску впорскування палива та покращення якості сумішоутворення;

- упорскування в циліндр попередньої невеликої порції палива для створення вогнища горіння перед упорскуванням основної порції палива [38].

Визначення тиску початку згорання в циліндрі здійснюється за допомогою аналізу другої похідної кривої тиску газів в циліндрі (рис. 3.5).

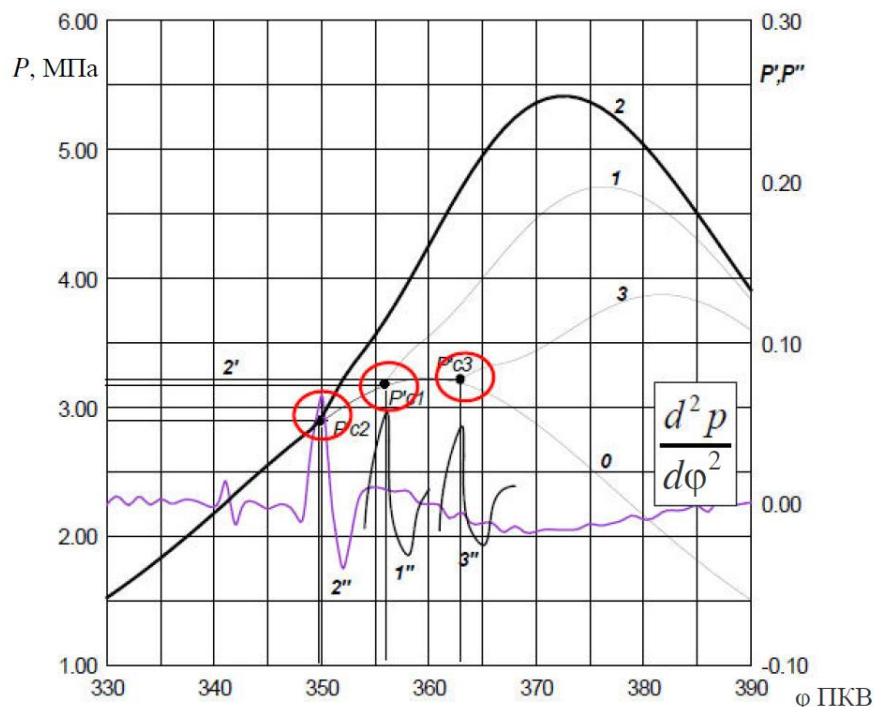


Рис. 3.5. Визначення моменту початку згорання в циліндрі при різних кутах випередження впорскування

$$\varphi_{p'_c} = \frac{d^2 p}{d\varphi^2} \Rightarrow \max .$$

Шуми в оцифрованих даних – похибки аналого-цифрового перетворювача (АЦП) та електронні шуми підсилювача сигналу чутливого елемента до АЦП) вносять суттєві похибки до розрахунку першої та, особливо, другої похідних від кривої тиску. Пошук максимуму другої похідної можна здійснювати лише після обробки діаграми тиску за допомогою коректно побудованого цифрового фільтра (Low Pass Filter) [39]. Параметри, що характеризують механічні навантаження на підшипники та елементи КШМ – максимальний рівень підвищення та максимальна швидкість наростання тиску при згорянні палива (рис. 3.6).

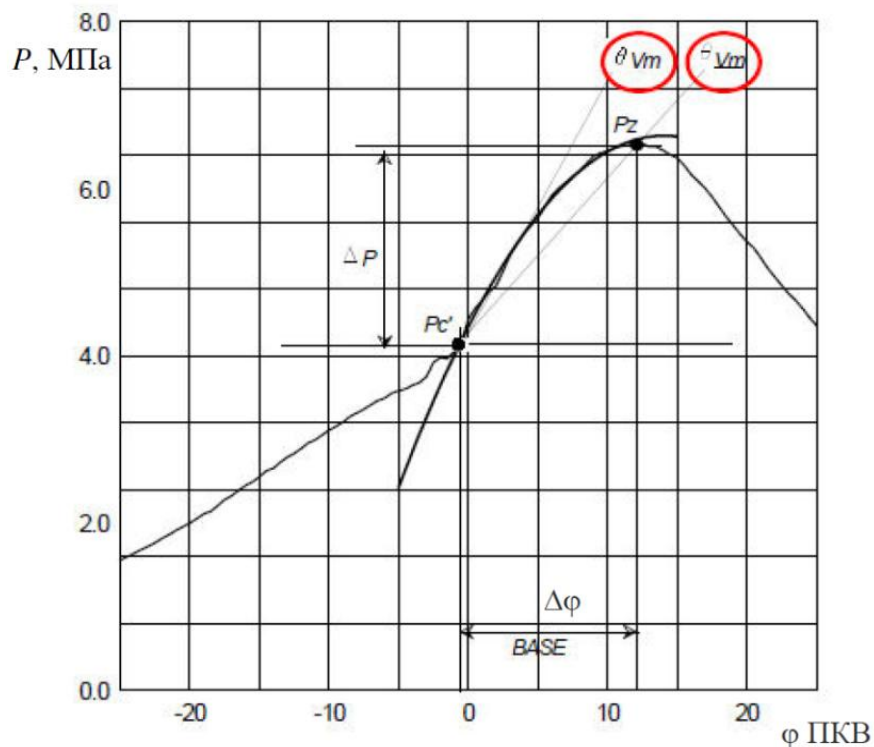


Рис. 3.6. Визначення максимальної та середньої швидкості наростання тиску при згоранні

Ступінь підвищення тиску визначається як

$$\lambda = \frac{P_z}{P_c},$$

або, у разі ранніх кутів випередження упорскування палива, за наближеною залежністю

$$\bar{\lambda} = \frac{P_z}{P_c'}.$$

Максимальна швидкість наростання тиску при згорянні визначається як максимум першої похідної кривої тиску і в більшості випадків припадає на період відразу після запалення палива:

$$v_m = \max \frac{dp}{d\varphi}, \quad \varphi \in \text{BASE}.$$

На практиці часто використовують середню швидкість наростання тиску при згоранні від моменту займання палива до максимального тиску згорання:

$$\bar{v}_m = \frac{\Delta p}{\Delta \varphi}, \quad \varphi \in \text{BASE}.$$

Тиск на лінії розширення (36°ПКВ за ВМТ) є одним із параметрів робочого процесу (див. рис. 3.1), що характеризують догорання палива та теплову напруженість деталей ЦПГ. Зі значенням p_{exp} (p_{36}) корелює температура випускних газів. Термодинамічний сенс фази 36°д ПКВ за ВМТ стає зрозумілим після аналізу кривої сумарної роботи циклу (або питомої роботи циклу – поточного середнього індикаторного тиску циклу (рис. 3.7).

$$p_i = MIP = \frac{1}{V_s} \int p dV,$$

де p_i , MIP – середній індикаторний тиск;

V_s – робочий об'єм циліндра;

p – тиск газів у циліндрі.

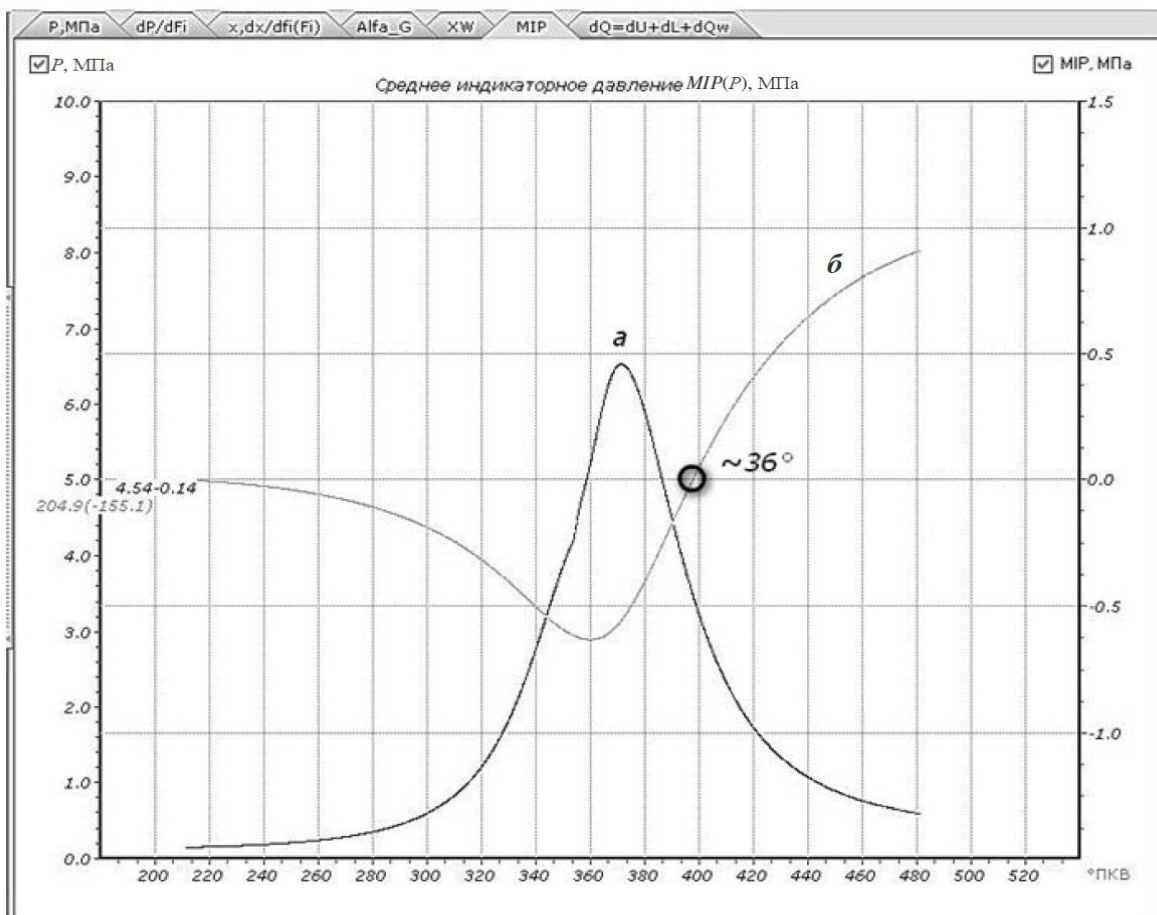


Рис. 3.7. Індикаторна діаграма та сумарна питома робота циклу p_i , MIP

На такті стиску двигун споживає енергію, а на такті згоряння/розширення (при низхідному ході поршня) після ВМТ – віддає [40].

Якщо розглядати енергетичний баланс окремо взятого робочого циклу, то, очевидно, що на початку такту розширення двигун компенсує витрати такту стиснення. Потім, у якийсь момент, вони повністю компенсовані, і далі

йде віддача енергії двигуном, тобто прибуткова частина робочого циклу. Крива сумарної питомої роботи циклу (p_i , MIP) показана на рис. 3.7 (лінія б).

Видно, що максимальна сумарна негативна робота на такті стиснення посідає ВМТ, далі йде компенсація витрат. У точці $\sim 36^\circ$ ПКВ за ВМТ всі витрати компенсовані і після точки 36° сумарна робота циклу є позитивною.

Точку 36° ПКВ за ВМТ на такті згоряння/розширення можна назвати точкою «нульового енергетичного балансу» робочого циклу [41].

Якщо порівнювати два робочі цикли, то в тому випадку, коли тиск у точці 36° ПКВ за ВМТ більше, має місце велика температура газів у циліндрі на лінії розширення і, відповідно, велика температура випускних газів. Насправді, у випадках, коли відсутня чи тимчасово неможливий контроль температури випускних газів після циліндрів, можна розглядати p_{exp} (p_{36}) їхньої відносної оцінки.

Метод алгоритмічної синхронізації даних, що використовується в системі D4.0H, та віброакустичне визначення параметрів паливоподачі та газорозподілу роблять її зручним засобом для діагностики СОД, на яких відсутні механічні приводи для зняття індикаторних діаграм. Отримані діагностичні дані дають можливість здійснювати контроль стану ЦПГ та усувати дефекти ПА та МГР [42].

Вирівнювання потужностей по циліндрах за умови, що дефекти ЦПГ, ПА та МГР усунуті, призводить до рівномірного розподілу теплових та механічних навантажень між циліндрами і, як наслідок, підвищення резерву потужності, зменшення загального рівня вібрації, зниження питомої витрати палива та підвищення моторесурсу двигуна [43].

Стосовно електроенергетичних систем вирівнювання потужностей по циліндрах сприяє усуненню автоколивальних процесів обміну енергією між генераторними агрегатами.

3.4. Розробка модулів систем моніторингу та діагностики робочого процесу судових дизелів

До нашого часу практично всі системи моніторингу робочого процесу ДВЗ були спроектовані як єдиний програмно-апаратний комплекс, що робить запис параметрів та частковий розрахунок робочого процесу в режимі реального часу. Найбільш характерними системами такого типу є НК-5, НК-100, НК-200 фірми Autronica AS, а також ряд аналогічних систем інших фірм [44]. У системах подібного типу поєднано два завдання: отримання даних у реальному часі та частковий розрахунок робочого процесу, що дозволило виробникам випускати завершені комплекси моніторингу ДВЗ та надавати екіпажу судна великий обсяг інформації, необхідної для якісної технічної експлуатації двигунів.

Нестача існуючих систем діагностики та моніторингу ДВЗ у системах підтримки прийняття рішень (СППР) обумовлює їх складність, високу вартість та малу поширеність на флоті. Отримання одразу всіх результатів у реальному часі обмежує можливості розрахунку. Представляється очевидним, що використання штатних систем управління і моніторингу не дозволяє реалізувати функції діагностики на ранніх стадіях з високим ступенем локалізації дефектів, що зароджуються, в результаті чого підвищується ймовірність виникнення раптових і поступових відмов у ДВЗ, що вимагають вживання екстрених заходів аж до аварійної зупинки. у свою чергу, є істотною небезпекою через характер вантажу, що перевозиться, і тягне за собою зупинку систем підтримки безпечних параметрів у вантажній системі.

Функції модуля діагностики ДВЗ повинні бути гнучкими [45], а використання конкретних показників пропонується визначати не тільки типом і конструкцією двигуна, але і використовуваним паливом, режимами

роботи та іншими експлуатаційними особливостями. Основною функцією діагностичної підсистеми модуля, що розробляється, є виявлення відхилень у значеннях експлуатаційних параметрів ДВЗ, що свідчать про порушення в стані вузлів і деталях двигуна, або режими його роботи.

На підставі виявлених відхилень діагностична підсистема модуля, що розробляється, повинна визначати характер зароджуваної несправності ДВЗ і виконувати її локалізацію, після чого виробляються відповідні пропозиції для оператора танкера-газовозу щодо її усунення або з мінімізації негативного впливу, які припускають корекцію режимів функціонування двигуна або його систем або прийняття заходів щодо обслуговування або ремонту відповідних вузлів та деталей. Наприклад, у разі підвищення температури в нижній зоні гільзи одного з циліндрів ДВЗ, в порівнянні з іншими циліндрами, і за відсутності сигналів від датчиків, що контролюють провертання поршневих кілець, і від датчиків, що контролюють порушення в циркуляції охолоджуючої рідини, можна судити про появу зон інтенсивного тертя між робочою поверхнею гільзи і кільцями, найбільш ймовірною причиною якого може бути наявність задира або передзадирного стану, при цьому виникає необхідність збільшення подачі мастильної рідини в циліндр, про що, у свою чергу, і інформується оператор.

Діагностичну підсистему модуля ДВЗ пропонується будувати за трирівневою архітектурою:

- 1) первинний (нижній) рівень;
- 2) рівень передачі інформації та результатів діагностування;
- 3) контрольно-аналітичний рівень.

На нижньому рівні може бути використаний набір вимірювальних перетворювачів та датчиків, за допомогою яких здійснюється безперервний збір діагностичної інформації про значення контрольованих параметрів. Також до нижнього рівня відносяться слаботочні аналогові та цифрові лінії

зв'язку, що з'єднують датчики та вимірювальні перетворювачі з інтерфейсним модулем, та ланцюги їх електроживлення.

До рівня передачі інформації та результатів діагностування відноситься модуль централізації (інтерфейсний модуль), який здійснює збір інформації від вбудованих систем двигуна, додаткових датчиків і вимірювальних перетворювачів, що включає необхідні аналого-цифрові перетворювачі і перетворювачі інтерфейсів, а також лінії зв'язку між інтерфейсним модулем і обладнанням суднового містка. Такий інтерфейсний модуль пропонується розміщувати в машинному відділенні через фізичні обмеження на відстань передачі вимірювальних сигналів.

Контрольно-діагностичний модуль ДВЗ повинен розташовуватися поблизу суднового містка і може бути реалізований як самостійний пристрій, або у вигляді спеціалізованої комп'ютерної програми.

Використання програмної реалізації краще, оскільки знижує технічну складність виконання даного модуля і дозволяє без додаткових витрат вносити необхідні зміни в алгоритми його функціонування або в перелік контрольованих параметрів. Пропонована структурна схема підсистеми модуля діагностики ДВЗ, що розробляється, наведена на рис. 3.8.

Перелік діагностичних ознак і параметрів для коректного визначення технічного стану ДВЗ та його підсистем досить широкий [46-49], через що доцільно згрупувати їх за фізичними ознаками. До термічних параметрів ДВЗ відносяться: температура мастильно-охолоджуючої рідини в різних точках систем мастила та охолодження; температури робочих поверхонь циліндрів та їх розподіл за довжиною втулки циліндра; температури поршнів, вузлів тертя кривошипно-шатунного механізму, підшипників та інших механічних частин, а також температура газів, що відпрацювали.

За результатами вимірювання температури в механічних деталях і вузлах тертя можна судити про інтенсивність тертя, початок прогресуючого зносу, недоліки функціонування систем охолодження та мащення.

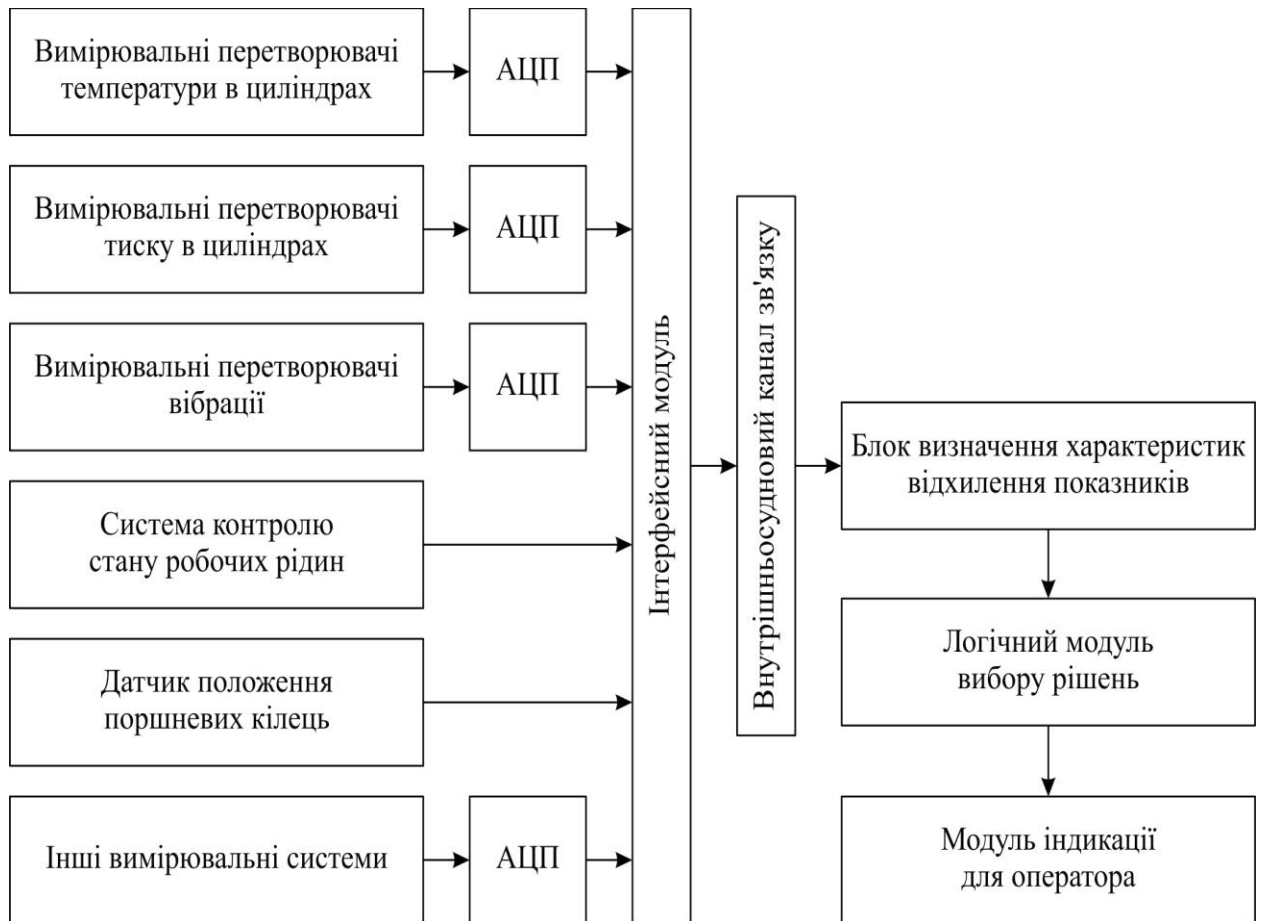


Рис. 3.8. Структурна схема підсистеми модуля діагностики ДВЗ, що розробляється

Вимірювання температури в камері згоряння ДВЗ та мастильно-охолоджуючої рідини дозволяє визначати параметри процесу згоряння палива [50-52]. До вібраційних параметрів ДВЗ відносяться коливання в ЦПГ, які представляють інформацію про зміни в стані сполучення деталей та їх залишковий ресурс [53-55].

Коректна інтерпретація вимірюваних значень вібрацій дозволяє, особливо при знакозмінних навантаженнях, з високою точністю здійснювати локалізацію дефектів, оскільки пов'язані циклічні процеси в ДВЗ є функцією кута повороту колінчатого валу, при цьому навіть при малій кількості вимірювальних перетворювачів, з використанням фільтрації сигналів за часом вузол.

До фізико-хімічних параметрів відноситься, в першу чергу, склад мастильно-охолоджуючої рідини, безперервний контроль якого дозволяє визначати ступінь та інтенсивність зношування пар тертя ДВЗ. Також до цих параметрів відноситься склад відпрацьованих газів, за якими визначаються відхилення в паливній системі та в ЦПГ.

До групи дискретних параметрів ДВЗ відносяться значення провороту поршневих кілець, наявність продуктів зношування в маслі та ін., що дозволяють отримати додаткову діагностичну інформацію.

При використанні широкого набору контрольованих параметрів з'являється можливість точної локалізації дефектів, що зароджуються, оскільки аналіз поєднань значень параметрів носить, в тому числі, і взаємовиключний характер.

В основу алгоритму функціонування діагностичного модуля ДВЗ покладено безперервний аналіз значень контрольованих параметрів та виявлення їх відхилень або несприятливих поєднань на ранніх стадіях. Принциповою відмінністю пропонованих технічних і технологічних рішень від існуючих аналогів [56, 57] є методика контролю, що передбачає, по-перше, проведення переважно аналізу зміни значень параметрів, і що дозволяє виявляти відповідні зміни стану вузлів і агрегатів, а по-друге, використання розширеного набору контрольованих параметрів, що дозволяє здійснювати більш точну оцінку стану контрольованих систем і, відповідно, точніше локалізувати несправності і дефекти, що зароджуються (сучасні аналоги дозволяють, в основному, лише сигналізувати про досягнення граничних значень параметрів з метою проведення невідкладних заходів з усунення вже наявних несправностей).

Додатковим засобом для ідентифікації дефектів в двигунах є самонавчена база знань системи, що реалізується в аналітичному блоці, що дозволяє визначати характер несправностей, що зароджуються, за виявленими наборами поєднань діагностичних ознак.

Технічна реалізація підсистеми модуля діагностики ДВЗ передбачає використання існуючих діагностичних засобів та додаткових засобів збору інформації про значення різних функціональних параметрів двигунів. Перелік використовуваних вимірювальних перетворювачів і датчиків, залежно від конкретних моделей двигунів, може значною мірою змінюватись, але при цьому очевидні переваги повноти інформації, що збирається. Слід зазначити, що існує можливість використання таких систем також із застарілими моделями двигунів, не обладнаними електронними системами управління та контролю, при цьому частина функцій управління та контролю може виконуватися даною діагностичною підсистемою.

Первинні перетворювачі контрольованих фізичних величин, що характеризують режими функціонування ДВЗ, встановлюються у відповідні робочі зони як вузлів і деталей безпосередньо двигуна, так і робочі зони допоміжних систем ДВЗ, параметри яких підлягають контролю. Сигнали з первинних перетворювачів передаються в інтерфейсний модуль по механічно і термічно захищеним лініям зв'язку, що функціонують у важких умовах на поверхні або в безпосередній близькості від ДВЗ, а інтерфейсний модуль передає значення контрольованих параметрів внутрішньосудинних лініях зв'язку в СППР, основний модуль якої фізично розміщується на містку.

дКінцевим пристроєм СППР є модуль інтерфейсу з оператором судна, який може бути реалізований окремо або вбудований в приладові системи управління танкера-газовозу.

У розроблюваному модулі діагностики ДВЗ СППР, призначеному для танкерів-газовозів, передбачається використання стандартних вироблених промисловістю виробів: вимірювальних перетворювачів тиску і температури, датчиків кута повороту валів, тензометрів, акселерометрів, витратомірів, газоаналізаторів та ін. передаватися в діагностичний модуль ДВЗ (коли відстань для передачі слабких сигналів по опору кабелів зв'язку і зовнішнім перешкодам є прийнятним), або групуватися в перетворювачі інтерфейсу для

подальшої передачі їх в діагностичний модуль внутрішньо суднових каналів зв'язку (Modbus, RS-485, TCP/IP і ін.).

За наявності електронного блоку управління ДВЗ інформація з нього також передається в діагностичний модуль за допомогою будь-якого доступного протоколу передачі даних, оскільки пропускна здатність будь-якого сучасного каналу зв'язку є достатньою для передачі таких обсягів інформації.

В результаті досліджень [58, 59] було визначено, що найбільш раціональною формою реалізації контрольно-діагностичного модуля є використання спеціалізованого програмного комплексу, при цьому комп'ютер, що використовується, підключається до лінії зв'язку, що йде від інтерфейсного модуля.

Враховуючи той факт, що модуль діагностики ДВЗ є частиною СППР, призначеної для танкерів-газовозів, головний модуль якої також може бути реалізований у програмному вигляді, такий підхід до побудови діагностичного модуля ДВЗ є технічно виправданим.

Діагностичний модуль ДВЗ СППР може встановлюватися як при будівництві або модернізації танкерів-газовозів, так і при виконанні операцій технічного обслуговування та ремонту, оскільки не потребує суттєвого втручання у конструкцію суднових технічних засобів (СТЗ). Основним критерієм ефективності функціонування таких систем є коректний синтез, налаштування та налагодження алгоритмів обробки діагностичної інформації стосовно конкретних двигунів СТЗ, оскільки вони характеризуються низкою індивідуальних особливостей.

Використання самонавчених модулів (бази знань) дозволяє в процесі експлуатації формувати достатні набори статистичних даних щодо режимів функціонування контрольованих СТЗ, що згодом сприяє коректній інтерпретації поєднань значень контрольованих параметрів ДВЗ для подальшого прийняття рішення оператором танкера-газовозу. Важливим

критерієм універсальності модуля діагностики ДВЗ, що розробляється, є використання програмної реалізації основного модуля, що дозволяє не тільки здійснювати гнучку інтеграцію СППР в обладнання суднового містка танкера-газовозу, але і без значних доробок виробляти модернізацію суднового обладнання.

Модуль діагностики ДВЗ системи підтримки прийняття рішень, призначеної для танкерів-газовозів, дозволяє знизити обсяги інформації, що обробляється оператором, що мінімізує вплив «людського фактора» на безпеку експлуатації танкера-газовозу. Основна функція модуля діагностики ДВЗ полягає у виявленні відхилень у значеннях експлуатаційних параметрів, що свідчать про порушення в стані вузлів і деталях двигуна або режими його роботи. На підставі виявлених відхилень діагностична підсистема модуля, що розробляється, визначає зароджувані несправності ДВЗ і дає вказівки щодо їх локалізації. Далі виробляються відповідні пропозиції для оператора танкера-газовозу щодо їх усунення або мінімізації негативного впливу, які передбачають корекцію режимів функціонування двигуна або його систем або вживання конкретних заходів з обслуговування або ремонту відповідних вузлів і деталей. Модуль діагностики ДВЗ системи підтримки прийняття рішень запропоновано будувати за трирівневою архітектурою: первинний (нижній) рівень, рівень передачі даних та контрольно-аналітичний рівень. Технічна реалізація модуля діагностики ДВЗ передбачає використання існуючих діагностичних засобів і додаткових засобів збору інформації про значення різних функціональних параметрів двигунів. В результаті функціонування модуля діагностики ДВЗ СППР для екіпажу танкера-газовозу виробляються та відображаються конкретні рекомендації, які дозволяють завчасно уникнути небезпечних та аварійних ситуацій у процесі переходу.

3.5. Висновки за розділом 3

Як результат досліджень, що наведені в розділі 3 визначимо наступне.

Діагностування та контроль робочого процесу суднового дизеля є невід'ємною частиною надійної експлуатації морських та річкових суден. Однієї з систем, що забезпечує виконання процесу діагностування з одночасним визначенням всіх інформативних показників робочого циклу суднового дизеля, є система моніторингу D4.0H.

За допомогою цієї системи забезпечується вирівнювання потужностей по циліндрах за умови, що дефекти ЦПГ, ПА та МГР усунуті, призводить до рівномірного розподілу теплових та механічних навантажень між циліндрами і, як наслідок, підвищення резерву потужності, зменшення загального рівня вібрації, зниження питомої витрати палива та підвищення моторесурсу двигуна.

Схеми побудови систем діагностування доцільно виконувати у модульному варіанті, за трьохрівнявою архітектурою: первинний (нижній) рівень, рівень передачі даних та контрольно-аналітичний рівень. Це забезпечує гнучкість процесу діагностування та надає можливі вибору та зміну параметрів, що діагностуються.

4. ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ СИСТЕМ ДІАГНОСТИКИ І КОНТРОЛЮ РОБОЧОГО ПРОЦЕСУ СУДНОВОГО ДИЗЕЛЯ ВИКОРИСТАННЯМ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ СО-COS

Підвищення ефективності функціонування систем діагностики і контролю робочого процесу суднового дизеля можливо за рахунок постійної візуалізації результатів діагностування. Фірмою MAN-Diesel&Turbo ця концепція реалізується у вигляді двох сучасних систем діагностування:

- PMI (Pressure Mean Indicator) – що призначена для дизелів типу МС з розподільним валом (кількість яких на сучасних суднах ще більш ніж велика, та строк остаточної експлуатації деяких з них перевищує 15 років);

- CoCoS-EDS (Computer Controlled Surveillance-Engine Diagnostics System) – що призначена для дизелів МЕ з електронним керуванням фазами паливоподачі та газорозподілу.

Елементи системи PMI для вимірювання тиску в циліндрі двигуна показані на рис. 4.1.

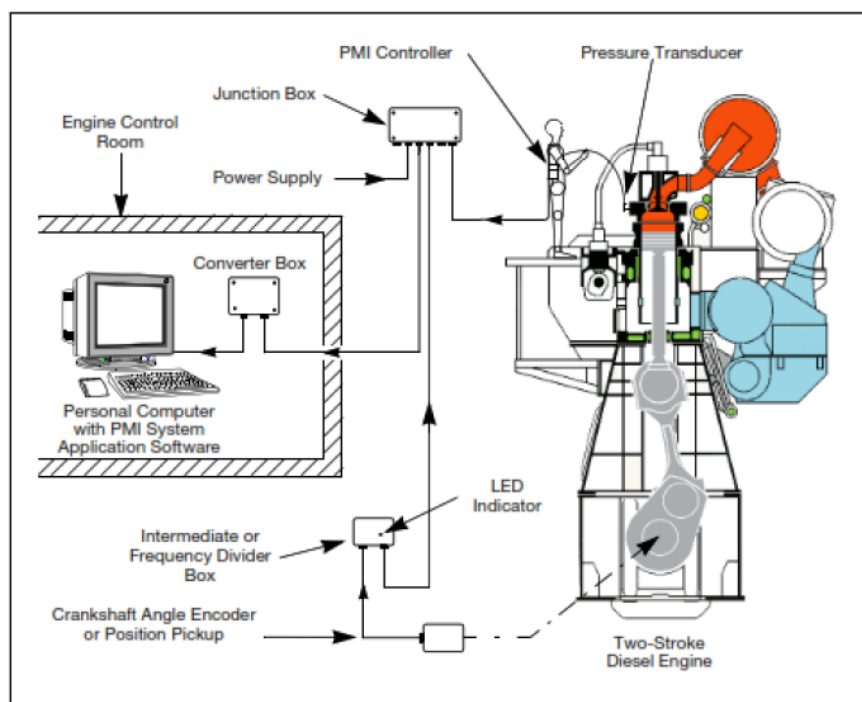


Рис. 4.1. Елементи системи діагностування PMI

Елементи системи CoCoS-EDS показані на рис. 4.2.

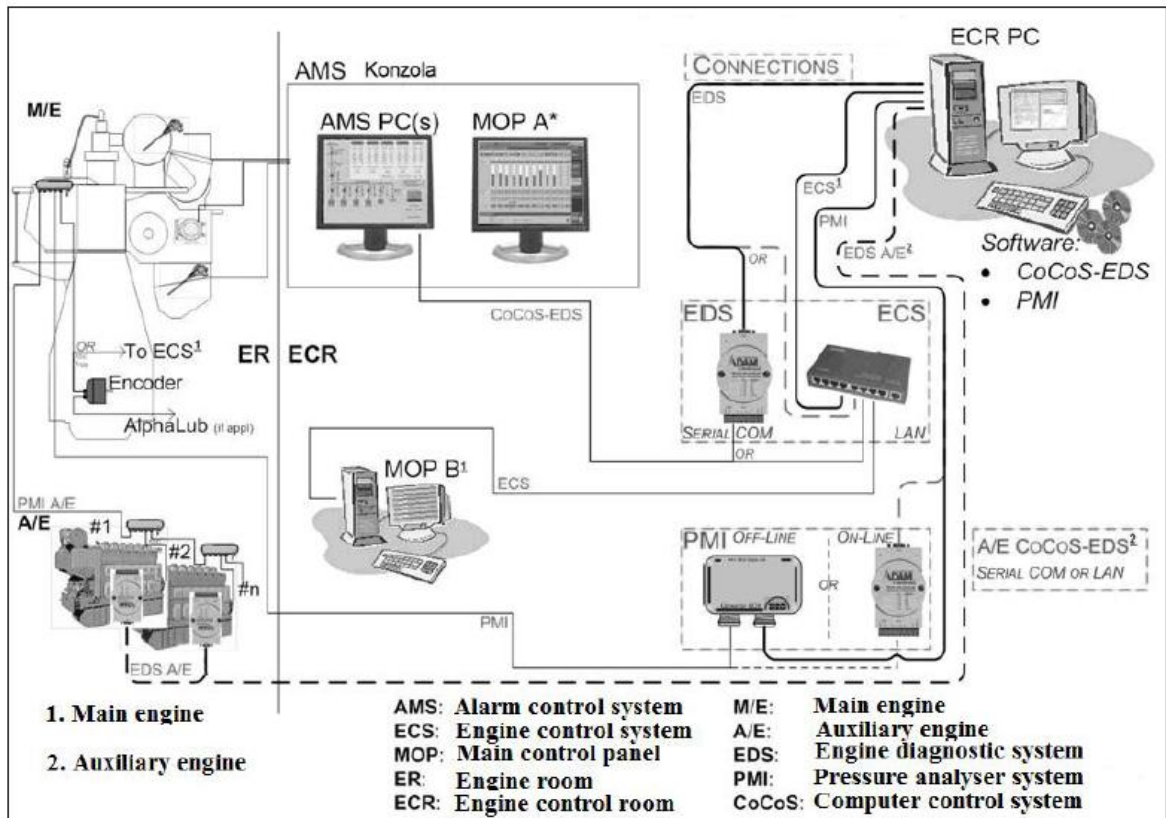


Рис. 4.2. Елементи системи діагностування CoCoS-EDS

Інформаційна система Co-CoS розроблена фірмою MAN-B&W для супроводу в процесі експлуатації своєї продукції. Разом з тим її оболонка може бути успішно застосована для будь-якого іншого обладнання. До складу системи входять чотири окремих програми, які, тим не менш, можуть взаємодіяти між собою в залежності від розв'язуваних завдань:

- EDS (Engine Diagnostics System) - система діагностики головного дизеля;
- MPS (Maintenance Planning System) - система планування технічного обслуговування енергетичної установки;
- SPC (Space Part Catalogue) - оригінальний каталог запасних частин фірми MAN-B&W;
- SPO (Stock Handling and Spare Part Ordering) - система обліку і, при необхідності, замовлення запасних частин.

4.1. Система діагностики Co-Co-EDS

Призначення системи EDS полягає в поліпшенні ефективності роботи головного дизеля і підвищенні його надійності. Це досягається наступними можливостями програми:

- контролем і реєстрацією параметрів головного дизеля;
- побудовою графіків і характеристик;
- побудовою тренда.

4.1.1. Контроль і реєстрація параметрів головного двигуна

Контрольовані за допомогою системи параметри представляють собою первинне джерело інформації, яка згодом може бути використана при вирішенні різних експлуатаційних задач. Система дозволяє контролювати наступні параметри енергетичної установки:

навантаження двигуна; частоту обертання;
становище вихідного валика регулятора;
ККД турбокомпресора;
частоту обертання турбокомпресора;
тиск продувочного повітря; тиск в ресивері;
температуру повітря на вході в турбокомпресор;
барометричний тиск;
температуру продувочного повітря;
температуру вихлопних газів по циліндрах;
середню температуру по циліндрах;
ККД компресора;

падіння тиску на повітряному фільтрі компресора;
тиск наддуву;
ККД турбіни;
тиск за турбіною;
температуру газів на вході в турбіну;
температуру газів виході з турбіни;
ККД охолоджувача продувочного повітря;
падіння тиску повітря в повітроохолоджувачі;
тиск охолоджувальної води на вході в повітроохолоджувач;
перепад температури охолоджуючої води на повітроохолоджувачі;
температуру повітря на вході в повітроохолоджувач;
температуру повітря на виході з повітроохолоджувача;
температуру охолоджуючої води на вході і виході з
повітроохолоджувача;
нижчу теплоту згоряння палива;
густину палива;
падіння тиску на паливному фільтрі; тиск палива перед двигуном;
в'язкість палива;
падіння тиску на фільтрі мастила;
температуру охолоджуючої води на вході в двигун;
тиск охолоджувальної води на вході в двигун;
тиск мастила перед розподільним валом;
тиск в системі мастила перед двигуном;
температуру в системі мастила перед двигуном;
температуру охолоджуючої води після турбокомпресора;
тиск мастила після розподільного вала;
температуру мастила на виході з компресора;
температуру мастила на виході з турбіни;
тиск охолоджуючого масла на вході в поршень;

температуру охолоджуючого масла на виході з поршнів по циліндрах;
температуру упорного підшипника;
температуру охолоджуючої води на виході з двигуна по циліндрах;
тиск згоряння по циліндрах;
максимальний тиск згоряння по циліндрах; середнє індикаторне тиск по циліндрах.

У будь-який момент часу всі перераховані вище параметри можуть бути зведені в таблицю, де крім поточних наводяться номінальні значення, а також різниця між фактичними і номінальними значеннями. Існує можливість відображення інформації в різних системах вимірювань. Вхід в таблицю здійснюється за допомогою меню Monitoring-Standard Report.

Якщо система EDS не підключена до системи аварійно-попереджувальної сигналізації, то існує можливість визначити установки вручну, використовуючи дані, отримані при експлуатації контрольно-вимірювальних приладів. Шлях до цієї опції - Measurement- Manual Input. Однак дані, що заносяться в зведену таблицю, представляють миттєві значення, тобто значення на даний момент. Щоб отримати інформацію про зміну параметрів в часі, необхідно задіяти меню: Monitoring-Line Recorder, що представляє собою електронний самописець. Вимірювання проводяться кожні 30 с, а результат відображається у вигляді точки. Система використовує час, встановлене в комп'ютері для реєстрації даних в реальному часі, тобто оператор може дізнатися значення контрольованого параметра в будь-який минулий відрізок часу з точністю до 30 с, а також встановити динаміку його зміни.

4.1.2. Побудова графіків і характеристик

Дана можливість системи EDS необхідна для поліпшення сприйняття інформації оператором. Це досягається наступним чином: в комп'ютер закладені графіки залежностей від навантаження таких параметрів двигуна, як обороти турбокомпресора, тиск продувочного повітря, температура вихлопних газів, температура газів на вході і виході з турбіни та інших. Комп'ютер порівнює вимірне значення одного з параметрів з номінальним і виводить на монітор точку на графіку, яка відповідає реально виміряному значенню. При такій наочній подачі інформації оператору легше оцінити стан енергетичної установки в даний момент. Вибір меню здійснюється Monitoring-Characteristic Map. Ідентичний алгоритм використовується і в меню Monitoring-Barcharts.

Тут в наочній формі, у вигляді ряду стовпчиків, можуть бути показані, наприклад, температури вихлопних газів, максимальні тиску газів в циліндрах і ін.

4.1.3. Побудова тренда

При безвахтовом обслуговуванні енергетичної установки важливо знати параметри не тільки на поточний момент часу, але і за будь-який попередній інтервал. Для цих цілей може бути використано меню Trend-Time Plots.

В даному меню реєструється стан робочих параметрів не тільки за минулу добу, а й тижні, а при необхідності навіть місяці. Шляхом простого натискання правої кнопки миші можна отримати доступ до налаштовувальної таблиці даної опції. У цій таблиці можна змінити наступне:

- встановити верхню і нижню межі вимірювань для кожного графіка

(upper, lower);

- відображати час, відкладене по одній з осей як в годиннику напруцювання механізму (operating hours), так і в календарному вигляді (calendar time) - в останньому випадку будуть відображатися число, місяць, рік і день тижня, коли було вироблено вимір;

- показувати на графіках точки, відповідні номінальним і фактичним значенням, а при необхідності тим і іншим одночасно.

Крім того, завданням даної функції системи Co-Co-EDS є контроль з боку інспектуючих служб, в першу чергу, суперінтенданта судноплавної компанії. Дані вимірювань залишаються в пам'яті комп'ютера і їх неможливо стерти або змінити, тому при аудиті легко виявляється, наскільки правильно екіпаж здійснював обслуговування енергетичної установки.

4.2. Діагностика двигуна

Можливість даної функції системи своєчасного виявлення несправностей в роботі енергетичної установки допоможе проводити необхідне технічне обслуговування своєчасно і знизити експлуатаційні витрати. Діагностика ґрунтується на даних, отриманих від системи контролю, а також спеціальних датчиків, за допомогою яких визначається технічний стан без розбирання. Основна перевага системи діагностики полягає в тому, що вона не тільки визначає несправності, але і дає рекомендації по їх усуненню. Всі знайдені системою несправності заносяться в спеціальну таблицю, для відкриття якої потрібно виконати Diagnostic-Pending. А в меню Diagnostic-Détails може бути знайдена інструкція щодо усунення наявних несправностей. Вся інформація надається відповідно до інструкції по обслуговуванню дизелів MAN-B&W. На основі наведеної інформації може бути побудований алгоритм роботи системи EDS, представлений на рис. 4.3.



Рис. 4.3. Блок схема алгоритму системи діагностики Co-Co-EDS

Програма Co-Co-EDS має також декілька сервісних функцій для зручності користувача:

- при використанні меню можна отримати наглядне зображення схем енергетичної установки, турбокомпресора і воздухоохладителя з індикацією всіх поточних параметрів безпосередньо в місцях їх вимірювання; існує вбудована система допомоги для користувачів з доступним інтерфейсом;

- є можливість змінювати вигляд інформаційних вікон, тобто мати можливість розташовувати їх горизонтально, вертикально, каскадом;

- всі пункти меню дублюються спеціальними кнопками з значками, ілюструючими їх призначення;

- будь-який графік або малюнок можна збільшити;

- вся інформація може бути надрукована на принтері.

4.3. Система планування технічного обслуговування енергетичної установки Co-Co-MPS

Система Co-Co-MPS призначена для підвищення ефективності роботи і надійності двигуна, зниження експлуатаційних витрат і спрощення процедур, пов'язаних з плануванням технічного обслуговування (ТО) і ремонту.

Ці цілі досягаються в такий спосіб:

- всебічним програмуванням технічного обслуговування даного дизеля;
- прогнозуванням витрати запасних частин і трудомісткості ТО;
- реєстрацією всіх виконаних робіт по ТО і ремонту.

Система Co-Co-MPS має наступні функціональні можливості:

- планування робіт; складання робочих карток;
- планування робіт.

План по ТО складається програмою автоматично, виходячи з періодичності, закладеної в неї розробником, на основі інструкції фірми MAN-B&W. Перелік всіх робіт представлений в табличній формі. При цьому можуть використовуватися такі символи: синім кольором виконані всі роботи, які необхідно виконати (Requested); зеленим - роботи, які вже внесені в графік ТО (Scheduled); жовтим - виконані роботи, за якими не складений звіт (Released). Червону окантовку мають прострочені роботи. Система Co-Co-MPS може бути використана як окрема програма. Для отримання від цієї програми повної віддачі рекомендується застосовувати її спільно з системами Co-Co-SPS і Co-Co-SPO, які будуть розглядатися далі. У цьому випадку оператор може отримати повну інформацію про запасні частини, необхідних для кожного виду робіт, що. Дана процедура виконується в такий спосіб. Комп'ютер порівнює дані систем MPS і SPO і показує спеціальними значками наявність або відсутність запасних частин, необхідних для кожного виду робіт. При цьому можуть використовуватися

такі символи: червоний колір кружка свідчить про відсутність смінно-запасних частин (СЗЧ) в запасі і необхідності їх замовлення; зелений - про наявність необхідних СЗЧ на борту судна; жовтий - про те, що деталей немає в наявності, але замовлення на них уже зроблений.

Далі представлені види послідовності використання меню, необхідні для зміни параметрів виведеної інформації.

View-Sort by – сортує всі роботи по датах, обладнання, виду виконуваних робіт, номеру виконуваних робіт і ін.

View Zoom – виводить, графіки виконання ТО на тиждень, місяць, чверть року, рік.

View Headline – змінює вид інформації, виведеної в таблицях.

Window – дозволяє змінювати розташування вікон на екрані: горизонтально, вертикально, каскадом і ін.

Для отримання повної інформації про будь-який з виконуваних робіт необхідно виділити потрібну роботу зі всього списку (колір рядка при цьому змінитися з білого на жовтий). Після цього можна задіяти зазначені послідовності меню для кожної конкретної роботи:

Job-Summary – виводить загальну таблицю, яка містить наступну інформацію:

назва, номер і індекс роботи;

назва робочої процедури;

дату попереднього технічного обслуговування;

кількість напрацьованих годин після проведення останнього ТО;

кількість напрацьованих годин в інтервалі між ТО по залишеному плану;

рекомендовану заводом-виготовлювачем періодичність ТО; дату початку проведення ТО; тривалість виконання роботи; статус даної роботи в даний час;

Job-Spare parts – надає наступну інформацію по необхідним запасних частин:

назва; призначення;
 номер по каталогу в системі Co-Co-SPC; графічне зображення;
 розмірні характеристики; вагові характеристики;
 кількість даних деталей, необхідне для ремонту або ТО; додаткову інформацію;

Job-History відображає дати зміни статусу роботи;

Job-Comments - дає деякі рекомендації по проведенню робіт. Надається також можливість ввести оператору свої коментарі по роботі в пам'ять комп'ютера.

Складання робочих карток

Ця функція програми введена для максимального спрощення процесу підготовки до робіт по ТО, а також для постійного контролю за всіма робочими процедурами під час виконання цих робіт. Перед початком будь-якої роботи по ТО система Co-Co-MPS становить наступні документи: Requirements, що містить інформацію:

список всіх необхідних СЗЧ із зазначенням їх номера за каталогом;

список використовуваного спеціального обладнання і ручного інструменту;

список осіб, відповідальних за проведення робіт, і трудомісткість роботи;

Job Order, що містить інформацію:

список процедур, необхідних для забезпечення безпеки робочої бригади під час проведення ТО;

коментарі до робочих процедур;

таблиці, що інформують про відсутність або наявність необхідних СЗЧ;

список найменувань і номерів всіх робочих карток.

Work Card містить інформацію, аналогічну тій, яка приведена в документі Job Order. Але при цьому робоча картка складається не на всю роботу, а на кожну процедуру окремо. У ній також вказується номер

процедури, який відповідає розділу в електронній інструкції з даного дизелю. Дана інструкція являє собою докладний посібник з ТО і ремонту, де кожна операція має графічну ілюстрацію. Отримати доступ до необхідно задіяти такі меню.

Work Card-Instructions. В якості додаткової інформації по методиці проведення ТО може використовуватися відеозапис. Для перегляду відео необхідно скористатися меню Work Card-Video Clip. Для використання цієї можливості комп'ютер повинен бути оснащений програмою для читання відеокліпів.

4.4. Алгоритм використання програми Co-Co-MPS

Для отримання повної інформації про роботу даної системи може бути складений алгоритм дій оператора з докладними коментарями до кожної процедури.

Зі списку всіх робіт, представлених в таблиці Requested Jobs, вибираються ті, які необхідно виконати, орієнтуючись по датах і наявності запасних частин.

Через меню Job-Schedule переводимо цю роботу в графік по проведенню ТО. Після проведення цієї операції обрана робота з'являється в таблиці Scheduled Job, причому оператору надається можливість самому ввести число, місяць і рік початку проведення ТО. При необхідності складений графік можна коригувати, задіявши меню Job-Reschedule.

Після виконання всіх робіт по ТО і складання необхідних робочих карток через меню Job-Release вже виконана робота перекладається в відповідну таблицю Released Jobs.

Після проведення всіх перерахованих вище операцій необхідно скласти

звіт про виконану роботу. Для відкриття бланка звіту використовується меню Job-Close. Даний документ включає в себе наступні позиції:

Reported Spare Part Consumption - звіт про витрачання запасних частин;

Reported Man Hour Consumption - звіт про використання людських ресурсів із зазначенням виконавців, звіт про кількість робочих годин, витрачених на проведення роботи; звіт про хід робіт.

Після завершення роботи зі складання звіту комп'ютер виводить на екран вікно Completing Job. Тут оператору необхідно вказати реальну дату завершення роботи та встановити періодичність проведення виконаної процедури ТО за допомогою меню Scheduling Interval-Change. При складанні плану робіт комп'ютер буде керуватися саме цією інформацією. Періодичність проведення ТО встановлюється в календарних термінах або в годинах напрацювання.

Далі використовується опція меню Yes - Job is completed. Після цього робота вважається повністю завершеною і видаляється з таблиці Released Jobs.

Система Co-Co-MPS пов'язана з Co-Co-SPO. Таким чином, всі використовувані запасні частини, які були включені до звіту, автоматично видаляються з каталогу СЗЧ, наявних на борту судна. Детальніше цей процес буде розглянутий при описі підсистеми Co-Co-SPO. Програма MPS також має можливість виводити всю необхідну інформацію на друк.

4.5. Електронний каталог запасних частин Co-Co-SPS

Метою програми, що представляє собою електронну версію звичайного каталогу запасних частин різного устаткування, є:

- допомога в ідентифікації запасних частин; подача інформації про СЗЧ в

доступному вигляді; надання можливості користувачеві отримати повне уявлення про конструкцію тієї чи іншої деталі;

- допомога у виборі обладнання та інструменту, необхідних для демонтажу розглянутих елементів конструкції.

Зазначені вище досягається наступним чином: наявністю багаторівневих каталогів запасних частин; графічним супроводом всієї наявної інформації; наявністю повної інформації про кожну деталь окремо; максимально полегшеною системою пошуку будь-якого елемента конструкції.

Головна відмінність електронного каталогу від звичайного книжкового варіанта – це незрівнянно більшу зручність користування. Крім того, надійність зберігання інформації значно вище при рівні нормальної експлуатації комп'ютерного обладнання.

Робота з каталогом Co-Co-SPS гранично спрощена, тому зупинимося лише на короткому описі користування цією програмою.

У меню View-Structure весь каталог представлений в табличній формі із зазначенням найменування агрегату, компонента і номера компонента. При виділенні необхідної деталі зі списку можна отримати наступну інформацію:

- вагові характеристики;
- графічне зображення; додаткову інформацію.

При активізації меню View-Graphic каталог з табличній форми переходить в графічну і виділений елемент буде показаний в докладному графічному зображенні розглянутої деталі. Будь-який елемент креслення можна збільшити. В каталозі присутні також зображення інструменту та обладнання, що використовується для проведення ТО і ремонту.

Система Co-Co-SPS може бути використана як самостійна, проте в поєднанні з системами Co-Co-MPS і Co-Co-SPO ефективність її використання істотно збільшується.

4.6. Система обліку та замовлення запасних частин Co-Co-SPO

Програма Co-Co-SPO покликана вирішувати дві основні задачі:

- 1) вести облік запасних частин;
- 2) складати бланки замовлення запасних частин при необхідності.

Розглянемо можливості Co-Co-SPO, які допомагають вирішувати перераховані вище завдання.

Облік запасних частин

Система веде облік запасних частин, що знаходяться на борту судна. Список всіх компонентів наведено в меню Stock. Причому по кожній деталі при необхідності можна отримати наступну інформацію.

Меню Information: ціна за компонент; кількість деталей, наявних в запасі; резерв, виходячи з вимог класифікаційного товариства; кількість даних деталей, що знаходяться в роботі; мінімальна кількість деталей, необхідне для забезпечення безпеки.

Меню Quantity: місце зберігання даних деталей; кількість в кожному відділі.

Меню Historic: інформація про отримання та списання деталей (дата, час, кількість).

Меню Graphic: графічне зображення.

Меню Details: вага; розмір; додаткова інформація.

Меню Forecast: рекомендації щодо термінів і кількості деталей, які необхідно замовити.

Меню Find: пошук деталі по її номеру (номер визначається за каталогом Co-Co-SPC).

Меню Print Preview: друк листка опису компонента, в який входить вся а описана інформація.

Системи Co-Co-SPO і Co-Co-MPS пов'язані один з одним і працюють разом в такий спосіб. При складанні плану робіт по ТО інформація про

наявність чи відсутність необхідних СЗЧ буде надходити безпосередньо від SPO. Аналогічно цьому запасні частини, що використовуються при ТО і ремонті, будуть автоматично списуватися, тобто віддалятися зі списку наявних деталей.

Замовлення запасних частин

Бланк замовлення запасних частин оформляється в меню Proposed Order Lines, в якому даються конкретні рекомендації, які саме деталі необхідно замовити (номер, найменування і кількість). Ця інформація ґрунтується безпосередньо на складеному в системі Co-Co-MPS план-графіку ТО.

В меню Orders in Preparation відбувається процес складання замовлення. Для цього оператору потрібно ввести наступну інформацію:

- номер замовлення; дата складання замовлення; найменування постачальника;
- номер та найменування компонентів, що входять в кожне замовлення;
- кількість компонентів і ціна за кожну одиницю; дата і місце отримання замовлення.

Перераховані відомості можна отримати з каталогу Co-Co-SPC. Всі вже складені замовлення зберігаються в меню Issued Orders.

Додаткова інформація в підсистемі Co-Co-SPC

Програма веде не тільки облік наявних компонентів, але і зберігає всю інформацію про їх переміщенні: відомості про те, коли була використана дана деталь, яка кількість годин вона відпрацювала, чи була вона відновлена після зняття з агрегату. Для того, щоб скористатися цією функцією даної програми, необхідно використовувати меню Tracking.

Для того, щоб полегшити отримання узагальненої інформації в системі Co-Co-SPO передбачено меню Reports. Тут оператору надається можливість переглянути, а при необхідності і вивести на друк різні звіти та зведені таблиці, що містять статистичну інформацію. В цьому ж меню можна надрукувати складені бланки замовлень.

4.7. Взаємодія програм, що входять в інформаційну систему Co-CoS

Всі програми, які були розглянуті раніше, можуть бути встановлені в комп'ютер окремо і працювати в автономному режимі, проте в цьому випадку ефективність їх застосування різко знижується. Виходячи з цього доцільно використовувати їх як єдину систему. Розглянемо реальні ситуації використання системи при виникненні відмови і при складанні плану робіт.

4.7.1. Використання системи Co-CoS при виникненні відмови

Під час виникненні відмови реалізується алгоритм, що наведений на рис. 4.4.

При цьому в результаті визначення виду відмови вирішується питання про потребу механізму в розбиранні. У найбільш простому випадку, коли необхідність в розбиранні механізму немає, виконується його налаштування. В інших випадках, коли для відновлення технічного стану потрібно розбирання механізму, можливі варіанти виконання замовлення запасних частин з використанням запасу деталей або відсутністю необхідності їх заміни. Безпосередньо перед виконанням роботи складається робоча картка. У всіх випадках проведення непланового ТО закінчується складанням відповідного звіту.

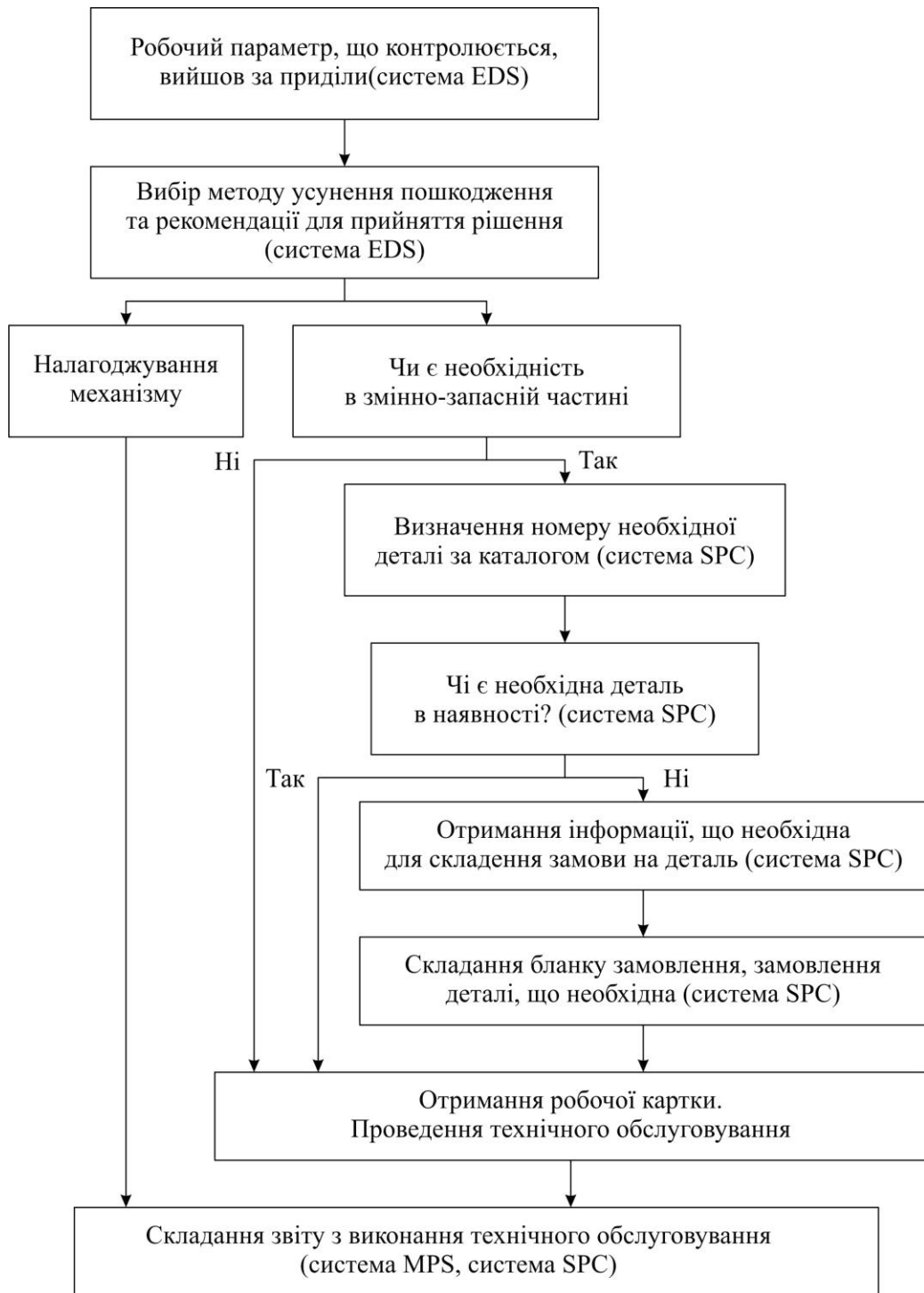


Рис. 4.4. Алгоритм використання інформаційної системи при виникненні відмови

4.7.2. Використання системи Co-CoS при виконанні планового технічне обслуговування

Алгоритм використання системи представлений на рис. 4.5.



Рис. 4.5. Використання системи Co-CoS при виконанні планового ТО

Процедура починається з планування робіт. У частині визначення потреби в запасних частинах і їх замовлення при виконанні планового ТО процедура аналогічна проведення непланового ТО. Безпосередньо перед виконанням роботи складається робоча картка. Процедура закінчується складанням звіту за відповідними розділами.

4.8. Висновки за розділом 4

Як результат досліджень, що виконані у розділі 4, визначимо, що система Co-CoS є однією з сучасних систем діагностування перебігу робочого циклу суднового дизеля та забезпечення його технічного обслуговування.

Саме ця система рекомендована для використання та застосування на морських судах з метою підвищення ефективності функціонування систем діагностики і контролю робочого процесу суднового дизеля.

5. ЕНЕРГЕТИЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ СУДНОВОЇ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ УСТАНОВКИ

5.1. Розрахунок коефіцієнта енергетичної ефективності судна

Близько 90% транспортних перевезень вантажів у світі припадає на морську галузь, що визначається, в першу чергу, їх високою економічністю. При цьому, однак, згідно дослідження ІМО, рівень забруднення атмосфери продуктами згоряння постійно зростає. Тому при проектуванні нових і модернізації діючих суден ІМО запропоновані заходи щодо зниження шкідливих викидів за рахунок підвищення ефективності СЕУ. Дане завдання може вирішуватися на основі виробництва більш досконалих конструкцій корпусу судна, а так само розробки нових спеціалізованих агрегатів і пристроїв, що сприяють значному зниженню споживання палива СЕУ.

З 1 січня 2013 року відповідно до положень Резолюції ІМО МЕРС.203 (62)(9) вступили в силу нові правила Конвенції МАРПОЛ, спрямовані на підвищення енергоефективності суден. На всі нові судна, побудовані після 1 січня 2013 поширюється вимога щодо розрахунку «Експлуатаційної коефіцієнта енергоефективності судна», а для суден, що перебувають в експлуатації, з цієї дати вводиться вимога по наявності на борту «Плану управління енергоефективністю судна (ПУЕС)/Ship Energy Efficiency Management Plan (SEEMP)» [56].

Відповідно до поправок до Правила 22 Додатка 6 до Конвенції МАРПОЛ наявність на борту судна ПУЕС є однією з підстав для отримання судном міжнародного сертифікату енергоефективності.

Вимоги до енергоефективності нових суден (в частині відповідності ними конструктивного коефіцієнту енергоефективності - ККЕЕ) викладені у відповідній методиці ІМО. Коефіцієнт враховує не тільки потужність силової суднової установки, а й загальні дані судна.

Вимоги ІМО поширюються на морські судна та судна типу «річка-море», які здійснюють рейси за межі територіальних вод. Однак, на засіданні комітету ІМО в нові правила була внесена обмовка: будь-яка адміністрація прапора може дати своїм судам виключення з даного правила. Але при цьому в тих країнах, де система енергоефективності суден діє беззастережно, такий флот виявиться неконвенційним.

Розрахунок ККЕЕ проводиться за загальною методикою, наведеною ІМО в керівництві МЕРС 62/24 / Add.1. Потім судно перевіряється морською адміністрацією держави або її уповноваженим органом - Регістром судноплавства. Після успішної перевірки судну видається Міжнародний сертифікат з енергоефективності.

У загальному вигляді формулу розрахунку ККЕЕ можна представити таким чином:

$$ККЕЕ = \frac{\text{кількість викидів } CO_2}{\text{виконана транспортна робота}}.$$

Кількість викидів CO_2 визначається за витраченого за рейс паливу певного сорту. У свою чергу, витрата палива СЕУ базується на потужності двигунів пропульсивного комплексу на певному експлуатаційному режимі та інших споживачів палива на судні.

Вироблена транспортна робота судном визначається його конструктивними особливостями, об'ємом вантажних відсіків і швидкістю судна, заміряний при максимальному завантаженні по літню вантажну марку і 75% потужності ГД [57].

Максимальна величина $K_{KE(MAX)}$ задається статечної емпіричною формулою залежно від типу судна і його дедвейту:

$$K_{KE(MAX)} = a_i \cdot Dw_{(i)(j)}^{-c_i},$$

де a_i, c_i – емпіричні коефіцієнти i -го типу судна $i = 1...7$

$$a_i = \begin{cases} 961,8 \\ 1120 \\ 1218 \\ 174,2 \\ 107,5 \\ 227 \\ 1219 \end{cases} \quad c_i = \begin{cases} 0,477 & \text{для } i = 1 - \text{балкера,} \\ 0,456 & \text{для } i = 2 - \text{газовоза,} \\ 0,488 & \text{для } i = 3 - \text{танкера,} \\ 0,201 & \text{для } i = 4 - \text{контейнеровоза,} \\ 0,216 & \text{для } i = 5 - \text{універсального,} \\ 0,244 & \text{для } i = 6 - \text{рефрижераторного,} \\ 0,488 & \text{для } i = 7 - \text{комбінованого судна;} \end{cases}$$

$Dw_{(i)(j)}$ – j -й дедвейт i -го типу судна.

Розрахункове значення коефіцієнта енергетичної ефективності судна ККЕЕ визначається за наступною формулою:

$$K_{\text{КЕ(роз)}} = \left\{ \left(\prod_{j=1}^M f_j \right) \left(\sum_{i=1}^{nME} P_{ME(i)} \cdot C_{FME(i)} \cdot SFC_{ME(i)} \right) + (P_{AE} \cdot C_{FAE} \cdot SFC_{AE}) + \left[\left(\prod_{j=1}^M f_j \right) \left(\sum_{i=1}^{nPTI} P_{PTI(i)} - \sum_{i=1}^{neff} f_{eff(i)} \cdot P_{AEeff(i)} \right) \cdot C_{FAE} \cdot SFC_{AE} \right] - \left(\sum_{i=1}^{neff} f_{eff(i)} \cdot P_{eff(i)} \cdot C_{FME} \cdot SFC_{ME} \right) \right\} / f_i \cdot Capacity \cdot V_{ref} \cdot f_w$$

У загальному випадку, ККЕЕ (розрахунковий) прямо пропорційний витраті палива усіма судновими споживачами з урахуванням утилізації тепла та інших енергозберігаючих конструкційних заходів і обернено пропорційний роботі судна з перевезення вантажів.

Формула для визначення ККЕЕ містить наступні складові:

а) витрати пов'язані з головними двигунами (потужність ГД, витрата палива і викиди CO_2)

$$\left(\prod_{j=1}^M f_j \right) \left(\sum_{i=1}^{nME} P_{ME(i)} \cdot C_{FME(i)} \cdot SFC_{ME(i)} \right),$$

де $\sum_{i=1}^{nE} P_{ME(i)}$ – сумарна потужність ГД, кВт;

$C_{FME(i)}$ – питомий (масовий) вміст CO_2 при повному згорянні вуглецю в паливі, витраченому ГД, $\frac{\text{тонн углероду}}{\text{тонн палива}}$;

$SFC_{ME(i)}$ – питома ефективна витрата палива на ГД, кг/(кВт·г);

b) витрати, що пов'язані з дизель-генераторами (потужність ДГ, витрата палива і викиди CO_2)

$$P_{AE} \cdot C_{FAE} \cdot SFC_{AE},$$

P_{AE} – потужність ДГ на ходовому режимі судна, кВт;

C_{FAE} – питомий (масовий) вміст CO_2 при повному згорянні вуглецю в паливі, витрачених ДГ, $\frac{\text{тонн углероду}}{\text{тонн палива}}$;

SFC_{AE} – питома ефективна витрата палива на ДГ, кг/(кВт·г);

c) енергозберігаючі технології для допоміжних установок

$$\left(\prod_{j=1}^M f_j \right) \left(\sum_{i=1}^{nPTI} P_{PTI(i)} - \sum_{i=1}^{neff} f_{eff(i)} \cdot P_{AEeff(i)} \right) \cdot C_{FAE} \cdot SFC_{AE},$$

d) енергозберігаючі технології для головних установок

$$\sum_{i=1}^{neff} f_{eff(i)} \cdot P_{eff(i)} \cdot C_{FME} \cdot SFC_{ME},$$

1

e) робота судна з перевезення вантажів

$$f_i \cdot Capacity \cdot V_{ref} \cdot f_w,$$

f_i – коефіцієнт вантажомісткості для суден (крім льодового класу) приймається рівним 1;

$Capacity$ – дедвейт судна, тонн;

f_w – безрозмірний коефіцієнт, котрий вказує на зниження швидкості судна при хвилюванні і хитавиці (визначається на ходових випробуваннях або розрахунковим шляхом, або приймається рівним 1 до уточнення);

V_{ref} – експлуатаційна швидкість судна, вузли.

Значення питомого (масового) вмісту CO_2 при повному згорянні вуглецю в паливі наведені у таблиці 5.1.

Таблиця 5.1. Характеристики палив, що використовуються на судах

№	Тип палива	Примітка	Вміст вуглецю, г/л	$C_F, \frac{\text{тонн CO}_2}{\text{тонн палива}}$
1	Diesel/Gas Oil	ISO 8217	0,8744	3,2206
2	Light Fuel Oil (LFQ)	ISO 8217	0,8594	3,151
3	Heavy Fuel Oil (HFO)	ISO 8217	0,8493	3,114
4	Liquefied Petroleum Gas (LPG)	Propane Butane	0,8182... 0,8264	3,00...3,003
5	Liquefied Natural Gas (LNG)	–	0,7500	2,750

Як видно з формули для ККЕЕ, у розрахунках не враховується витрата палива на виробництво пари ВК, тобто пар генерується тільки в утилізаційному котлі.

Дані, необхідні для розрахунку ККЕЕ наведені в таблиці 5.2 [58].

Таблиця 5.2. Вихідні дані для розрахунку ККЕЕ

Характеристика	Величина
<i>1</i>	<i>2</i>
Тип судна	танкер
Загальна довжина, м	330,00
Довжина між перпендикулярами, м	316,00
Ширина, м	60,00
Осадка, м	21,05
Дедвейт, тонн	297345
Головний двигун	7S80MC фірми MAN-B&W

Закінчення таблиці 5.2

1	2
Потужність, кВт і витрата палива, г/(кВт·г) ГД при 0,75 (MCR)	19110 172
Кількість ГД	1
Використовуване паливо ISO 8217-2010	RMK380
Питома теплотворна здатність палива, кДж/кг	41868
Допоміжні двигуни	6L20 фірми Wartsila
Максимальна тривала потужність (MCR), кВт і витрата палива (г/кВт·г)	975 188
Кількість ДГ	2
Використовуване паливо	RMK 380
Питома теплотворна здатність палива, кДж/кг	41868
Вихідна потужність ДГ, кВт	916
Швидкість судна при літній осаді і 75% потужності ГД на глибокій воді, вузли	14,6
Тип використаного гвинта	ВФШ, один
Діаметр, м і кількість гвинтів	8,2, один

Значення максимального $K_{KE(MAX)}$

$$K_{KE(MAX)} = 1218 \cdot 297345^{-0,488} = 2,60 \frac{\text{гCO}_2}{\text{ТОНН} \cdot \text{МИЛЮ}}$$

Розрахункове значення ККЕЕ визначимо за формулою

$$K_{KE(PO3)} = \frac{(\sum_{i=1}^{nE} P_{ME(i)} \cdot C_{FME(i)} \cdot SFC_{ME(i)}) + P_{AE} \cdot C_{FAE} \cdot SFC_{AE}}{f_i \cdot Capacity \cdot f_w \cdot V_{ref}}$$

$$K_{KE(PO3)} = \frac{1 \cdot 19110 \cdot 3,114 \cdot 172 + 916 \cdot 3,114 \cdot 183}{1 \cdot 297345 \cdot 14,6} = 2,48 \frac{\text{гCO}_2}{\text{ТОНН} \cdot \text{МИЛЮ}}$$

З наведеного розрахунку видно що значення $K_{KE(PO3)}$ при заданих параметрах не величину $K_{KE(MAX)}$, тому вимоги до конструктивної енергетичної ефективності судна виконуються.

5.2. Розрахунок узагальненого пропульсивного ККД суднової енергетичної установки

Основним завданням енергетичної установки служить забезпечення руху судна із заданою швидкістю, яка задає буксировочну потужність. Всі інші складові енергоспоживання є немінучими, але додатковими витратами теплоти. Тому в якості характеристики енергоефективності СЕУ (і судна) може служити узагальнений пропульсивний ККД $\eta_{o.n}$, як відношення корисно використаної теплоти, відповідної буксировочної потужності, до всієї витраченої в СЕУ (на судні) теплоті [58].

Його вихідне вираз (за умови) має вигляд:

$$\eta_{o.n} = \frac{3600N_B}{Q_p^H (B_{ГД} + B_{ДГ} + B_{ДК})},$$

де: N_B – буксировочна потужність судна, кВт;

$B_{ГД}$ – витрата палива на головний двигун (двигуни), кг/год:

$$B_{ГД} = \frac{3600N_{e_{ГД}}}{\eta_{ГД} Q_p^H},$$

$B_{ДГ}$ – витрата палива на допоміжні двигуни (дизель-генератори), кг/год:

$$B_{ДГ} = \frac{3600N_{e_{ДГ}}}{\eta_{ДГ} Q_p^H},$$

$B_{ДК}$ – витрата палива на допоміжний котел, кг/год:

$$B_{ДК} = \frac{D_{ДК} (i_n - i_{пв})}{\eta_{ДК} Q_p^H},$$

$(i_p - i_{пв})$ – різниця ентальпій пари і живильної води, кДж/кг;

Q_n^p – теплота згоряння палива, кДж/кг;

$\eta_{ГД}, \eta_{ДГ}, \eta_{ДК}$ – значення ефективного ККД.

Середньостатистичне навантаження суднової електростанції на ходовому режимі можна визначити за приблизною формулою, кВт:

$$N_{e_{дг}}^{ход} = 0,046 \Sigma N_{e_{гд}} \text{ при } \Sigma N_{e_{гд}} \leq 9000 \text{ кВт};$$

$$N_{e_{дг}}^{ход} = 0,023 \Sigma N_{e_{гд}} + 330 \text{ при } \Sigma N_{e_{гд}} > 9000 \text{ кВт.}$$

$$N_{e_{дг}}^{ход} = 0,023 \cdot 25480 + 330 = 916 \text{ кВт.}$$

Паропродуктивність допоміжного котла ВК (у разі його роботи на ходовому режимі) для транспортних суден можна визначити формулою, кг/год

$$D_{ВК} = (0,1 \dots 0,15) D,$$

або

$$D_{ВК} = 1000 + 0,09 N_{e_{гд}}.$$

Для відповідних значень отримаємо:

$$D_{ВК} = 1000 + 0,09 \cdot 25480 = 3293 \text{ кг/год,}$$

$$B_{ГД} = \frac{3600 \cdot 25480}{0,484 \cdot 41870} = 4526 \text{ кг/год,}$$

$$B_{ДГ} = \frac{3600 \cdot 916}{0,455 \cdot 41870} = 173 \text{ кг/год,}$$

$$B_{ДК} = \frac{3293(2750 - 250)}{0,82 \cdot 41870} = 240 \text{ кг/год.}$$

У технічній літературі наводяться різні методики по визначенню буксировочної потужності судна N_B . Одним із способів визначення N_B є використання графічних залежностей, отриманих для широкого кола суден Ю.А. Будницьким.

Розрахунок виконується за формулою (кВт):

$$N_B = N_O K_l K_\delta,$$

де N_O визначається за графіком, наведеним на рис. 5.1, на підставі заданого масового водотоннажності D і швидкості судна v_S ;

K_l , K_δ – коефіцієнти, які визначаються шляхом розрахунку за графіками на рис. 5.2 і 5.3.

У розрахунку буксировочної потужності судна за вказаною методу використовуються такі вихідні дані:

D – масове водотоннажність, тонн;

δ – коефіцієнт загальної повноти корпусу

$$\delta = \frac{V}{LBT},$$

де: V – об'ємна водотоннажність в вантажу, м³;

L – довжина судна між перпендикулярами, м;

B – ширина судна по міделю, м;

T – осадка по вантажну марку, м.

При необхідності визначення об'ємного водотоннажності можна використовувати вираз

$$V = \frac{D}{\rho},$$

де ρ – густина забортної води, т/м³.

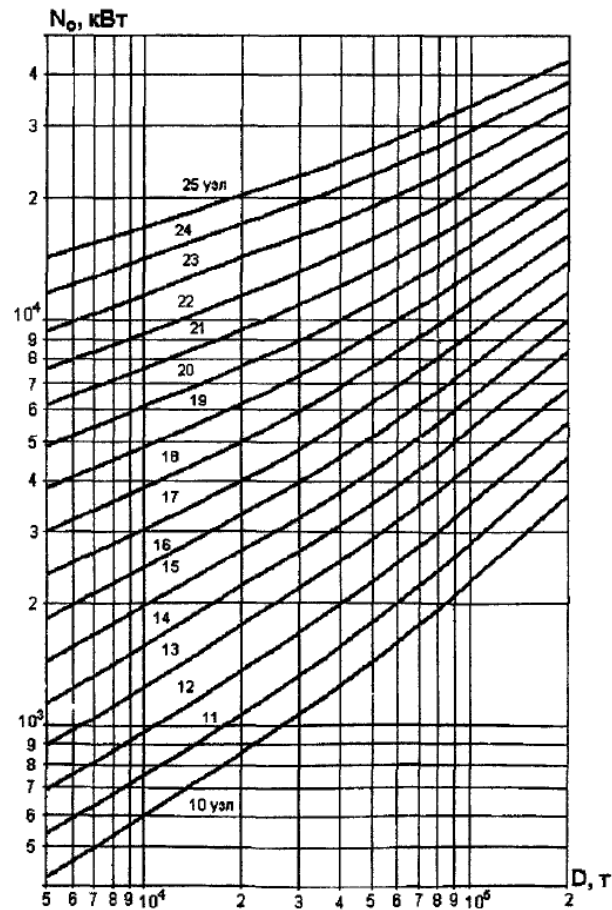


Рис. 5.1. Залежність буксировочної потужності від водотоннажності і швидкості судна

Коефіцієнти K_l , K_δ у формулі для N_B знаходяться за графіками рис. 8.2, 8.3 залежно від числа Фруда

$$Fr = \frac{\vartheta}{\sqrt{gL}},$$

і безрозмірного параметра l ,

$$l = \frac{L}{\sqrt[3]{V}},$$

де ϑ – швидкість ходу в повному вантажу в м/с, яка може бути розрахована як

$$\vartheta = 0,515v_s.$$

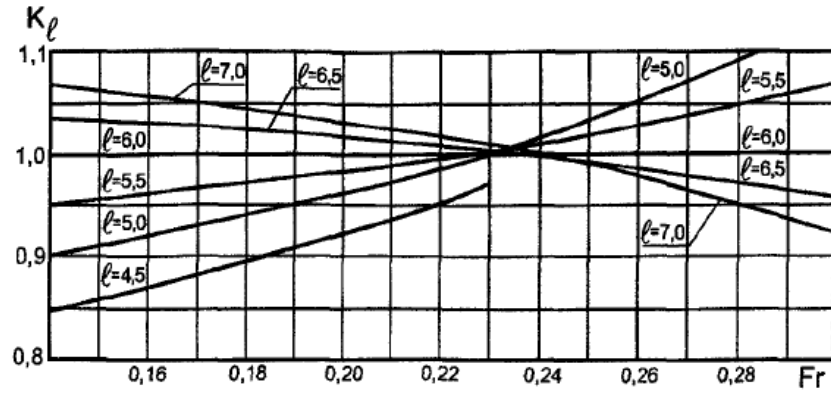


Рис. 5.2. Залежність коефіцієнта K_l від l і числа Фруда Fr

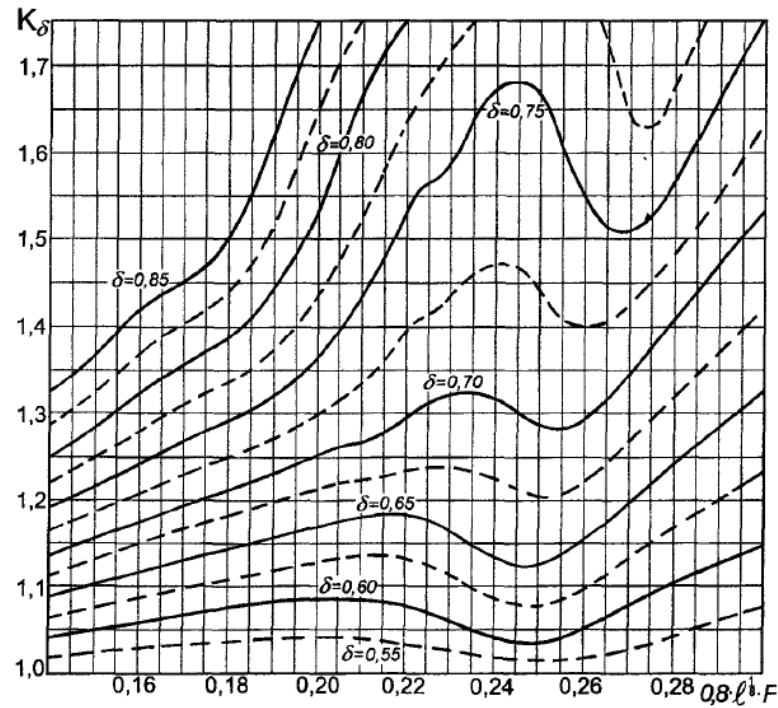


Рис. 5.3. Залежність коефіцієнта K_δ від δ і параметра $0,8l^{1/8} \cdot Fr$

Аргументом для знаходження K_δ за графіком рисунка 8.2 служить величина

$$x_\delta = 0,8l^{1/8} \cdot Fr.$$

Згідно з наведеними виразами отримаємо:

$$V = \frac{325225}{1,025} = 317293 \text{ м}^3,$$

$$\delta = \frac{317293}{316 \cdot 60 \cdot 21,05} = 0,795,$$

$$\vartheta = 0,515 \cdot 16,1 = 8,29 \text{ м/с},$$

$$Fr = \frac{8,29}{\sqrt{9,81 \cdot 316}} = 0,149,$$

$$l = \frac{316}{\sqrt[3]{325225}} = 4,60,$$

$$x_{\delta} = 0,8 \cdot 4,60^{\frac{1}{8}} \cdot 0,149 = 0,144.$$

З графіків, наведених на рис. 5.1, 5.2, 5.3 визначимо

$$N_0 = 18200 \text{ кВт};$$

$$K_l = 0,87;$$

$$K_{\delta} = 1,26.$$

Тоді

$$N_B = 18200 \cdot 0,97 \cdot 1,38 = 19951 \text{ кВт}.$$

З урахуванням значення буксировочної потужності отримаємо:

$$\eta_{o.n} = \frac{3600 \cdot 19951}{41870(4526 + 240 + 173)} = 0,347.$$

Розрахункове значення для пропульсивного ККД η_n визначається за отриманою величиною N_B і заданому значенні потужності ГД $N_{e_{гд}}$

$$\eta_n = \frac{N_B}{N_{e_{гд}}} = \frac{19951}{25480} = 0,783.$$

ВИСНОВКИ

Магістерське наукове дослідження спрямоване на розв'язання науково-прикладного завдання – підвищення ефективності функціонування систем діагностики і контролю робочого процесу дизелів суден морського та внутрішнього водного транспорту .

Однією з важливих передумов забезпечення технічної безпеки судноплавства є моніторинг параметрів судових дизелів (головних та допоміжних) у процесі їх експлуатації. Одночасно з цим візуалізація результатів, що отримані під час діагностування дизеля, за допомогою сучасних інтелектуальних систем та особливо вдосконалення передачі цих результатів до оператора та підвищення ефективності функціонування систем діагностики і контролю робочого процесу судового дизеля є нерозв'язаним завданням.

Головним науковим результатом магістерського наукового дослідження полягає у розробці рекомендації щодо покращення візуалізації результатів діагностування та контролю робочого процесу судового дизеля з безперервним відображенням та передачею цієї інформації оператору.

Основні наукові та практичні результати магістерського наукового дослідження.

1. Ефективна й безаварійна експлуатація судових двигунів внутрішнього згорання можлива за умови періодичного контролю основних параметрів робочого процесу, палива й газорозподілу.

2. Для більш інформативного діагностування стану судових дизелів доцільно використання систем комп'ютерної діагностики робочого процесу судових дизелів, дія яких спрямована на підвищення економічності, збільшення ресурсних характеристик і продовження міжремонтного періоду експлуатації дизелів.

3. Для розв'язання завдань контролю технічного стану та якості проходження робочого циклу суднових дизелів доцільно використовувати засоби технічної діагностики, які дозволяють за аналізом деяких параметрів усунути несправності, що ведуть до відмов і аварії дизеля.

4. Діагностування та контроль робочого процесу суднового дизеля є невід'ємною частиною надійної експлуатації морських та річкових суден. Однією з систем, що забезпечує виконання процесу діагностування з одночасним визначенням всіх інформативних показників робочого циклу суднового дизеля, є система моніторингу D4.0H. За допомогою цієї системи забезпечується вирівнювання потужностей по циліндрах за умови, це, як наслідок, забезпечує підвищення резерву потужності, зменшення загального рівня вібрації, зниження питомої витрати палива та підвищення моторесурсу двигуна.

5. Схеми побудови систем діагностування доцільно виконувати у модульному варіанті, за трирівневою архітектурою: первинний (нижній) рівень, рівень передачі даних та контрольно-аналітичний рівень. Це забезпечує гнучкість процесу діагностування та надає можливі вибору та зміну параметрів, що діагностуються.

6. Підвищення ефективності функціонування систем діагностики і контролю робочого процесу суднового дизеля можливо за рахунок постійної візуалізації результатів діагностування. Ця концепція реалізується у вигляді двох сучасних систем діагностування:

- PMI (Pressure Mean Indicator) – що призначена для дизелів типу MC з розподільним валом (кількість яких на сучасних судах ще більш ніж велика, та строк остаточної експлуатації деяких з них перевищує 15 років);

- CoCoS-EDS (Computer Controlled Surveillance-Engine Diagnostics System) – що призначена для дизелів ME з електронним керуванням фазами паливоподачі та газорозподілу.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Ивановский В.Г. Мониторинг рабочего процесса судовых дизелей в эксплуатации / В.Г. Ивановский, Р.А. Варбанец // Всеукр. науч.-техн. журн. – 2004. – Вып. 2. – С. 138–141.
2. Сагін С.В., Столярик Т.О. Динаміка судових дизелів під час використанні моторних мастил з різними структурними характеристиками // Автоматизація судових технічних засобів : наук. -техн. зб. – 2021. – Вип. 27. – С. 108-119. DOI: 10.31653/1819-3293-2021-1-27-108-119.
3. Sagin S.V. Decrease in mechanical losses in high-pressure fuel equipment of marine diesel engines // Materials of the International Conference “Scientific research of the SCO countries: synergy and integration” – 2019. – P. 139–145. DOI: 10.34660/INF.2019.15.36258.
4. Руснак Д.Ю., Сагін С.В. Забезпечення екологічних вимог при ультразвуковій десульфурізації вуглеводних палив // Суднові енергетичні установки: наук.-техн. зб. – 2020. – Вип. 40. – С. 49-54. DOI: 10.31653/smf340.2020.49-54.
5. Суворов П.С. Динамика дизеля в судовом пропульсивном комплексе / П.С. Суворов. – Одесса : ОНМА, 2004. – 304 с.
6. Сагін С.В., Куропятник О.А., Руснак Д.Ю., Парменова Д.Г. Зниження емісії оксидів сірки з випускними газами судових дизелів шляхом ультразвукової обробки палива // Автоматизація судових технічних засобів: наук.-техн. зб. – 2025. – Вип. 30. – Одеса: НУ"ОМА". – С. 121 – 138. DOI: 10.31653/1819-3293-2025-1-30-121-138.
7. Сагін С.В., Парменова Д.Г., Верпека А.О. Підвищення паливної економічності дизелів суден морського транспорту // Суднові енергетичні установки : науково-технічний збірник. – 2025. – Вип. 50. – С. 102-115. DOI: 10.31653/50.2025.102-115.
8. Пипченко А.Н. Эксплуатация, обслуживание и ремонт судовых двигателей MAN-B&W / А.Н. Пипченко, В.В. Пономаренко, В.А. Шевченко. – Одесса : ТЭС, 2014. – 328 с.

9. MAN Diesel instruction book for 50-108 MC/MC-C Engines, Volume I, II and III. General Edition 0001.

10. Заблоцький Ю. В. Зниження теплової напруженості суднових дизелів за рахунок використання присадок до палива / Ю. В. Заблоцький // Суднові енергетичні установки : наук.-техн. зб. Вип. 38. – Одеса : НУ «ОМА», 2018. – С. 76-87.

11. Popovskii Y.M., Sagin S.V., Khanmamedov S.A., Grebenyuk M.N., Teregerya V.V. Designing, calculation, testing and reliability of machines: Influence of anisotropic fluids on the operation of frictional components. – 1996. – Russ. Eng. Res. № 16. – P. 1–7.

12. Заблоцький Ю.В. Підвищення паливної економічності суднових дизельних установок / Ю. В. Заблоцький // Вісник Одеського національного морського університету : Зб. Наук. праць, 2020. – № 2(62). – С. 106-119. DOI 10.47049/2226-1893-2020-1-106-119.

13. Черниш І.І. Сучасні суднові дизелі : особливості конструкції, експлуатації та автоматизованого управління / І.І. Черниш, С.А. Кар'янський, Є.М. Оженко. – Одеса : НУ «ОМА», 2018. – 216 с.

14. Golikov V.A. A simple technique for identifying vessel model parameters / V.A. Golikov, V.V. Golikov, Ya. Volyanskaya, O. Mazur, O. Onishchenko // IOP Conference Series : Earth and Environmental Science. 4th International Scientific Conference SEA-CONF 2018, Published by IOP Publishing Ltd, 2018. – Vol. 172. – № 012010. – P. 1-8. – doi :10.1088/1755-1315/172/ 1/012010

15. Sagin S., Sagin A., Zablotskyi Y., Fomin O., Pišt'ek V., Kučera P. Method for Maintaining Technical Condition of Marine Diesel Engine Bearings. Lubricants. – 2025. – Vol. 13(4). – P. 146. <https://doi.org/10.3390/lubricants13040146>.

16. Побережний Р.В. Забезпечення екологічних показників дизелів суден річкового та морського транспорту / Р.В. Побережний, С.В. Сагін // Суднові енергетичні установки: наук.-техн. зб. – Вип. 41. – Одеса : НУ «ОМА». – 2020. – С. 5 - 9.

17. Сагін С.В., Заблоцький Ю.В. Діагностування технічного стану суднових енергетичних установок засобів водного транспорту // Водний

транспорт. Збірник наукових праць. – 2023. – № 2(38). – С. 164-175. doi.org/10.33298/2226-8553.2023.2.38.18.

18. Sagin S.V. Improving the performance parameters of systems fluids / S.V. Sagin // Austrian Journal of Technical and Natural Sciences, Vienna-2018. – № 7-8 (July-August). – P. 55-59. doi.org/10.29013/AJT-18-7.8-55-59

19. Богач В.М. Эксплуатационная проверка эффективности модернизированной системы смазывания цилиндров двигателей РТА / В.М. Богач, А.Н. Шебанов // Судовые энергетические установки : науч.-техн. сб. – 2016. – Вып. 36. – Одесса : ОНМА. – С. 41-49.

20. Sagin S., Haichenia O., Karianskyi S., Kuropyatnyk O., Razinkin R., Sagin A., Volkov O. Improving Green Shipping by Using Alternative Fuels in Ship Diesel Engines // Journal of Marine Science and Engineering. – 2025. – № 13. – P. 589. <https://doi.org/10.3390/jmse1303058924>.

21. Варбанец Р.А. Технологические карты научных исследований в задачах мониторинга и параметрической диагностики судовых дизелей / Р.А. Варбанец, Ю.Н. Кучеренко, В.И. Кырнац, Е.И. Жолтиков // Вестник АГТУ. Сер.: Морская техника и технология. – 2016. – № 1. – С. 47-59.

22. Сагін С.В., Сагін С.С. Використання штучного інтелекту в ситуаціях надмірного зближення суден // Водний транспорт. Збірник наукових праць. – 2024. – Вип. 1(39). – С. 215-225. doi.org/10.33298/2226-8553.2024.1.39.22.

23. Голиков В.А. Методологія наукових досліджень : навчальний посібник / В.А. Голиков, М.А. Козьмініх, О.А. Онищенко. – Одеса : ОНМА, 2014. – 164 с.

24. Сагін С.В., Сагін С.С. Визначення методу управління рухом суден морського транспорту під час забезпечення їх безпечного розходження // Водний транспорт: Збірник наукових праць. – 2023. – Вип. 2(38). – С. 187-198. doi.org/10.33298/2226-8553/2023.2.38.20.

25. Varbanets R. Analyse of marine diesel engine performance / R. Varbanets, A. Karianskiy // Journal of Polish CIMAC. Energetic Aspects. Gdansk: Faculty of Ocean Engineering and Ship Technology Gdansk University of Technology. – 2012. – Vol. 7. – № – 1. P. 269-275.

26. Сагін С.В. Зниження енергетичних втрат в прецизійних парах паливної апаратури судових дизелів // Суднові енергетичні установки : наук.-техн. зб. – 2018. – Вип. 38. – С. 132-142.

27. Сагін С.В. Зниження механічних втрат у судових середньообертових дизелях за рахунок оптимізації роботи циркуляційних систем мащення // Вісник Одеського національного морського університету : Зб. наук. праць. – 2020. – Вип. 1(61). – С. 87-96. doi.org 10.47049/2226-1893-2020-1-87-96.

28. Сагін С.В., Куропятник О.А. Визначення оптимальних режимів процесів управління випускними газами судових дизелів // Водний транспорт: Збірник наукових праць. – 2024. – Вип. 2(40). – С. 173-185. doi.org/10.33298/2226-8553.2024.2.40.16.

29. Козьминых А.В. Основы системного анализа судовых энергетических установок: учебное пособие / А.В. Козьминых. – Одесса : ОГМА, 2000. – 192 с.

30. Сагін С.В., Заблоцький Ю.В., Сагін А.С. Підвищення економічності роботи судових середньообертових дизелів // Водний транспорт. Збірник наукових праць. – 2025. – Вип. 1(42). – С. 166-179. doi.org/10.33298/2226-8553.2025.1.42.20.

31. Парменова Д.Г., Кулешов І.М., Калугін В.М. Суднові установки очищення нафтовмісних вод: нормативні вимоги, методи очищення, конструкція та експлуатація: навчальний посібник // Одеса: НУ ОМА. – 2025. – 148 с.

32. Сагін С.В., Куропятник О.А. Визначення оптимальних режимів експлуатації судових двигунів внутрішнього згорання під час використання біодизельного палива // Суднові енергетичні установки : наук.-техн. зб. – 2024. – Вип. 48. – С. 100-113. doi: 10.31653/smf48.2024.100-113.

33. Усатий М.В. Підвищення ефективності діагностики і контролю робочого процесу судового дизеля / М.В. Усатий, С.В. Сагін // Матеріали Наук.-техн. конфер. молодих дослідників "Суднові енергетичні установки: експлуатація та ремонт". – 21.11.2024. – Одеса: НУОМА. –С. 25-29.

33. Сагін С.В., Колегаєв М.О., Парменова Д.Г. Зниження ризиків інвазійного забруднення морських акваторії під час експлуатації суден морського та внутрішнього водного транспорту // Суднові енергетичні установки : науково-технічний збірник. – 2023. – Вип. 47. – Одеса : НУ «ОМА». – С. 131-147. doi: 10.31653/smf47.2023.131-147.

34. Diesel Engine Performance Analyzing System D4.0H: depas.odessa.ua // URL: http://depas.od.ua/pdf/DEPAS_Handy_brochure_rus_Print.pdf.

35. Varbanets R. Analyse of marine diesel engine performance / R. Varbanets, A. Karianskiy // Journal of Polish CIMAC. Energetic Aspects. Gdansk: Faculty of Ocean Engineering and Ship Technology Gdansk University of Technology, 2012. Vol. 7, No. 1. P. 269–275.

36. <http://www.kistler.com>, [imes.de](http://www.imes.de), [optrand.com](http://www.optrand.com)

37. Sagin S.V. Application of the system of recirculation of exhaust gases for the reduction of the concentration of nitric oxides in the exhaust gases of the ship diesels / S.V. Sagin, A.A. Kuropyatnik // American Scientific Journal, 2017. – № 15. – Iss. 2. – P. 67-71.

38. Сагін С.В., Бондар С.А., Столярик Т.О. Оцінка безвідмовності суднових дизелів за технічним станом моторного мастила циркуляційних систем мащення // Водний транспорт. – 2023. – № 1(37). – С. 59-70. doi.org/10.33298/2226-8553.2023.1.37.06.

39. Сагін С.В., Мацкевич Д.В. Оптические характеристики граничных смазочных слоев масел, применяемых в циркуляционных системах судовых дизелей // Судовые энергетические установки: науч.-техн. сб. – 2011. – № 26. – С.116-125.

40. Побережний Р.В., Сагін С.В. Забезпечення екологічних показників дизелів суден річкового та морського транспорту // Суднові енергетичні установки: наук. -техн. зб. – 2020. – Вип. 41. – С. 5-9. DOI: 10.31653/smf340.2020.5-9.

41. Варбанець Р.А. Застосування методу безградієнтної оптимізації при синхронізації даних моніторингу робочого процесу суднових дизелів / Суднові енергетичні установки : наук.-техн. зб. – 2019. – Вип. 38. – Одеса : НУ «ОМА». – С. 40-54.

42. Сагин С.В., Заблоцкий Ю.В. Влияние анизотропных жидкостей на работу узлов трения судовых дизелей // Проблемы техники: наук.-виробн. журнал. – 2012. – № 4. – С. 68-81.

43. Варбанець Р.А. Визначення параметрів робочого процесу та діагностика головних середньооборотних дизелів т/х «Griefswald» / Р.А. Варбанець, Є.В. Білоусов, В.П. Савчук, В.І. Кирнац // Двигуни внутрішнього згоряння. – 2015. – № 1. – С. 63-68.

44. Варбанець Р.А. Системы компьютерной диагностики судовых дизелей / Р.А. Варбанець // Судостроительство. 2004. № 6. С. 24–27.

45. Миусов М.В. Электронные системы управления главными судовыми двигателями : учебное пособие / М.В. Миусов, В.И. Ланчуковский, Е.М. Оженко. – Одесса: ОНМА, 2013. – 98 с.

46. Бень А.П. Системы поддержки принятия решений судоводителя для планирования трансокеанских переходов / А.П. Бень, И.В. Паламарчук, Л.А. Пивоваров // Искусственный интеллект. 2013 № 4. С. 266–272.

47. Мацкевич Д.В., Сагин С.В., Ханмамедов С.А. Изменение реологических характеристик смазочных материалов в циркуляционной масляной системе в процессе эксплуатации среднеоборотного двигателя // Судовые энергетические установки: науч.-техн. сб. – 2010. – Вып. 25. – С.109-118.

48. Заблоцкий Ю.В., Сагин А.С. Визначення динамічних навантажень під час зміни режимів мащення прецизійних пар паливної апаратури судових дизелів // Суднові енергетичні установки: наук.-техн. зб. – 2022. – Вип. 44. – С. 121-131. doi: 10.31653/smf44.2022.121-131.

49. Карьянский С.А. Двигатели MAN-B&W типа ME с электронным управлением : учебное пособие / С.А. Карьянский, Е.М. Оженко. – Одесса : НУ «ОМА», 2020. – 92 с.

50. Sagin S., Kuroyatnyk O., Matieiko O., Razinkin R., Stoliaryk T., Volkov O. Ensuring operational performance and environmental sustainability of marine diesel engines through the use of biodiesel fuel // Journal of Marine Science and Engineering. – 2024. – Vol. 12(8). – P. 1440. <https://doi.org/10.3390/jmse12081440>

51. Мадей В.В., Сагін С.В., Волков О.М. Управління процесом впорскування під час використання в судових дизелях паливних сумішей до складу яких входить паливо біологічного походження // Водний транспорт. Збірник наукових праць. – 2024. – Вип. 1(39). – С. 193-205. doi.org/10.33298/2226-8553.2024.1.39.20.

52. Сагін С.В., Куропятник О.А. Аналіз впливу біодизельного палива на екологічні та економічні показники роботи судових дизелів // Водний транспорт. Збірник наукових праць. – 2025. – Вип. 1(42). – С. 180-194. doi.org/10.33298/2226-8553.2025.1.42.21.

53. Голиков В.А. Новые тенденции в экологичности судовых энергетических установок // Судовые энергетические установки : науч.-тех. сб. – 2011. – Вып. 27. – С. 4-9.

54. Сагін С.В., Сагін А.С. Контроль та діагностування надійності та економічності дизелів морських та річкових засобів транспорту // Судові енергетичні установки: наук.-техн. зб. – 2023. – Вип. 46. – С. 118-131. doi: 10.31653/smf46.2023.118-131.

55. Сагин С.В., Поповский Ю.М., Гребенюк М.Н. Влияние ориентационной упорядоченности в граничных смазочных слоях на триботехнические характеристики узлов трения // Судовые энергетические установки: науч.-техн. сб. – 1998. – Вып. 1. – С.102-104..

56. Парменова Д.Г. Визначення відповідності суден вимогам щодо енергоефективності та скорочення викидів парникових газів: методичні вказівки до практичних занять з навчальної дисципліни «Моніторинг та виконання вимог Міжнародних морських конвенцій». – Одеса: НУ ОМА, 2025. – 44 с.

57. Сагін С.С., Сагін С.В. Забезпечення безпеки маневрування великотоннажних суден в стиснених портових водах // Водний транспорт. Збірник наукових праць. – 2024. – Вип. 3(41). – С. 208-220. doi.org/10.33298/2226-8553.2024.3.41.21.

58. Sagin S., Haichenia O., Karianskyi S., Kuropyatnyk O., Razinkin R., Sagin A., Volkov O. Improving Green Shipping by Using Alternative Fuels in Ship Diesel Engines // Journal of Marine Science and Engineering. – 2025. – № 13. – P. 589. <https://doi.org/10.3390/jmse1303058924>.