

performance of diesel engines, the use of the high-pressure exhaust gas recirculation method on ships of maritime and inland waterway transport has broad prospects, since its use ensures the fulfillment of international requirements for the protection of the ambient air from pollution and contributes to the maintenance of the environmental safety of ships and their power plants.

Keywords: diesel engine efficiency, diesel engine power, environmental friendliness of diesel engines, environmental safety, exhaust gas recirculation, marine diesel, maritime transport, nitrogen oxide emissions, specific fuel consumption.

УДК 629.5

doi.org/10.33298/2226-8553.2024.3.41.15

Сагін С.В., Заблоцький Ю.В.

ВИКОРИСТАННЯ ІНТЕГРОВАНІХ ДІАГНОСТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ОЦІНКИ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ХАРАКТЕРИСТИК СУДНОВОГО ПРОПУЛЬСИВНОГО КОМПЛЕКСУ

Розглянута питання щодо використання інтегрованих діагностичних моделей для оцінки експлуатаційних характеристик суднового пропульсивного комплексу. Визначено, що в даний час домінуюче становище на ринку морських і річкових перевезень займають судна з дизельними енергетичними установками, серед яких найбільш ефективні установки на основі суднових пропульсивних комплексів з прямою головною передачею в складі головного двигуна і гребного гвинта фіксованого кроку. Незважаючи на масштабність наукових розробок у зазначеній вище сфері досліджень, питання забезпечення експлуатаційних характеристик суднового пропульсивного комплексу потребують подальшого дослідження з метою визначення оптимальних показників, за якими більш доцільно виконувати їх діагностування та оцінювання. Зазначено, що особливості інженерної практики для систем реального часу полягають у побудові найпростіших, але ефективних моделей керованих процесів. Складність моделі визначається необхідністю швидкого аналізу як реального часу і максимально допустимої затримкою реакції об'єкта управління. Використання інтегрованих діагностичних моделей управління є ключовим у формуванні моделей, що поєднують суперечливі вимоги ефективності та якості управління. Інтегровані моделі здатні точно оцінювати та відновлювати параметри об'єкта управління з необхідною точністю для прийняття якісних управлінських рішень. Визначено, що робота дизеля у пропульсивному комплексі на сталих режимах за умовою різному використанні установки потребує всебічної уваги. Різноманіття можливих режимів та навантажень на яких здійснює роботу головний двигун, висуває спеціальні умови, що до їх експлуатації з максимальною енергетичною, економічною та екологічною ефективністю. При цьому для кожного з експлуатаційного режиму існують переважні параметри, контроль, діагностування та управління якими у першу чергу впливає на ефективність та надійність експлуатації суднового пропульсивного комплексу. Запропоновано як найбільш доцільний та переважний в порівнянні з іншими методами в цьому випадку використовувати інтегровані діагностичні моделі.

Ключові слова: діагностування, експлуатаційні характеристики, ефективна потужність, інтегрована діагностична модель, морський транспорт, навантаження, передача потужності, рух судна, судновий дизель, судновий пропульсивний комплекс.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями. В даний час домінуюче становище на ринку морських і річкових перевезень займають судна з дизельними енергетичними установками (ДЕУ) [1, 2]. З великою

ймовірністю такий стан збережеться і на найближчу перспективу. Серед ДЕУ найбільш ефективні установки на основі суднових пропульсивних комплексів (СПК) з прямою головною передачею в складі головного двигуна (ГД) і частіше гребного гвинта фіксованого кроку (ГФК) [3-5]. Вхідним параметром такого СПК як єдиного об'єкта управління є відносне положення органу управління подачею палива ГД h/h_n , де h і h_n – переміщення органу управління подачею палива на деякому частковому і на номінальному режимах роботи ГД, а вихідним – відносна частота обертання ГФК n/n_n , де n і n_n – частота обертання гребних гвинтів на деякому частковому і на номінальному режимах роботи [6-8].

Робота ГД відбувається при різному використанні установки, наприклад за умови зміни водотоннажності, на швартовах, в парціальному режимі, під час зміни зовнішніх умов (під час руху в умовах мілководдя, в штормових умовах, у випадку обростання корпусу судна і т.і.) [9-11].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В напрямку підвищення ефективності суднових енергетичних установок (СЕУ) варто відзначити високий рівень досягнень. При цьому зокрема вивчалися: алгоритм оперативного оптимального управління навантаженням суднового ГД двигуна з урахуванням гідрометеорологічних умов мореплавання [12, 13], метод оптимального призначення швидкісних режимів СПК [14-16]; принципи побудови регресійних емпіричних моделей СПК з визначенням функції зв'язку вихідних змінних з вхідною за даними експериментальних досліджень [17, 18].

Формулювання цілей статті. Незважаючи на масштабність наукових розробок у зазначеній вище сфері досліджень, питання забезпечення експлуатаційних характеристик суднового пропульсивного комплексу потребують подальшого дослідження з метою визначення оптимальних показників, за якими більш доцільно виконувати їх діагностування та оцінювання.

Виклад основного матеріалу. Сучасне судно є складним інженерним спорудженням, яке об'єднало в себе досягнення науки і практики ХХ століття, та яке виконує різні функції у взаємодії з іншими суднами і портовими об'єктами. Центральний елемент в структурі системи «судно» (рис. 1) – СЕУ. ГД СЕУ, передача, гвинт і корпус судна складають СПК, схема якого показана на рис. 2.

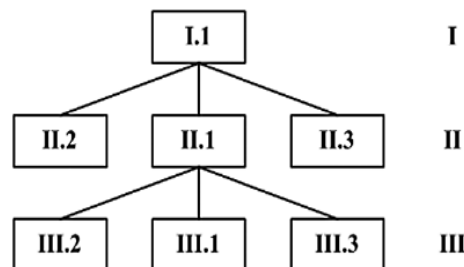


Рисунок 1 – Структура системи «судно»:

I, II, III – рівні системи; I.1 – судно; П.1 – СЕУ; П.2 – навігаційне обладнання;

П.3 – палубні механізми; Ш.1 – ГД; Ш.2 – парогенератор;

Ш.3 – дизель / турбо -генератор

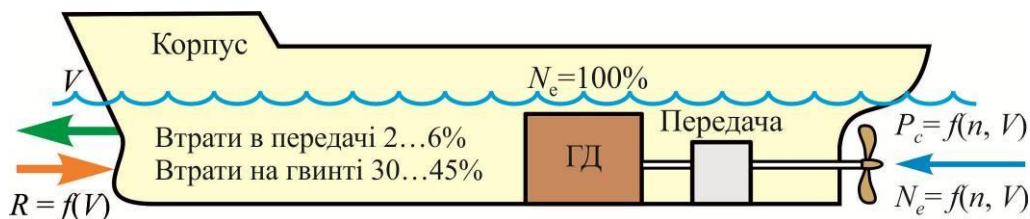


Рисунок 2 – Судновий пропульсивний комплекс

З теорії корабля відомо, що результатом взаємодії елементів СПК є гвинтова характеристика $N_e = f(n)$, де N_e – ефективна потужність, n – частота обертання гребного гвинта.

Форма гвинтовий характеристики залежить від опору руху судна $R = f(V)$, де V – швидкість руху, а також від опору на гребний гвинт $P_c = f(n, V)$. Під час збільшення опору (обростання

корпусу судна, погіршення стану моря і т.і.) для підтримки постійної швидкості судна ($V=\text{const}$) збільшення потужності гребного гвинта відбувається відповідно до його власних характеристик і далеко не пропорційно збільшенню опору корпусу R . З іншого боку, збільшення потужності ГД N_e відбувається за його власними характеристиками і призводить до збільшення питомої витрати палива. У зв'язку з цим оцінка роботи СПК не може бути виконана без аналізу власних характеристик корпусу, гвинта, двигуна і побудови характеристик їх взаємодії. Результатом поєднання характеристик корпусу, гвинта і двигуна є паспортна діаграма СПК [19, 20].

У складі СПК роботу ГД і ГФК на сталих режимах відображають швидкісні характеристики: ГД – зовнішні, регуляторні та обмежувальні, а ГФК – гвинтові. На рис. 3 представлена графічна ілюстрація цих залежностей, які відображають роботу його СПК в різних умовах експлуатації, а саме:

- в штатних (які прийнято також називати нормальними або розрахунковими) – нормальна, або штатна характеристика (крива H);
- в більш легких, ніж штатні, наприклад при ході судна в баласті, – баластних, або легка характеристика (крива B), яка розташовується вище нормальної;
- в більш важких, ніж штатні, наприклад при розгоні судна, – розгінна, або важка характеристика (крива P), яка розташовується нижче нормальної;
- при нерухомому судні, наприклад при рушанні його з місця або при роботі на швартових, – стартова, або гранично важка характеристика (крива C).

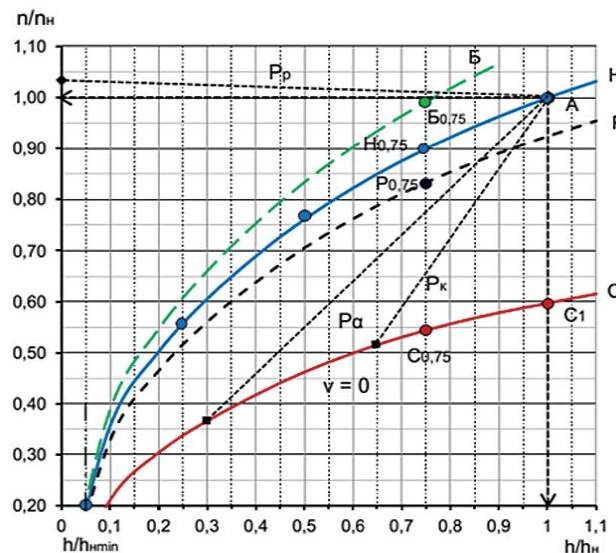


Рисунок 3 – Характеристики СПК (H – нормальна, або штатна;

B – баластна, або легка; P – розгінна, або важка; C – стартова або гранично важка) і обмежувальні характеристики ГД по механічній (P_k) і теплової (P_a) напруженості і по частоті обертання (P_p)

Важлива властивість діаграми: при одній і тій же подачі палива ординати діаграми між стартовою та іншими (баластною, або штатною, або розгінною) характеристиками в певній пропорції відображають швидкості руху суден у відповідних умовах експлуатації. Сукупність побудованих характеристик визначає область безпечних режимів роботи СПК і дозволяє обґрунтувати важливі пускові і експлуатаційні параметри роботи СПК і суден.

У сталих режимах роботи потужність ГД повинна забезпечувати створення необхідного упору для отримання заданої судну швидкості. Зрозуміло, контрольні випробування СПК повинні суворо відповідати режимним умовам ходових випробувань новозбудованого судна. При цьому всі випробування повинні виконуватися за умовою забезпечення експлуатаційних характеристик судового пропульсивного комплексу, перш за все екологічних, економічних та енергетичних. Реалізація цього завдання можлива шляхом вимірювань і контролю визначальних параметрів

елементів СПК [21]. Блок схема контролю технічного стану пропульсивного комплексу показана на рис. 4.

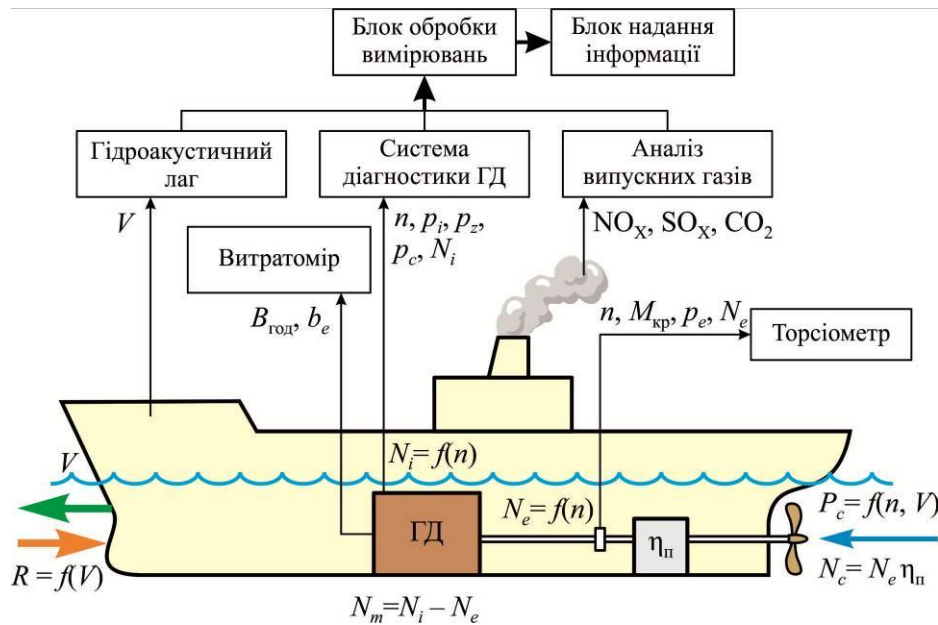


Рисунок 4 – Блок схема контролю експлуатаційних характеристик суднового пропульсивного комплексу

Особливості інженерної практики для систем реального часу полягають у побудові найпростіших, але ефективних моделей керованих процесів. Складність моделі визначається необхідністю швидкого аналізу як реального часу і максимально допустимої затримкою реакції об'єкта управління. Однак вимога підвищення якості управління посилює допустимі відхилення процесу від заданих значень, що потребує складніших моделей управління. Сучасні мікроконтролерні системи дозволяють реалізувати складні моделі та процеси управління.

Використання інтегрованих діагностичних моделей управління є ключовим у формуванні моделей, що поєднують суперечливі вимоги ефективності та якості управління. Інтегровані моделі здатні точно оцінювати та відновлювати параметри об'єкта управління з необхідною точністю для прийняття якісних управлінських рішень. Таким чином, інтегровані моделі управління відіграють важливу роль, оскільки дозволяють підвищити ефективність управління за рахунок використання складних моделей та даних. У процесі управління можна використовувати невизначені, нечіткі та експертні дані. Це доводить необхідність застосування інтегрованих методів управління. Наприклад, у судових дизелях фірми Wartsila-Sulzer для діагностики та моніторингу використовуються системи, що базуються на експертних знаннях. Математичне моделювання процесів інтегрованого управління дозволяє точніше визначити стратегію управління та приймати обґрунтовані рішення [22].

Точним математичним формулюванням принципу інтегрованого управління при виборі способів управління може бути наступна цільова функція:

$$W_{\text{Int}}^\gamma = W_{\text{Int}}^\gamma(t, \gamma, r, \tau),$$

де t – період діагностування;

γ – вектор характеристик чи параметрів діагностування;

$r=r(t, \tau)$ – градієнт поширення характеристик;

$\tau=\tau(\gamma)$ – мінімальний проміжок часу, протягом якого відбувається моніторинг характеристик чи параметрів діагностування.

Вивчення та аналіз верхнього індексу « γ », який вказує на зміну цільової функції у часі та можливу зміну її виду залежно від умов роботи двигуна. Важливо вибрати конкретний управляючий вектор r із заданої безлічі можливих управлінь $r=r(t, \tau)$, враховуючи умови прийняття рішення та допустимий інтервал попередження. Основне завдання полягає у виборі вектора управління $r=r(t, \tau)$ таким чином, щоб цільова функція в поточний момент часу t приймала максимально можливе значення:

$$r(t, \tau) = \gamma_{\text{Int}}(t, \gamma, r, \tau) \max.$$

Що стосується суднового дизеля, критерій W_{Int}^{γ} є комплексним цільовим критерієм, який враховує як показники економічності роботи суднового дизеля в різних умовах, так і експлуатаційні та екологічні показники. Функція W_{Int}^{γ} може змінюватися в залежності від різних факторів: гідрометеорологічних (температура та вологість повітря, хвилювання моря, сила та напрям вітру), топографічних (глибина під кілем, відстань до берега), експлуатаційних (технічний стан дизеля та суднової енергетичної установки, а також характеристик палива, олії та охолоджувальної води).

Використання принципу інтегрованого управління передбачає, що вибір оптимальної стратегії управління відбувається на основі поточної інформації та прогнозів на обмежений період часу. Це дозволяє врахувати можливі помилки в прогнозах і адаптувати стратегію відповідно до умов, що змінюються. Оптимальна стратегія управління вибирається з урахуванням мети, яка може бути виражена через цільову функцію W_{Int}^{γ} і являє собою набір можливих стратегій, які можуть бути використаними для її досягнення. Використовуючи принцип інтегрованого управління, вибирається стратегія, що забезпечує найбільше значення функції ефективності на поточному наборі допустимих стратегій. Важливо враховувати, що принцип інтегрованого управління дозволяє врахувати помилки прогнозування та адаптуватися до умов, що змінюються. Він дозволяє вибрати стратегію управління, що забезпечує найкраще значення функції ефективності з урахуванням поточних даних, і прогнозів. Ця функція може включати різні параметри і показники, які необхідно максимізувати або мінімізувати. Проте, слід зазначити, що застосування концепції інтегрованого управління яка завжди гарантує знаходження оптимального рішення. Вона може бути обмежена доступною інформацією, часом та ресурсами. Тому важливо оцінювати ефективність та результати використання інтегрованого управління та за необхідності коригувати підходи для досягнення кращих результатів [23].

Основні способи забезпечення інтегрованого управління визначаються теорією автоматичного управління, при цьому виділяються чотири основні властивості об'єкта та системи управління, які визначають можливості проведення керуючих процесів: спостережуваність, ідентифікованість, керованість та адаптованість.

Поняття спостережуваності означає як здатність прямого виміру параметрів і характеристик керованого об'єкта, але також здатність визначення значень з урахуванням виміру інших характеристик та використання заздалегідь відомої інформації.

Ідентифікованість означає здатність визначення характеристик математичної моделі системи або процесу на основі даних, отриманих із ряду вихідних значень протягом певного часового інтервалу.

Керованість – це здатність системи змінювати свій стан за допомогою певних керуючих впливів.

Під інтегрованим керуванням розуміється здатність змінювати параметри керування відповідно до змін параметрів об'єкта управління або впливу зовнішніх збурень на даний об'єкт. Розглянемо ці характеристики в контексті управління судновими двигунами.

Спостережуваність – всі технічні характеристики двигуна, параметри та характеристики палива, мастила, повітря, і випускних газів вимірюються з необхідною точністю. Параметри, зовнішні щодо двигуна, але які можуть вплинути на його роботу:

погодні властивості – шторм, температура, сила вітру;

показники вантажу – вага, розташування на борту;
морські умови – глибина під кілем, наявність течій повинні бути вимірні або досить передбачувані.

Ідентифікованість – існують математичні моделі, що описують функціональні процеси компонентів двигуна без електронних систем інтегрованого управління. Однак використання інтегрованого управління вносить суттєві зміни до цих рівнянь. Таким чином, ідентифікованість частково виконується за наявності інтегрованої системи управління судновим дизелем.

Основна мета електронної інтегрованої системи – підвищити керованість двигуна. Принципи, що організують роботу інтегрованої системи, можна поділити на два:

1) якість результатів оцінюється тим, наскільки близький стан об'єкта управління до деякого бажаного стану;

2) щодо заданій функції, яка називається еталонною, якість результатів оцінюється тим, наскільки фактична залежність вихідного сигналу від вхідного сигналу збігається з еталонною функцією.

Обидва підходи використовують у процесах управління судновими дизелями. Якщо перед судном стоїть завдання забезпечити заздалегідь заданий кінцевий результат (наприклад, досягти певної точки до певного часу), краще використовувати перший підхід. Якщо судну необхідно виконати поставлене завдання і забезпечити найбільш сприятливий режим руху, включаючи роботу головних і допоміжних суднових двигунів, то кращим може виявитися підхід, заснований на еталонній моделі. Особливістю інтегрованої системи управління є можливість використання обох принципів, причому один з них може бути замінений іншим залежно від поставлених завдань.

Висновки. Робота дизеля у пропульсивному комплексі на сталих режимах при різному використанні установки потребує всебічної уваги. Різноманіття можливих режимів та навантажень на яких здійснює роботу ГД, висуває спеціальні умови, що до їх експлуатації з максимальною енергетичною, економічною та екологічною ефективністю. При цьому для кожного з експлуатаційного режиму існують переважні параметри, контроль, діагностування та управління якими у першу чергу впливає на ефективність та надійність експлуатації СПК. Найбільш доцільним та переважним в порівнянні з іншими методами в цьому випадку є інтегровані діагностичні моделі.

ЛІТЕРАТУРА

1. Тимошук О.М., Боріна М.В. Дослідження методів підвищення екологічності суднових енергетичних установок у водному середовищі // Водний транспорт. Збірник наукових праць. – 2022. – Вип. 2(36). – С. 240-252. doi.org/10.33298/2226-8553.2022.2.36.21.
2. Дакі О.А., Пліта Л.Л., Трофименко І.В., Федунів В.М. Особливості та вимоги щодо навігаційного забезпечення безпеки судноводіння на внутрішніх судноплавних шляхах // Водний транспорт. Збірник наукових праць. – 2022. – Вип. 2(36). – С. 184-194. doi.org/10.33298/2226-8553.2022.2.36.15.
3. 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.
4. 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.
5. Sagin S.V., Sagin S.S., Madey V. Analysis of methods of managing the environmental safety of the navigation passage of ships of maritime transport // Technology Audit and Production Reserves. – 2023. – № 4 (3(72)). – Р. 33–42. doi: https://doi.org/10.15587/2706-5448.2023.286039.
6. Тимошук О.М., Дакі О.А., Бойко О.А., Карадобрій Т.А. Аналітичний огляд адаптивних систем керування судном та шляхи їх побудови // Водний транспорт. Збірник наукових праць. – 2020. – Вип. 3(31). – С. 120-125. https://doi.org/10.33298/2226-8553/2020.3.31.13.

7. Левченко О.В. Синтез варіантів дій судноводія у небезпечних ситуаціях з урахуванням часових та ресурсних обмежень у суднових СППР // Водний транспорт: Збірник наукових праць. – 2021. – Вип. 3(34). – С. 89-98. doi.org/10.33298/2226-8553/2021.3.34.10.
8. Тимочко О.І., Левченко О.В., Руденко В.М., Сітков О.М. Використання гібридних роботизованих комплексів для інспекції морських нафтогазових об'єктів // Водний транспорт: Збірник наукових праць. – 2024. – Вип. 2(40). – С. 6-22. doi.org/10.33298/2226-8553.2024.2.40.01.
9. Тимошук О.М., Мельник О.В. Аналіз можливості використання маневру розходження зміною курсу // Водний транспорт. Збірник наукових праць. – 2023. – Вип. 1(37). – С. 96-102. doi.org/10.33298/2226-8553.2023.1.37.10.
10. Поповский А.Ю., Сагин С.В. Оценка эксплуатационных свойств смазочно-охлаждающих жидкостей судовых технических средств // Автоматизация судовых технических средств: науч.-техн. сборник. – 2016. – Вып. 22. – С. 66-74.
11. 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.
12. Sagin S., Sagin A. Development of method for managing risk factors for emergency situations when using low-sulfur content fuel in marine diesel engines // Technology Audit and Production Reserves. – 2023. – № 5 (1(73)). – P. 37–43. doi: https://doi.org/10.15587/2706-5448.2023.290198.
13. Levinskyi M. Automatic diagnostic of marine diesel generator lubricating oil condition // Автоматизація суднових технічних засобів: наук.-техн. зб. – 2023. – Вип. 28. – Одеса: НУ «ОМА». – С. 106-120. DOI: 10.31653/1819-3293-2023-1-28-106-120
14. Сагин 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.
15. Зверьков Д.О., Сагін С.В. Зниження механічних втрат у суднових дизелях // Суднові енергетичні установки : наук.-техн. зб. – 2020. – Вип. 40. – С. 20-25. DOI : 10.31653/smf341.2020.20-25.
16. Petrychenko O. Levinskyi M., Prytula D., Vynohradova A. Fuel options for the future: a comparative overview of properties and prospects // Transport Systems and Technologies. – 2023. – № 41. – P. 96-106. https://doi.org/10.32703/2617-9059-2023-41-8.
17. Sagin S.V., Sagin S.S., Fomin O., Gaichenia O., Zablotskyi Y., Píšťek V., Kučera P. Use of biofuels in marine diesel engines for sustainable and safe maritime transport // Renewable Energy. – 2024. – Vol. 224. – P. 120221. https://doi.org/10.1016/j.renene.2024.120221.
18. Petrychenko O. Levinskyi M. Trends and preconditions for widespread adoption of liquefied natural gas in maritime transport // Transport Systems and Technologies. – 2024. – № 43. – P. 21-36. https://doi.org/10.32703/2617-9059-2024-43-2.
19. Sagin S., Kuropyatnyk O., Sagin A., Tkachenko I., Fomin O., Píšťek V., Kučera P. Ensuring the Environmental Friendliness of Drillships during Their Operation in Special Ecological Regions of Northern Europe // Journal Marine Science and Engineering. – 2022. – 10(9), 1331. https://doi.org/10.3390/jmse10091331.
20. Sagin S., Kuropyatnyk O., Tkachenko I. Ensuring the environmental friendliness of marine diesel engines of specialized ships // Суднові енергетичні установки : науково-технічний збірник. – 2022. – Вип. 45. – Одеса : НУ «ОМА». – С. 5-16. doi: 10.31653/smf45.2022.5-16.
21. Sagin S.V., Kuropyatnyk O.A., Zablotskyi Yu.V. Gaichenia O.V. Supplying of Marine Diesel Engine Ecological Parameters // Nase More : International Journal of Maritime Science & Technology. – 2022.– Vol.69. – Iss.1. – P. 53-61. DOI 10.17818/NM/2022/1.7.
22. Куропятник А. А., Сагин С.В. Управление выпускными газами судовых дизелей для обеспечения экологических показателей // Автоматизация судовых технических средств : науч.-техн. сборник, 2018. – Вып. 24. – С. 72-80.

23. Sagin S.V., Karianskyi S., Sagin S.S., Volkov O., Zablotskyi Y., Fomin O., Píšťek V., Kučera P. Ensuring the safety of maritime transportation of drilling fluids by platform supply-class vessel // *Applied Ocean Research*, 2023. – Vol. 140. 103745. <https://doi.org/10.1016/j.apor.2023.103745>.

REFERENCES

1. Tymoshchuk O., Borina M. Research of methods of enhancing the environmental facility of ship power plants in the aquatic environment // *Water transport*. – 2022. – № 2(36). – P. 240-252. [Doi.org/10.33298/2226-8553.2022.2.36.21](https://doi.org/10.33298/2226-8553.2022.2.36.21).
2. Daki O.A., Plita L.L., Trofymenko I.V., Fedunov V.M. Feature and requirements for navigational safety of navigation on inland waterways // *Water transport*. – 2022. – № 2(36). – P. 184-194. [Doi.org/10.33298/2226-8553.2022.2.36.15](https://doi.org/10.33298/2226-8553.2022.2.36.15).
3. Sagin S.S., Sagin S.V. Use of artificial intelligence in the situations of excessive vessels approaching // *Water Transport*. – 2024. – №. 1(39). – P. 215-225. [Doi.org/10.33298/2226-8553.2024.1.39.22](https://doi.org/10.33298/2226-8553.2024.1.39.22).
4. Sagin S.V., Sagin S.S., Determination of the method of controlling the movement of marine transport vessels while ensuring their safe divergences // *Water transport*. – 2023. – № 2(38). – C. 187-198. [Doi.org/10.33298/2226-8553/2023.2.38.20](https://doi.org/10.33298/2226-8553/2023.2.38.20).
5. Sagin S.V., Sagin S.S., Madey V. Analysis of methods of managing the environmental safety of the navigation passage of ships of maritime transport // *Technology Audit and Production Reserves*. – 2023. – № 4 (3(72)). – P. 33–42. [Doi: https://doi.org/10.15587/2706-5448.2023.286039](https://doi.org/10.15587/2706-5448.2023.286039).
6. Tymoshchuk O., Daki O., Boyko O., Karadobriy T. Analytical Inspection of adaptive vessel control systems and ways of their construction // *Water Transport*. – 2020. – № 3(31). – P. 120-125. [Doi.org/10.33298/2226-8553/2020.3.31.13](https://doi.org/10.33298/2226-8553/2020.3.31.13).
7. Levchenko O. Synthesis of vessels' options in dangerous situations taking into account time and resource restrictions in vessel DSS. // *Water transport*. – 2021. – № 3(34). – P. 89-98. [Doi.org/10.33298/2226-8553/2021.3.34.10](https://doi.org/10.33298/2226-8553/2021.3.34.10).
8. Tymochko O.I., Levchenko O.V., Rudenko V.M., Sitkov O.M. Use of hybrid robotic complex for inspection of marine oil and gas facilities // *Water transport*. – 2024. – Vol. 2(40). – P. 6-22. [Doi.org/10.33298/2226-8553.2024.2.40.01](https://doi.org/10.33298/2226-8553.2024.2.40.01).
9. Tymoshchuk O., Melnyk O. Analysis of the possibility of using the divergence maneuver by changing the course // *Water Transport: Collection of scientific works*. – 2023 – № 1(37). – P.96-102. [Doi.org/10.33298/2226-8553.2023.1.37.10](https://doi.org/10.33298/2226-8553.2023.1.37.10).
10. Popovskii A.Y., Sagin S.V. Evaluation of operational properties of lubricating and cooling liquids of marine technical equipment // *Automation of ship technical facilities*. – 2016. – Vol. 22. – P. 66-74.
11. Matskevych D.V., Sagin S.V., Hanmamedov S.A. Changes in the rheological characteristics of lubricants in the circulating oil system during operation of a medium-speed engine // *Ship power plants*. – 2010. – Vol. 25. – P. 109-118.
12. Sagin S., Sagin A. Development of method for managing risk factors for emergency situations when using low-sulfur content fuel in marine diesel engines // *Technology Audit and Production Reserves*. – 2023. – № 5 (1(73)). – P. 37–43. [Doi: https://doi.org/10.15587/2706-5448.2023.290198](https://doi.org/10.15587/2706-5448.2023.290198).
13. Levinskyi M. Automatic diagnostic of marine diesel generator lubricating oil condition // *Automation of ship technical facilities*. – 2023. – №. 28. – P. 106-120. DOI: 10.31653/1819-3293-2023-1-28-106-120
14. Sagin S.V., Matskevych D.V. Optical characteristics of boundary lubricating layers of oils used in circulation systems of marine diesel engines // *Ship power plants*. – 2011. – Vol. 26. – P. 116-125.
15. Zverkov D.O., Sagin S.V. Reduction of mechanical losses in marine diesel engines // *Ship power plants*. – 2020. – Vol. 40. – P. 20-25. DOI : 10.31653/smf341.2020.20-25.
16. Petrychenko O. Levinskyi M., Prytula D., Vynohradova A. Fuel options for the future: a comparative overview of properties and prospects // *Transport Systems and Technologies*. – 2023. – № 41. – P. 96-106. <https://doi.org/10.32703/2617-9059-2023-41-8>.

17. Sagin S.V., Sagin S.S., Fomin O., Gaichenia O., Zablotskyi Y., Píšťek V., Kučera P. Use of biofuels in marine diesel engines for sustainable and safe maritime transport // *Renewable Energy*. – 2024. – Vol. 224. – P. 120221. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2024.120221>.
18. Petrychenko O. Levinskyi M. Trends and preconditions for widespread adoption of liquefied natural gas in maritime transport // *Transport Systems and Technologies*. – 2024. – № 43. – P. 21-36. <https://doi.org/10.32703/2617-9059-2024-43-2>.
19. Sagin S., Kuropyatnyk O., Sagin A., Tkachenko I., Fomin O., Píšťek V., Kučera P. Ensuring the Environmental Friendliness of Drillships during Their Operation in Special Ecological Regions of Northern Europe // *Journal Marine Science and Engineering*. – 2022. – Vol. 10(9). – P. 1331. <https://doi.org/10.3390/jmse10091331>.
20. Sagin S., Kuropyatnyk O., Tkachenko I. Ensuring the environmental friendliness of marine diesel engines of specialized ships // *Ship power plants*. – 2022. – Vol. 45. – P. 5-16. Doi: 10.31653/smf45.2022.5-16.
21. Sagin S.V., Kuropyatnyk O.A., Zablotskyi Yu.V. Gaichenia O.V. Supplying of Marine Diesel Engine Ecological Parameters // *Nase More : International Journal of Maritime Science & Technology*. – 2022. – Vol. 69. – Iss.1. – P. 53-61. DOI 10.17818/NM/2022/1.7.
22. Kuropyatnyk O.O., Sagin S.V. Controlling the exhaust gases of marine diesel engines to ensure environmental performance // *Automation of ship technical facilities*. – 2018. – № 24. – P. 72-80.
23. Sagin S.V., Karianskyi S., Sagin S.S., Volkov O., Zablotskyi Y., Fomin O., Píšťek V., Kučera P. Ensuring the safety of maritime transportation of drilling fluids by platform supply-class vessel // *Applied Ocean Research*, 2023. – Vol. 140. 103745. <https://doi.org/10.1016/j.apor.2023.103745>.

Sagin S.V., Zablotskyi Y.V.

USE OF INTEGRATED DIAGNOSTIC MODELS TO ASSESS THE OPERATIONAL CHARACTERISTICS OF A SHIP'S PROPULSION SYSTEM

The issue of using integrated diagnostic models to assess the operational characteristics of a ship's propulsion complex is considered. It is determined that currently the dominant position in the market of sea and river transportation is occupied by vessels with diesel power plants, among which the most effective installations are based on ship propulsion complexes with direct main transmission as part of the main engine and fixed-pitch propeller. Despite the scale of scientific developments in the above-mentioned field of research, the issues of ensuring the operational characteristics of a ship's propulsion complex require further research in order to determine the optimal indicators by which it is more expedient to perform their diagnostics and evaluation. It is noted that the features of engineering practice for real-time systems consist in building the simplest but effective models of controlled processes. The complexity of the model is determined by the need for rapid analysis of both real-time and the maximum permissible delay in the response of the control object. The use of integrated diagnostic control models is key in the formation of models that combine the conflicting requirements of efficiency and quality of control. Integrated models are able to accurately estimate and restore the parameters of the control object with the necessary accuracy for making high-quality management decisions. It is determined that the operation of a diesel engine in a propulsion complex in stable modes under the condition of different use of the installation requires comprehensive attention. The variety of possible modes and loads under which the main engine operates puts forward special conditions for their operation with maximum energy, economic and environmental efficiency. At the same time, for each of the operating modes there are preferred parameters, control, diagnostics and management of which primarily affect the efficiency and reliability of the operation of the ship's propulsion complex. It is proposed to use integrated diagnostic models as the most appropriate and preferable in comparison with other methods in this case.

Keywords: diagnostics, effective power, integrated diagnostic model, load, maritime transport, operational characteristics, power transmission, ship diesel, ship motion, ship's propulsion complex.