

10.31653/smf49.2024.41-53

Колегаєв М.О., Побережний Р.В.

Національний університет «Одеська морська академія»

ОЦІНКА ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ХАРАКТЕРИСТИК СУДНОВОГО ПРОПУЛЬСІВНОГО КОМПЛЕКСУ

Постановка проблеми в загальному вигляді. 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 відношення 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 [12-15], метод оптимального призначення швидкісних режимів СПК [16-20]; принципи побудови регресійних емпіричних моделей СПК з визначенням функції зв'язку вихідних змінних з вхідною за даними експериментальних досліджень [21-24].

Постановка завдання. Незважаючи на масштабність наукових розробок у зазначеній вище сфері досліджень, питання забезпечення експлуатаційних характеристик суднового пропульсивного комплексу потребують подальшого дослідження з метою визначення оптима-

льних показників, за якими більш доцільно виконувати їх діагностування та оцінювання.

Виклад основного матеріалу дослідження. 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 [25, 26]. Центральний елемент в структурі системи «судно» (рис. 1) – СЕУ. ГД СЕУ, передача, гвинт і корпус судна складають СПК, схема якого показана на рис. 2.

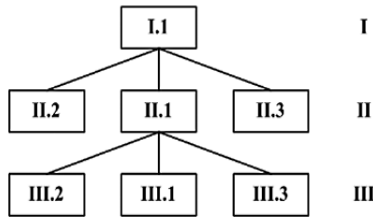


Рис. 1. Структура системи «судно»:

I, II, III – рівні системи; I.1 – судно; II.1 – СЕУ; II.2 – навігаційне обладнання; II.3 – палубні механізми; III.1 – ГД; III.2 – парогенератор; III.3 – дизель / турбо-генератор

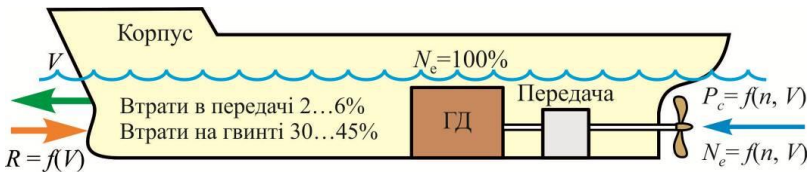


Рис. 2. Судновий пропульсивний комплекс

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 [27, 28].

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 [29-31].

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) [32-36].

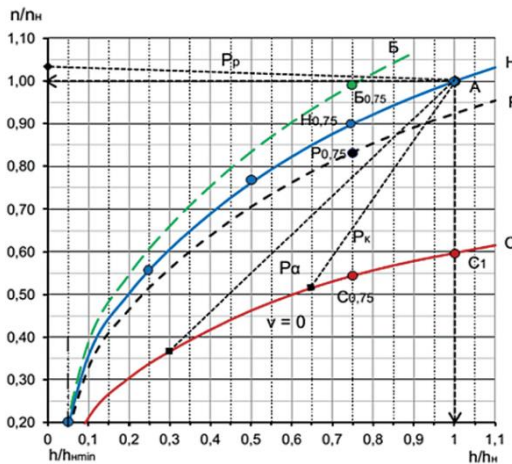


Рис. 3. Характеристики СПК (H – нормальна, або штатна; B – баластна, або легка; P – розгінна, або важка; C – стартова або гранично важка) і обмежувальні характеристики ГД по механічній (P_k) і тепловій (P_{α}) напруженості і по частоті обертання (P_p)

Важлива властивість діаграми: при одній і тій же подачі палива ординати діаграми між стартовою та іншими (баластної, або штатної, або розгінної) 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 суднового пропульсивного комплексу, перш за все екологічних, економічних та енергетичних. Реалізація цього завдання можлива шляхом вимірювань і контролю визначальних параметрів елементів СПК [37, 38]. Блок схема контролю технічного стану пропульсивного комплексу показана на рис. 4.

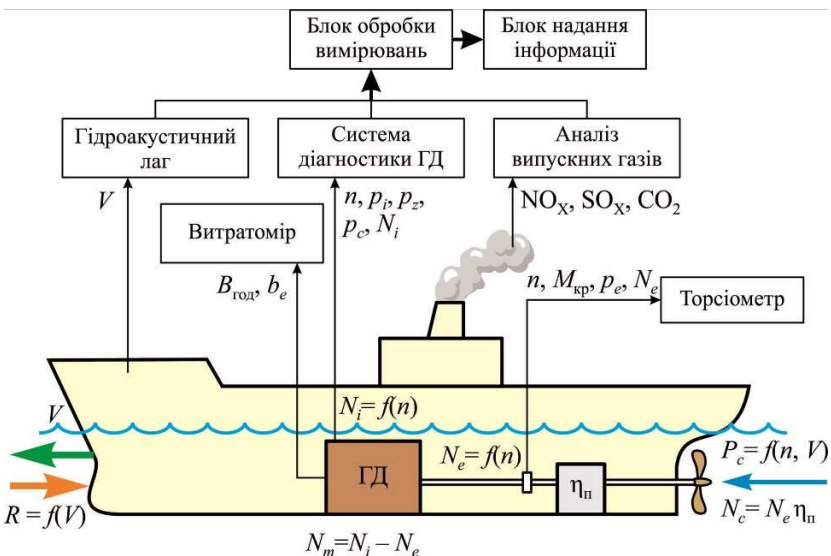


Рис. 4. Блок схема контролю експлуатаційних характеристик суднового пропульсивного комплексу

Особливості інженерної практики для систем реального часу полягають у побудові найпростіших, але ефективних моделей керова-

них 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 [39, 40].

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 вибирати 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:

$$r_{\max} = r(t, \tau): \quad W_{\text{Int}}^{\gamma}(t, \gamma, r, \tau) \rightarrow \max.$$

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 вибирати 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 [41, 42].

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 [43, 44].

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 і перспективи подальших досліджень. 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.

Перелік використаних джерел

1. 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.
2. Kolegaev M., Brazhnik I. Improvement of the process of preparing cargo tanks of crude oil tankers for cargo operations // Technology Audit and Production Reserves. 2024. № 6(1(80)). С. 36–40.
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.
4. Левченко О.В. Синтез варіантів дій судоводія у небезпечних ситуаціях з урахуванням часових та ресурсних обмежень у суднових СППР // Водний транспорт: Збірник наукових праць. 2021. Вип. 3(34). С. 89-98.

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.

6. Тимошук О.М., Даки 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.

7. 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.

8. 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.

9. 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.

10. Сагін С.В., Куропятник А.А. Оптимизация режимов работы системы перепуска выпускных газов судовых среднеоборотных дизелей // *Автоматизация судовых технических средств: науч.-техн. сб.* 2019. Вып. 25. Одесса: НУ«ОМА». С. 79-89.

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

12. Руснак Д.Ю., Сагін С.В. Забезпечення екологічних вимог при ультразвуковій десульфурізації вуглеводних палив // *Суднові енергетичні установки: наук.-техн. зб.* 2020. Вип. 40. Одеса: НУ«ОМА». С. 49-54.

13. 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.

14. Сагін С.В., Поповский Ю.М., Гребенюк М.Н. Влияние ориентационной упорядоченности в граничных смазочных слоях на триботехнические характеристики узлов трения // *Судовые энергетиче-*

ские установки: науч.-техн. сб. 1998. Вып. 1. Одесса: ОГМА. С.102-104.

15. 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.

16. Kolegaev M.O., Brazhnik I.D. Main ways of tanker inert gas system modernization // Суднові енергетичні установки: наук.-техн. зб. 2018. Вип. 38. Одеса: НУ «ОМА». С. 200-216.

17. Марченко О.О., Сагін С.В. Вдосконалення процесу очищення судових важких палив // Суднові енергетичні установки: науково-технічний збірник. 2020. Вип. 41. Одеса: НУ «ОМА». С. 10-14.

18. Сагин С.В., Заблоцкий Ю.В. Влияние анизотропных жидкостей на работу узлов трения судовых дизелей // Проблемы техники : науч.-виборн. журнал. 2012. № 4. Одесса: ОНМУ. С. 68-81.

19. Сагин С.В., Заблоцкий Ю.В., Перунов Р.В. Технология использования и результаты испытаний присадок к топливам для судовых дизелей // Проблемы техники: науч.-виборн. журнал. 2012. № 3. Одесса: ОНМУ. С. 84-103.

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.

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.

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., Pí'st'ek V., Ku'cera P. Ensuring the safety of maritime transportation of drilling fluids by platform supply-class vessel // Applied Ocean Research. 2023. Vol. 140. 103745.

24. Колегаєв М.О., Бражнік І.Д. Забезпечення процесу вентиляції вантажних трюмів танкерів за допомогою системи інертних газів //

Суднові енергетичні установки : науково-технічний збірник. 2024. Вип. 48. Одеса : НУ «ОМА». С. 46-53.

25. Зверьков Д.О., Сагін С.В. Зниження механічних втрат у суднових дизелях // Суднові енергетичні установки: наук.-техн. зб. 2020. Вип. 40. С. 20-25.

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

27. Сагін А.С., Сагін С.В. Експериментальне визначення оптимальних фаз подачі палива в циліндр суднових дизелів // Водний транспорт. Збірник наукових праць. 2024. Вип. 1(39). С. 206-215.

28. Колегаєв М.О., Бражнік І.Д. Вдосконалення процесу підготовки вантажних танків нафтоналивних суден до вантажних операцій // Автоматизація суднових технічних засобів: наук.-техн. зб. 2024. Вип. 29. Одеса: НУ "ОМА". С. 66–76.

29. Поповский А.Ю., Сагин С.В. Комплексная оценка эксплуатационных характеристик смазочных углеводородных жидкостей // Автоматизация судовых технических средств : науч.-техн. сборник. 2014. Вып. 20. С. 74-83.

30. Сагін С.В., Столярик Т.О. Динаміка суднових дизелів під час використанні моторних мастил з різними структурними характеристиками // Автоматизація суднових технічних засобів: наук. -техн. зб. 2021. Вип. 27. Одеса: НУ«ОМА». С. 108-119.

31. Sagin S.V., Kuropyatnyk O.A. Using exhaust gas bypass for achieving the environmental performance of marine diesel engines // Austrian Journal of Technical and Natural Sciences. Scientific journal. 2021. № 7-8 (July – August). P. 36-43.

32. Sagin A.S., Zablotskyi Yu.V. Reliability maintenance of fuel equipment on marine and inland navigation vessels // Austrian Journal of Technical and Natural Sciences. Scientific journal. 2021. № 7–8 (July – August). P. 14-17.

33. Kuropyatnyk O.A. Reducing the emission of nitrogen oxides from marine diesel engines // Materials of the International Conference “Scientific research of the SCO countries: synergy and integration January 25, 2020. Part 2. Beijing, PRC. P. 154-160.

34. Kuropyatnyk O.A. Selection of optimal operating modes of exhaust gas recirculation system for marine low-speed diesel engines // Materials of the International Conference “Process Management and Scientific Developments” Birmingham, United Kingdom, January 16, 2020. Part 4. P. 203-211.

35. Zablotsky Yu.V. The use of chemical fuel processing to improve the economic and environmental performance of marine internal combustion engines // Materials of the International Conference “Scientific research of the SCO countries: synergy and integration”. Part 1. August 31, 2019. Beijing, PRC. P. 131-138.

36. Kuropyatnyk O.A. Ensuring environmental performance indicators of marine diesel engines // Materials of the International Conference “Scientific research of the SCO countries: synergy and integration”. Part 1. August 31, 2019. Beijing, PRC. P. 146-153.

37. Kuropyatnyk O.A. Reduction of NO_x emission in the exhaust gases of low-speed marine diesel engines // Austrian Journal of Technical and Natural Sciences, Vienna-2018. № 7-8 (July-August). P. 37-42.

38. Сагин С.В., Заблоцкий Ю.В. Определение триботехнических характеристик поверхностей по степени упорядоченности пристенных слоев углеводородных жидкостей // Проблемы техники: науч.-виробн. журнал. 2011. № 3. Одесса: ОНМУ. С. 78-88.

39. Sagin S.V. Determination of the optimal recovery time of the rheological characteristics of marine diesel engine lubricating oils // Materials of the International Conference “Process Management and Scientific Developments” Birmingham, United Kingdom, January 16, 2020. Part 4. P. 195-202.

40. 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”. Part 1. August 31, 2019. Beijing, PRC. P. 139-145.

41. 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.

42. 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.

43. Sagin S. V., Stoliaryk T. O. Comparative assessment of marine diesel engine oils // Austrian Journal of Technical and Natural Sciences. Scientific journal. 2021. № 7-8 (July – August). P. 29-35.

44. Сагін С.С., Сагін С.С. Використання гібридної системи координації руху морських суден під час їх маневрування в стиснених водах // Водний транспорт. Збірник наукових праць. 2024. Вип. 3(41). С. 208-220.