

**Міністерство освіти і науки України
Національний університет «Одеська морська академія»
Навчально-науковий інститут інженерії (ННІ)
Одеське відділення інституту морської техніки, науки і
технології
(Великобританія)**

**МАТЕРІАЛИ
Науково-технічної конференції на тему
«МОРСЬКИЙ ТА РІЧКОВИЙ ФЛОТ: ЕКСПЛУАТАЦІЯ І
РЕМОНТ»
20.03.2025 – 21.03.2025**

Одеса – 2025

Матеріали науково-технічної конференції «Морський та річковий флот: експлуатація і ремонт», 20.03.2025 – 21.03.2025.– Одеса: НУ "ОМА", 2025. – 210 с.

Матеріали публікуються згідно з поданими авторами оригіналами.

ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ КОМІТЕТ

Голова:

Міюсов М. В – д.т.н., професор, в.о. ректора Національного університету «Одеська морська академія (НУ «ОМА»).

Заступники голови:

Шемякін О. М. – д.ю.н., професор, перший проректор НУ «ОМА»;

Захарченко В. М. – д.т.н., професор, проректор з науково-педагогічної роботи НУ «ОМА»;

Колегаєв М. О. – к.т.н., професор, директор ННП НУ «ОМА»;

Кар'янський С. А. – к.т.н., доцент, почесний секретар відділення Інституту морської техніки, науки та технології (Великобританія);

Савчук В. Д. – к.т.н., професор, начальник НДЧ НУ «ОМА»;

Члени оргкомітету:

Богач В. М. – к.т.н., доцент, завідувач кафедри інженерної механіки і судноремонту НУ «ОМА»;

Веретенник О.М. – д.т.н., професор кафедри суднових енергетичних установок НУ «ОМА»;

Волков О. М. – к.т.н., зав. аспірантурой та докторантурой НУ «ОМА»;

Голіков В. А. – д.т.н., професор, завідувач кафедри технічної експлуатації флоту НУ «ОМА»;

Горб С. І. – д.т.н., професор, завідувач кафедри теорії автоматичного керування та обчислювальної техніки НУ «ОМА»;

Журавльов Ю.І., к.т.н., доцент кафедри інженерної механіки і судноремонту НУ «ОМА»;

Кіріс О. В. – к.т.н., професор кафедри суднових енергетичних установок НУ «ОМА»;

Козицький С. В. – д.ф. – м.н., професор кафедри інженерної механіки і судноремонту НУ «ОМА»;

Козьм'яних М. А. – к.т.н., доцент, завідувач кафедри суднових допоміжних установок і холодильної техніки НУ «ОМА»;

Малахов О.В. – д.ф. – м.н., професор кафедри суднових допоміжних установок і холодильної техніки НУ «ОМА»;

Нікольський В. В. – д.т.н., професор кафедри технічної експлуатації флоту НУ «ОМА»;

Нікуліна О. Л. – к.ф.н., доцент кафедри англійської мови у морській інженерії;

Обертюр К.Л. – к.т.н., заст. директора ННП, доцент кафедри безпеки життєдіяльності та захисту довкілля;

Парменова Д.Г. – к.т.н., доцент, завідувач кафедри безпеки життєдіяльності та захисту довкілля;

Половинка Е. М. – д.т.н., професор кафедри суднових енергетичних установок НУ «ОМА»;

Сагін С.В. – д.т.н., професор, завідувач кафедри суднових енергетичних установок НУ «ОМА»;

Хлієва О. Я. – д.т.н., професор кафедри суднових допоміжних установок і холодильної техніки НУ «ОМА»

ТЕМАТИКА КОНФЕРЕНЦІЇ:

Секція 1. Експлуатація і ремонт транспортних засобів морського та річного флоту (корп. 3а, ауд. 201).;

Секція 2. Двигуни та енергетичні установки (корп. 3, ауд. 201).;

Секція 3. Інженерні технології екологічної та професійної безпеки на морі (корп. 3, ауд. 308);

Секція 4. Сучасні інформаційні технології в освіті та іншомовна підготовка суднових інженерів (корп. 3, ауд. 408);

ЗМІСТ

Експлуатація і ремонт транспортних засобів морського та річного флоту	8
Голіков В. А., Крупов І. В. Особливості моделей управління днопоглиблювальними роботами на морських і внутрішніх водних шляхах	8
Голіков В. А., Данилов К. С., Шумілова К. В. Особливості експлуатації систем повітряного змащення корпусу контейнеровоза	12
Шумілова К. В., Однолько Б. Ю. Двосекційний аналізатор технічного кластеру відмов систем управління роботою головного двигуна та його критичних вузлів	17
Козьмініх М. А. Аналіз можливостей перевезення скрапленого водню морським шляхом.	22
Хлієва О.Я., Шестопапов К.О., Константинов І.О., Огурцов Д.В. Сучасний стан застосування легкозаймистих робочих тіл у судновому холодильному обладнанні	25
Шестопапов К.О., Хлієва О.Я. Методика екологічно-енергетичного аналізу суднових холодильних систем	28
Стукаленко О. М. Дослідження процесів у силовому ланцюзі козлового консольного крана після обриву троса	32
Дрозд О. В., Дюльгер Ю. І. Пожежі на контейнеровозах – необхідність нових підходів та засобів	36
Козицький С.В. Нанотехнології – шлях для ефективного збільшення ресурсу судна	41
Богач В.М., Колегаєв М.О., Довиденко Ю.М. Підвищення економічності лубрикаторної системи суднового головного двигуна.....	47
Латиш О.М., Мельник О.А. Використання наоматеріалів для зменшення тертя та зносу в механічних парах	51
Мельник О.А. Маркування сталей	58
Опришко М.О. Нанотехнології в мастильних матеріалах, добавках та присадках	65
Zhuravlov Yu.I., Obertiur K.L. Peculiarities of using composite materials in ship parts and predicting their properties	69
Двигуни та енергетичні установки.....	77
Сагін С.В., Заблоцький Ю.В., Сагін А.С. Дослідження впливу органічних нанопокриттів на зношування підшипникових вузлів суднових дизелів	77
Аболешкін С. Є., Кардашев Д. Л. Порівняльний аналіз систем подачі газу низького та високого тиску	83

Кіріс О., Афтанюк В. Дослідження аеродинаміки вводу потоків газу для суднового скрубера.....	88
Константинов О. О. Половинка Е.М. Combustion control and nitroing of two-stroke engines	91
Крицкий К.В., Половинка Е.М. Dieselcombustion: an integrated view combining laser diagnostics, chemical kinetics and empirical validation.....	97
Куропятник О.А. Зниження емісії оксидів азоту з випускними газами суднових дизелів	103
Корнієвич С.Г. Деградація та знос двотактних двигунів внутрішнього згоряння на судах.....	108
Константинов І.О., Хлієва О.Я. Сучасний стан практичного впровадження суднових енергетичних установок на основі органічного циклу Ренкіна	111
Руснак Д.Ю. Особливості комплектації систем підготовки палива суднових дизелів	115
Рудик К.Н., Половинка Е.М. Effects of Direct Water Injection on DI Diesel Engine	119
Омельченко К.С. Половинка Е.М. Injection characteristics of diesel and biodiesel fuel blends with common rail injection system	125
Інженерні технології екологічної та професійної безпеки на морі	130
Парменова Д.Г., Голікова В.В., Крайнова В.І., Астахов М.В. Аналіз сучасних методів управління безпекою праці на морському транспорті.....	130
Колегаєв ¹ М.О., Парменова Д.Г., Бондар С.А. Роль професійних компетентностей суднових механіків у процедурах портового контролю.....	134
Парменова Д.Г., Кулешов І.М. Методи очищення нафтовмісних вод на судах: переваги, недоліки та перспективи розвитку.....	141
Мамкічев М.А. Попередження пожеж у морських контейнерах та особливості їх гасіння на судах.....	145
Розлуцький О.М. Використання штучного інтелекту та дронів у морській безпеці.....	151
Сучасні інформаційні технології в освіті та іншомовна підготовка суднових інженерів.....	154
Нікуліна О.Л. The Unit Structure of the Textbook “ English for Marine Engineers”	154
Tsynova M.V., Osmolovskyi A. Pirates at sea	156
Цинова М.В., Кравець Г.Б., Кашуба М.В. Застосування інтерактивних технологій для розвитку наукових навичок у контексті дистанційного навчання.....	158
Ivanov O., Kozak .S.V. English language Department in Marine ingenering.....	161

Kozak S.V., Ambros A. Electro- and radio-navigation instruments	164
Kozak S.V., Adjiyan A. Marine Engine Parts and Functions	168
Kozak S.V., Balanchuk S. Primary Responsibilities of Marine Electro-Mechanics	171
Kozak S. V., Hnilichenko R. Ferry fuel savings	173
Козак С.В. Формування критичного стилю пізнавальної діяльності студентів, технічного вузу під час вивчення англійської мови.	177
Molodtsova V. Mnemonic strategies to aid maritime vocabulary and regulation retention	182
Bezditko A., Hrinchuk H. Artificial Intelligence in Maritime Industry: Revolutionizing Automation and Navigation.....	184
Гринчук Г.В., Коблік В.В. Використання штучного інтелекта у вищих навчальних закладах.....	186
Koblik V.V., Stoliarchuk A., Коблік В.В., Столярчук А.О. Methanol as an alternative fuel	188
Кравець Г.Б., Фурсов В.В. Autonomous ships in the merchant fleet	192
Тумчинський Н., Фліак Е., Nikolayeva T.S. Thermal storage and heat pumps: a step towards zero-emission cruise ships	196
Ніколаєва Т.С. Новітні методи викладання англійської мови у вищих навчальних закладах з використанням штучного інтелекту	198
Бугаєнко Е.І., Стукал О. Tankers	200
Shalyov A. S., Antonov D. Travelling Through Maritime History Onboard Ships.....	202
Шальов А. С. Мовна інтерференція в українську під час перекладу з англійської під впливом російської на прикладі пасивного стану	205
Shevchenko T., Bugaenko E.I. Container Ship Fleet as one of the most important part of global transportation	208

ЕКСПЛУАТАЦІЯ І РЕМОНТ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ МОРСЬКОГО ТА РІЧНОГО ФЛОТУ

УДК 629.5: 627.78: 627.74

Голіков В. А., Крупов І. В.

Національний університет «Одеська морська академія»

Особливості моделей управління днопоглиблювальними роботами на морських і внутрішніх водних шляхах

Морські та внутрішні водні шляхи відіграють важливу роль у забезпеченні перевезень морським та річковим транспортом. Для підтримання їх у належному стані необхідне періодичне проведення днопоглиблювальних робіт, оскільки в силу природних процесів глибини поступово зменшуються, що унеможливорює судноплавство.

Відповідно до статті 3 Закону України «Про транспорт» безпечне функціонування транспорту (у тому числі водного) належить до завдань державного управління в галузі транспорту. Необхідність забезпечення безпечного функціонування водного транспорту відповідає пріоритетам державної політики з питань розвитку внутрішнього водного транспорту, визначеним Транспортною стратегією України на період до 2030 року.

Основними причинами виникнення проблеми днопоглиблення є:

- постійний об'єктивно існуючий негативний вплив природних факторів (вода, ерозія, хвильова та льодова дія, сонячне випромінювання) на конструкційні та функціональні елементи інфраструктури водних шляхів та судноплавних шлюзів;
- значне перевищення фактичних строків експлуатації знаків навігаційного обладнання та суден технічного і спеціального флоту порівняно з нормальними показниками;
- вимушене завищення міжремонтних строків експлуатації обладнання та конструкцій судноплавних шлюзів;
- низький рівень матеріально-технічного та кадрового забезпечення спеціалізованих підприємств, що обслуговують водні шляхи.

Проблему пропонується розв'язати шляхом реалізації спеціальної програми [1]. Вказана «програма модернізації внутрішніх водних шляхів України» (програма) розроблена Державним підприємством водних шляхів «Укрводшлях» на виконання Транспортної стратегії України та завдань Міністерства.

Метою доповіді є створення необхідних умов безпечного судноплавства та безаварійної роботи судноплавних гідротехнічних споруд, забезпечення сталого функціонування та модернізації воднотранспортної системи України у відповідності з міжнародними вимогами і правилами.

У той же час, значно менша увага у літературі приділяється дослідженню не технологічних питань проведення днопоглиблювальних робіт, а обґрунтуванню їх параметрів з точки зору економічної доцільності та ефективності.

Досягнення мети пропонується здійснити за наступним алгоритмом.

Величина днопоглиблення за даних зовнішніх умов залежить від витрат фінансів (до яких у кінцевому підсумку зводяться усі технічні та трудові ресурси) та часу. Зрозуміло, що із збільшенням фінансових та часових ресурсів величина днопоглиблення зростатиме, проте поступово все повільніше, оскільки із зростанням глибин проводити днопоглиблювальні роботи стає дедалі складніше. Принциповий вигляд таких зростаючих та опуклих догори залежностей величини днопоглиблення від кожного з цих факторів за різних значень іншого показано на рис. 1, 2. [2, 3, 4]

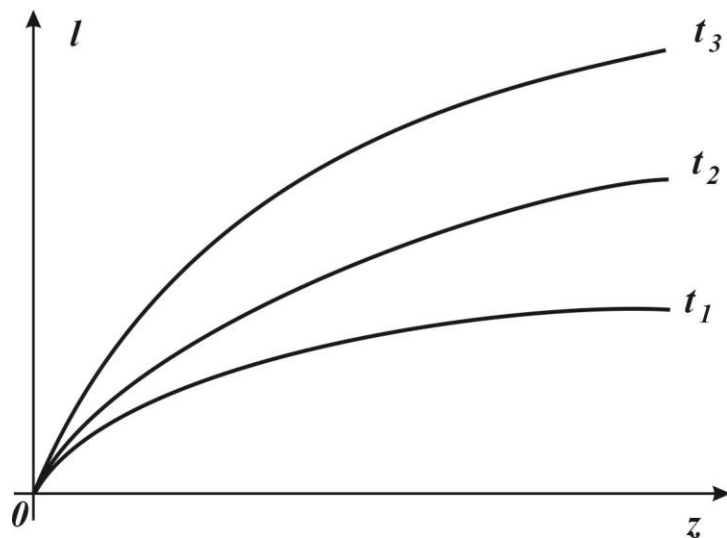


Рисунок 1. – Принциповий вигляд графічного відображення залежностей величини днопоглиблення від часу та обсягу фінансування

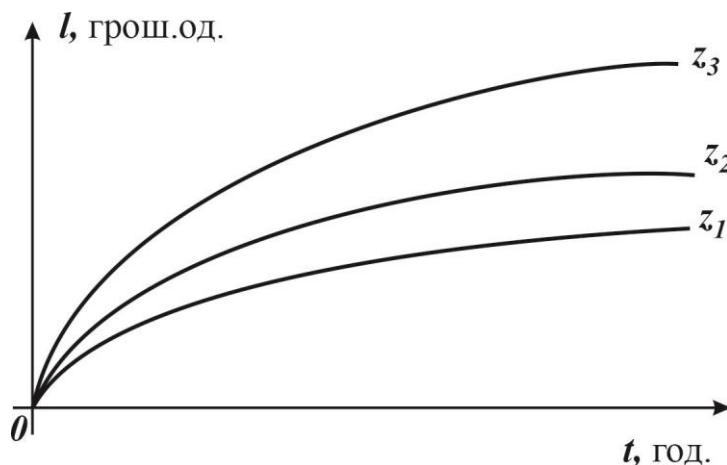


Рисунок 2.- Принциповий вигляд графічного відображення залежностей обсягу фінансування від величини днопоглиблення та часу

Для досягнення вище вказаної мети запропоновано загальна розрахункова модель у вигляді наступного алгоритму.

Крок 1. Величина днопоглиблення l (функції Кобба-Дугласа) визначається ступеневою функцією за двома факторами:

$$l = az^bt^c, \quad (1)$$

де z – витрати на проведення днопоглиблювальних робіт, грош.од.;
 t – час проведення днопоглиблювальних робіт, год.;
 a, b, c – параметри (емпіричні) мультиплікативної залежності процесу днопоглиблення від часу та витрат.

Крок 2. Чистий дохід від експлуатації внутрішніх водних шляхів ВВШ за часом D :

$$D = d\sqrt{l}(T - t) \quad (2)$$

де d – показник ефективності ВВШ в залежності від величини днопоглиблення, відн. од.; $d\sqrt{l}$ – чистий дохід від експлуатації ВВШ за одиницю часу, грош.од./год.; T – період часу, що розглядається (горизонт планування), (рік, місяць, тиждень, сутки, години); $(T - t)$ – загальний час експлуатації ВВШ після проведення днопоглиблювальних робіт (рік, місяць, години);

Крок 3. Максимальний прибуток F від експлуатації ВВШ визначається різницею між доходом при певній глибині судноплавного шляху та витратами на проведення відповідних днопоглиблювальних робіт:

$$F = d(T - t)\sqrt{l} - z = d(T - t)\sqrt{az^b t^c} - z \rightarrow \max. \quad (3)$$

Крок 4. Оптимальне значення тривалості днопоглиблювальних робіт:

$$t_{\text{опт}} = Tc / (c + 2). \quad (4)$$

Крок 5. Оптимальні витрати на проведення днопоглиблювальних робіт

$$z_{\text{опт}} = \sqrt[1 - \frac{a}{2}]{\frac{d\sqrt{ab}\left(\frac{c}{c+2}\right)^{0,5c} T^{(0,5c+1)}}{c+2}} \quad (5)$$

Крок 6. Оптимальна величина днопоглиблення:

$$l_{\text{опт}} = \left[ad^b b^b c^c \left(\frac{T}{c+2} \right)^{b+c} \right]^{\frac{2}{2-b}} \quad (6)$$

Реалізація алгоритму показує, що оптимальна тривалість проведення днопоглиблювальних робіт, згідно кроку 4, прямо пропорційна горизонту планування, не перевищує його третини й визначається всього двома показниками T та c , при цьому не залежить від параметрів a та b мультиплікативної фракції (4).

Оптимальні ж витрати на проведення днопоглиблювальних робіт визначаються за набагато складнішою формулою (4), у якій задіяні вже всі параметри моделі, та зростають із збільшенням горизонту планування T та ефективності експлуатації внутрішніх водних шляхів.

ВИСНОВКИ

1. Встановлено, що величина днопоглиблення за даних зовнішніх умов залежить від витрат фінансів (до яких у кінцевому підсумку зводяться усі технічні та трудові ресурси) та часу.

2. Для адекватного урахування впливу витрат та часу днопоглиблювальних робіт на величину днопоглиблення уявляє залежність мультиплікативну.

3. Акцентується важливість обох факторів: величини днопоглиблення, витрати на проведення днопоглиблювальних робіт, а також час їх проведення.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Офіційний сайт Міністерства інфраструктури [Електронний ресурс] –

Режим доступу: <https://mtu.gov.ua/content/tmu.html>

2. Bushuyev S., Bushuyev D., Kozyr B. (2019) Paradigm shift in the management of infrastructure projects and programs. Management of Development of Complex Systems. 37. 6 – 12. DOI: <https://doi.org/10.6084/m9.figshare.9783149>

3. Верещака М.А. Моделі оптимізації обсягу та тривалості днопоглиблювальних робіт на внутрішніх водних шляхах // Тези доповідей Всеукраїнської науково-практичної конференції "Інформаційні управляючі системи та технології" (ІУСТ-Одеса-2012). – Суми: Папірус, 2012. – С.169-170.

4. Верещака М.А. Оптимізація обсягу та тривалості днопоглиблювальних робіт на внутрішніх водних шляхах // Вісник Донбаської державної

5. машинобудівної академії. – Краматорськ: ДДМА, 2013. – № 1(30). – С.22-26.

Особливості експлуатації систем повітряного змащення корпусу контейнеровоза

Система Silverstream® – це система повітряного змащення. Вона складається з комплексу компресорів, які подають повітря до набору блоків випуску повітря (ARU), зазвичай встановлених у плоскому низу корпусу через трубопровідну мережу з дистанційно керованими клапанами. Вимоги до повітряного потоку блоків ARU залежать від осадки та швидкості судна. Тиск, який повітря має подолати, приблизно дорівнює гідростатичному тиску води під корпусом, з додатковим запасом для подолання втрат на тертя в трубопровідній системі. Система Silverstream® налаштована на автоматичний запуск, коли судно досягає специфічної мінімальної швидкості, за якої її застосування є вигідним. Система автоматично зупиняється, як тільки швидкість падає нижче цього порогу.

Метою доповіді є особливості експлуатації та обслуговування системи Silverstream®.

Питання, які розглядаються наступні:

- Як працює система?
- Як безпечно експлуатувати установку в нормальних умовах роботи?
- Вимоги з обслуговування.

Згідно з технологією система Silverstream® створює «килимok» з мікробульбашок по всій площі плоского днища судна. Цей килимок з мікробульбашок значно зменшує опір тертя цієї частини корпусу.

Внаслідок зниження загального опору корпусу зменшується потужність валу енергетичної установки (ЕУ), необхідна для підтримання заданої швидкості у порівнянні з тими ж умовами експлуатації судна, коли система Silverstream® не працює.

Чисте зниження споживання енергії (тобто зменшення потужності валу ЕУ, яке компенсується додатковою допоміжною потужністю, потрібною для роботи системи Silverstream®) веде до зменшення споживання палива та загальної потужності в кіловатах, що в свою чергу дозволяє знизити експлуатаційні енергетичні витрати та кількість шкідливих викидів (рис. 1) [1].

Система Silverstream® складається з наступних основних компонентів, які можуть відрізнятися за кількістю та конфігурацією, залежно від конкретної установки:

- ARU (блоки випуску повітря), інтегровані в нижню обшивку корпусу.
- Компресори з інтегрованими приводами з регульованою швидкістю (VSD).
- Керуюча шафа, розташована в компресорній кімнаті, з можливістю підключення віддалених робочих місць та відповідною кабельною системою.

- Повітряний розподільчий трубопровід, клапани ALS та Y-образні з'єднання (рис. 2). Далі наведено опис основних апаратних компонентів системи Silverstream®.

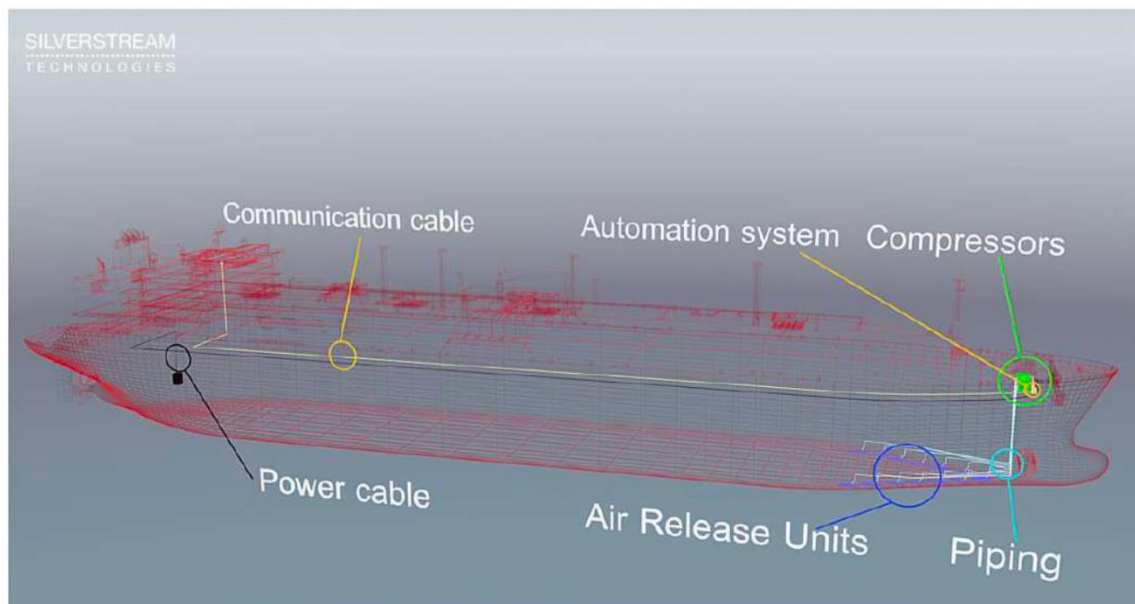


Рис 1. Схема розташування системи Silverstream®

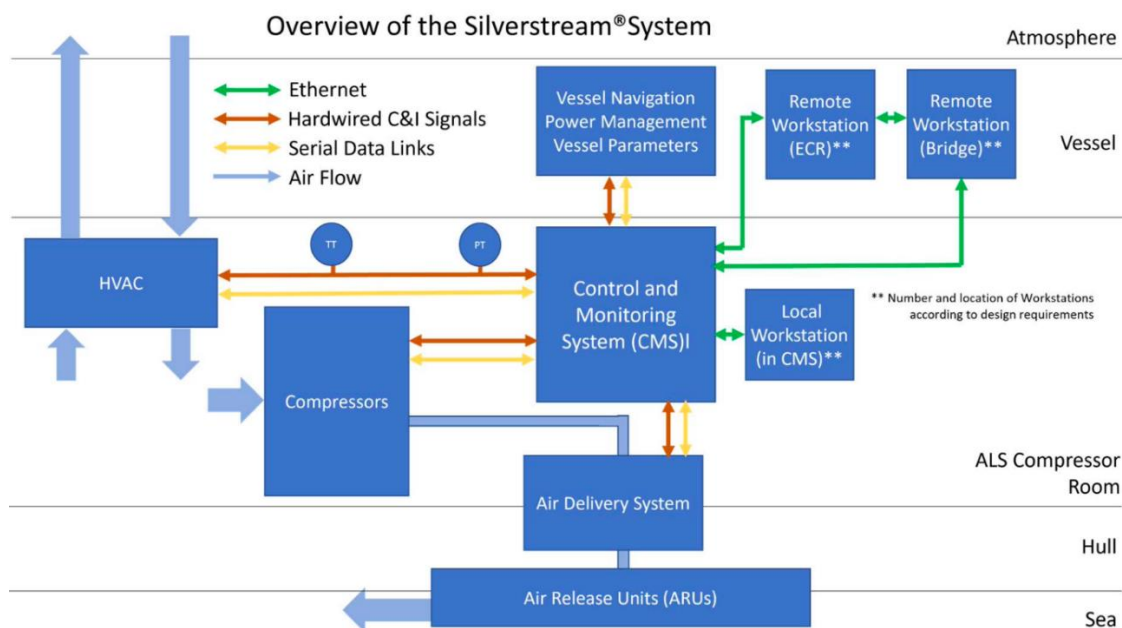


Рис. 2. Структурна система ALS Silverstream®

Робота системи полягає у наступному: після увімкнення системи Silverstream® її стан відображається за допомогою візуальних інтерфейсів (mimics) на доступних робочих місцях (рис. 3).

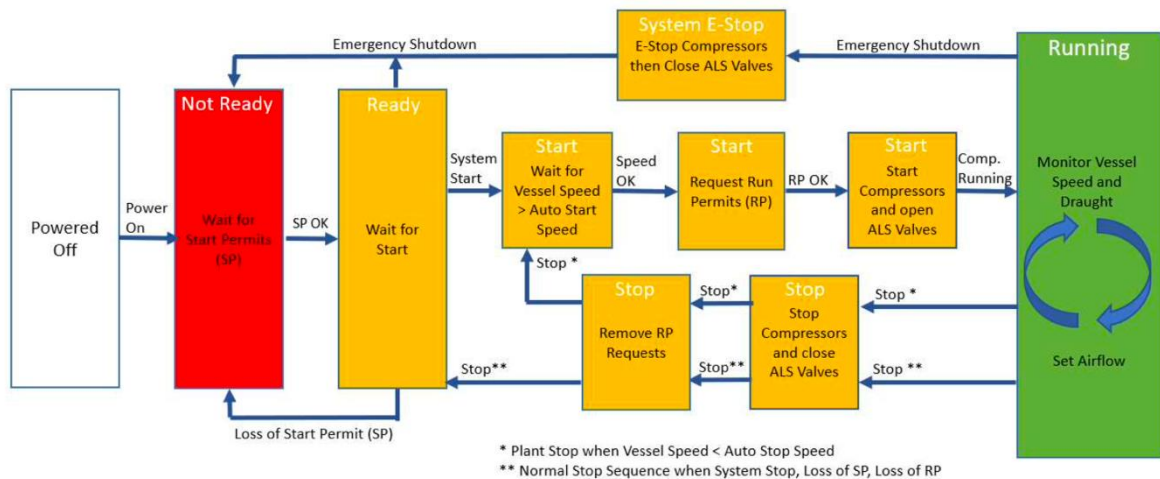


Рис. 3. Функціональна схема системи

Стан системи характеризується наступним чином:

1.Вимкнено (Powered Off): коли живлення CMS відключено, реле безпеки у шафі CMS забезпечує аварійну зупинку всіх компресорів, а клапани ALS не можуть бути відчинені дистанційно.

2.Не готово (Not Ready): система увімкнена, але не може працювати, поки не виконані всі вимоги для старту (Start Permits), наприклад, поки не скасовано всі умови аварійної зупинки (E-Stops).

3.Система готова (System Ready): всі вимоги для старту (SP) виконані, але установка не буде запущена, поки на одному з робочих місць керування не буде натиснуто кнопку «Старт».

4.Запуск системи (System Start): після натискання кнопки «Старт» або отримання команди на запуск від віддаленої системи керування (наприклад, IAS) система переходить у звичайну послідовність запуску. Система очікує, поки швидкість судна не перевищить поріг автоматичного запуску. Після цього CMS запитує дозволу на роботу (Run Permits) від відповідних систем (PMS та HVAC). Після отримання цих дозволів компресори запускаються згідно з послідовністю запуску, тобто компресори запускаються парами з інтервалами у 10 секунд, щоб не перевантажувати систему живлення або систему керування клапанами, а клапани ALS відкриваються.

5.Система працює (System Running): після запуску компресорів і відкриття клапанів ALS система регулює подачу повітря відповідно до осадки та швидкості судна.

6.Автоматична зупинка (Auto Stop): звичайна зупинка може статися, коли швидкість судна опускається нижче порогу автоматичної зупинки, а кнопка «Стоп» не натиснута. У цьому випадку система зупиняється згідно з описаною послідовністю, і вона чекатиме на підвищення швидкості вище порогу автоматичного запуску, після чого система знову запуститься.

7.Зупинка системи (System Stop): під час звичайної зупинки установка вимикається, якщо:

а. Натиснуто кнопку «Стоп» або отримано команду на зупинку від віддаленої системи керування (наприклад, IAS).

- б. Втрачається принаймні один дозвіл на старт.
- с. Втрачається принаймні один дозвіл на роботу.

8. Аварійне відключення системи (System Emergency Shutdown): при активації аварійного відключення активуються контури аварійної зупинки компресорів (E-Stop), клапани ALS закриваються, і система переводиться у стан «Не готово». Після усунення аварійної ситуації систему необхідно знову запустити згідно із звичайною процедурою (кроки 1-5).

Експериментальне випробування системи повітряного змащення проведено під час плавання у січні 2024 року на контейнеровозі «MSC ANITA» (16616 TEU) з характеристиками: довжина (L_{oa}) – 365,98 м; ширина (B) – 51 м; висота (D) – 72,5 м; осадка у вантажі (d) – 14,5/17,0 м; водотоннажність (Δ) – 131215 т / 171251 т; головний двигун (WINGO 9x92B, LLT, Tier III HR SCR) – 45300kWx72RPM; гвинт фіксованого кроку типу CPP діаметром (D_p) – 9,736 м; швидкість ходи (v) – 22 вузли.

Для оцінки ефекту енергозбереження в процесі обслуговування ALS здійснено випробування швидкості судна при різних режимах подачі повітря. Розрахунок витрати повітря проводився з використанням еквівалентної товщини повітряного шару за наступною формулою [2,3]:

$$t(b) = Q_{(a)} / B_{(a)} v \cdot 10^3, (1)$$

де $t(b)$ – еквівалентна товщина повітряного шару на днищі судна, мм;
 $Q_{(a)}$ – витрата повітря, м³/с; $B_{(a)}$ – ширина області, покритої бульбашками, м;
 v – швидкість судна відносно води, м/с.

Розрахунки та результати випробувань показали, що ефективність енергозбереження, отримана за допомогою повітряного змащення в залежності від повітряного шару від 3-х до 8-ми мм лінійно підвищується від 8 % до 12 %. Причому, умови лінійності спостерігаються у зв'язку зі збільшенням потужності споживання повітряних компресорів та зниженням потужності головного двигуна судна.

Висновок

Метод поверхневого змащення зменшив опір поверхневого тертя на 10 ± 2 %, що знизило навантаження на рушій судна.

Подальше підвищення ефективності енергозбереження планується збільшити шляхом повторного регулювання посадки судна та глибини занурення рушіїв головного двигуна, а також засобів вимірювання та контролю елементів гідропротульсивного комплексу контейнеровоза.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. ALS OPERATION & MAINTENANCE MANUAL [www.silverstream-teck.com]: London, 2023. – 70 p. [confidential].
2. Кодама, У., Такахаші, Т. та Кавашіма, Н. Експериментальне дослідження мікробульбашок та їх застосування для зниження опору шорсткого тертя на суднах, *int. J. Heat Fl.*
3. Кодама, У. та співавтори. Повномасштабний експеримент з повітряного змащення з використанням великого цементного вантажоперевізника для енергозбереження (результати та аналіз / матер. конф. Японського товариства морських архітекторів та океанічних інженерів, том. 6 (2008). – С. 163-166. (переклад укр. мовою).

Двосекційний аналізатор технічного кластеру відмов систем управління роботою головного двигуна та його критичних вузлів

Оскільки більшість морських суден приводиться в рух головними дизельними двигунами, то значна доля навігаційної безпеки залежить від їх стану, який впливає на надійність дизелів та паливну ефективність їх роботи [1].

Надійність елементів системи руху, в загальному випадку, залежить від непередбачених умов, через значний знос критичних вузлів головного двигуна та додаткового зносу під час пуску його в роботу. Випадковий вихід із ладу критичних вузлів дизельного двигуна є великою небезпекою для його експлуатації, так як втулки циліндрів і поршні можуть замінюватися тільки під час ремонту [2]. Крім того профілактична служба судна не завжди спроможна усувати випадкові відмови [3].

В роботі отримані емпіричні формули оцінки ймовірності аварійної відмови критичних вузлів головних двигунів під час експлуатації в рейсових циклах, де основну небезпеку складають випадкові відмови. За результатами дослідження можна встановити графік виконання чергового, а при необхідності позачергового технічного обслуговування суднового головного двигуна. Такі дані можуть бути використані для оцінки надійності інших типів судових головних двигунів.

Імовірність безвідмовної роботи елемента до його заміни на заданому рівні « b » межі зносу становить:

$$P(b) = \left(\frac{\beta}{\alpha + \beta} \right) \exp \left(-\frac{\alpha \cdot \lambda \cdot \beta}{\alpha + \beta} \right), \quad (1)$$

де α – коефіцієнт експоненціального закону розподілення часу стоянок в порту;

β – коефіцієнт експоненціального закону розподілення часу переходів;

$\lambda = \frac{\beta}{v}$ – відносний коефіцієнт швидкості.

Тоді середній час досягнення межі зносу, що виражається в кількості рейсових циклів, можна визначити як:

$$M(b) = \lambda \cdot b. \quad (2)$$

Календарний час досягнення межі зносу (у годинах і тисячах годин):

$$T = \frac{M(b)}{k}, (3)$$

де k – середньорічна кількість конверсій (змін станів).

У якості критичних елементів для головного двигуна визначено циліндрові втулки, поршні та циліндрові кришки [4]. Для прикладу значення розглянутих коефіцієнтів [2], приведено в табл. 1.

Таблиця 1. Значення коефіцієнтів $\alpha, \beta, b, \lambda$

Типи суден	$\alpha, 1/(\text{тис. год.})$	$\beta, 1/(\text{тис. год.})$	$b, \text{мм}$	$\lambda, 1/\text{мм}$
Сухогруз 1	0,0208	5,75	6,5	261
Сухогруз 2	0,0280	7,00	6,5	279
Транспортний рефрижератор	0,0047	7,40	4,5	7350

Забезпечення руху і навігаційної безпеки, при будь-яких видах морських операцій – це виконання головним двигуном своїх функцій з організації руху судна відносно води. Тому питання контролю його стану судновим персоналом при виконанні чергових, позачергових технічних оглядів та необхідних ремонтних робіт на судні являється важливою задачею.

Ретельними спостереженнями визначено, що при досягненні елементами системи граничного зносу за час визначеного періоду експлуатації між заводськими ремонтами, практично відомими судновому персоналу, основну небезпеки роботи головного двигуна в цей період часу становлять випадкові відмови. Але при різній надійності [5] елементів систем автоматичного управління роботою суднового двигуна та критичних його вузлів, які впливають на характер поведінки системи управління в цілому, кожний із них потребує індивідуального підходу. Тому необхідно підготувати рекомендації судновому персоналу для своєчасного виявлення несподіваних відмов систем забезпечення роботи головного двигуна та його критичних вузлів. Для оперативного і своєчасного виявлення відхилень в параметрах роботи систем забезпечення роботи головного двигуна та прийняття рішень з управління їх нормальною експлуатацією та визначення метрологічних параметрів його стану, пропонується ввести двосекційний аналізатор стану систем управління та критичних вузлів. Двосекційний аналізатор (рис. 1) розроблено у вигляді технічного кластера машинно-котельного відділення (МКВ).

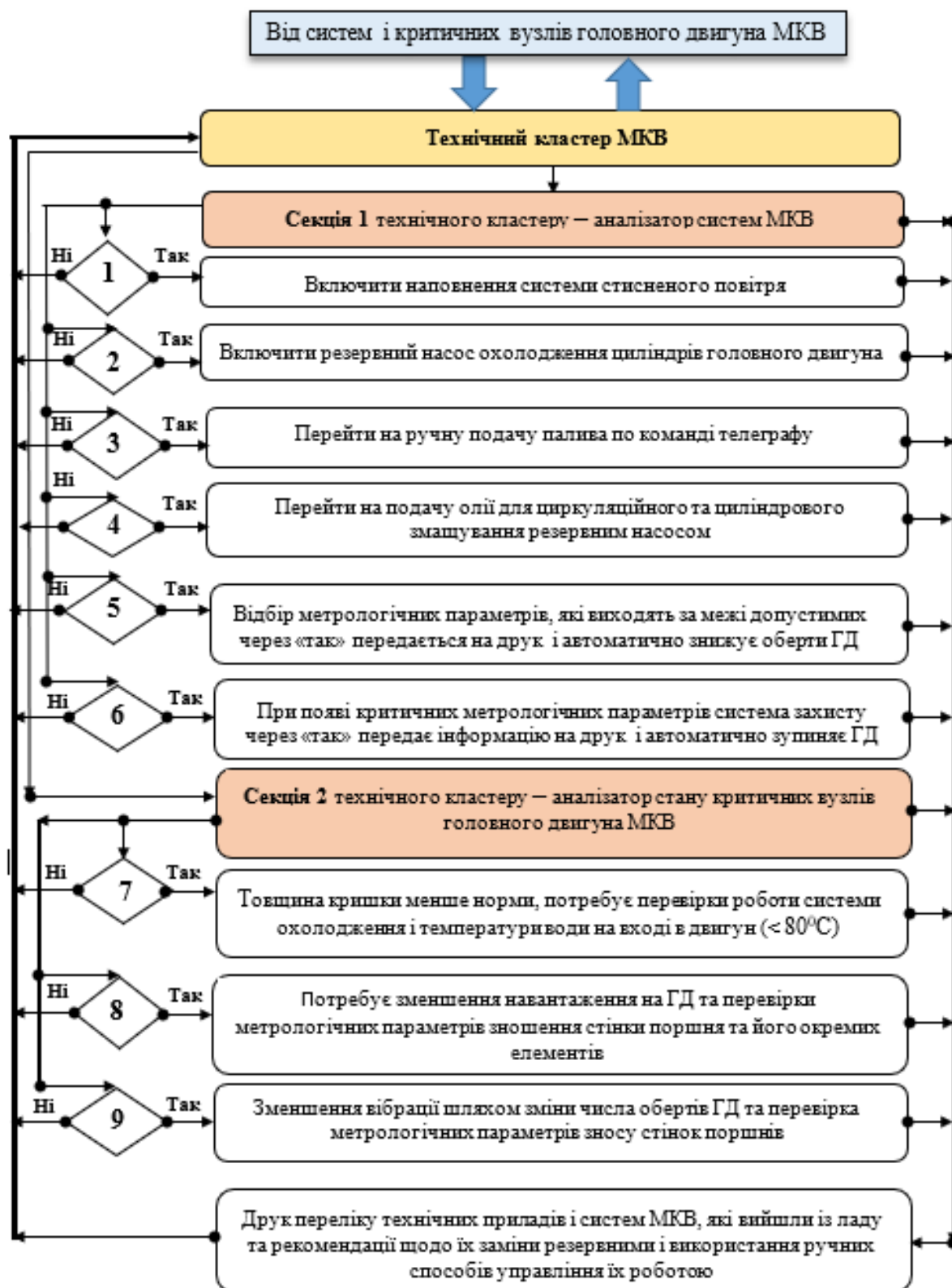


Рисунок 1. Двосекційний аналізатор технічного кластеру МКВ щодо відмов систем управління роботою головного двигуна та стану метрологічних параметрів його критичних вузлів

Перший сектор дозволяє визначити місце і характер виникаючої проблеми з технічними системами та містить рекомендації щодо заміни техніч-

ного пристрою, який вийшов із ладу, на резервний або перехід на ручне управління функціями системи до відновлення працездатності приладу.

Другий сектор дозволяє вибрати вид критичного вузла, характер відхилень його метрологічних параметрів та розробити рекомендації щодо зменшення навантаження на нього, з визначенням можливості його використання під час подальшої роботи двигуна. Система пуску головного двигуна та його реверсу, «так» – занижений тиск, «ні» – в нормі. Система охолодження циліндрів головного двигуна, «так» – вийшла із ладу, «ні» – в нормі.

Система автоматичної подачі палива, «так» – вийшла із ладу, «ні» – в нормі. 2. Система подачі олії для циркуляційного та циліндрового змащування, «так» – насос вийшов із ладу, «ні» – в нормі. 3. Система аварійно-попереджувальної сигналізації про метрологічні параметри головного двигуна, «так» – параметри вийшли із норми, «ні» – в нормі. 4. Система захисту двигуна за критичними метрологічними параметрами, «так» – вийшли за межі допустимих, «ні» – в нормі. 5. Кришка циліндра – критична точка ГД, «так» – товщина кришки менше норми, «ні» – в нормі. 6. Стінка циліндра – критична точка ГД, «так» – товщина зношення стінки та його окремих елементів більше допустимої норми, «ні» – в нормі. 7. Поршень – критична точка ГД, «так» – товщина зношення стінки поршня більше допустимої норми, «ні» – в нормі.

Двосекційний аналізатор дозволяє оперативно визначити стан метрологічних показників систем і критичних вузлів та прийняти адекватні міри щодо забезпечення зменшення навантаження на ГД для продовження його роботи або повністю зупинити. Такий аналізатор дозволяє деталізувати причини виникнення попереджувальної сигналізації про перевищення метрологічних параметрів понад безпечний критичний рівень.

Елементи автоматики підтримують метрологічні параметри на наступному заданому рівні: тиск повітря в системі управління при планових параметрах більше 7 бар; частоту обертання двигуна, задану капітаном при допомозі машинного телеграфу; температуру циркуляційної олії на вході в двигун в межах до 50° С; температуру води, що охолоджує двигун на вході в межах до 80°С; плановий рівень олії в мірних трубках лубрикаторів циліндричного мастила; в'язкість важкого палива на вході в дизель – допускається до 20 cSt (сантистоксів).

Для захисту двигуна за критичними параметрами передбачено два варіанти: автоматична зупинка ГД або зниження частоти обертання до мінімальної при досягненні критичного метрологічного параметра.

Головний двигун автоматично зупиняється: при спрацьовуванні регулятора граничної частоти обертання (Overspeed), яка встановлюється на 15% більше за номінальну або на 7% більше за паспортну (Maximum continuous ration); при зниженні тиску олії на вході в підшипники головного руху (0,8-1,3 бар), на розподільчий вал (1,5 бар) та на вході в турбонагнітач (0,6 бар); при підвищенні температури в упорному підшипнику (понад 85 °С) іноді передбачається зупинка дизеля.

Зниження обертів (Slow down) передбачається за умови:

- спрацьовування детектора масляного туману в картері дизеля;
- пожежі у підпоршневої порожнині;
- відсутності олії в лубрикаторах циліндричного мастила;
- зниження тиску олії в системі охолодження поршнів і на підшипники головного руху понад встановлений (1-1,5 бар);
- підвищення температури олії на вході в двигун (60 °C), у підшипниках головного руху (70-75 °C) і розподільчого валу, на виході із системи охолодження поршнів (70 °C), відсутності потоку олії охолодження поршня;
- зростання температури газу на виході з циліндра або відхилення температури в циліндрі від середнього значення, більш регламентованого (для сучасних дизелів MAN B&W – це 430 °C та ± 50 °C);
- при зниженні тиску води, що охолоджує, або підвищенні температури води на виході з ГД (> 90-95 °C).

У всіх випадках спрацьовування захисту необхідно усунути несправність, розблокувати захист і лише після цього запускати дизель або збільшувати частоту його обертання.

Результати дослідження забезпечать можливість визначити **надійність роботи критичних вузлів судових головних двигунів** і, зокрема, встановити графік проведення технічного обслуговування ГД при його експлуатації на підставі затвердженого графіку ремонтного циклу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Самонов, С. Ф., Рак, О. М., & Глазева, О. В. (2020). Підвищення ефективності та надійності комбінованих судових пропульсивних установок. Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Електричні машини та електромеханічне перетворення енергії, (3 (1357)), 29-35.

2. Kisietov, J., & Kozlov, A. Some issues of fuel preparation on ships. «Сучасні енергетичні установки на транспорті, технології та обладнання для їх обслуговування» (СЕУТТОО-2023), 55.

3. Ivanov, G., & Polyansky, P. (2022). Визначення імовірності відмов деталей судових дизельних двигунів. *Ukrainian Black Sea region agrarian science*, 26(4), 62-72.

4. Сагін, С. В., & Бондар, С. А. (2023). Розробка методу діагностування технічного стану елементів головної енергетичної установки засобів водного транспорту. *Водний транспорт*, 175-186.

5. Голіков В. А., Шумілова К. В. Надійність судових технічних систем і комплексів : навч. посіб. Одеса : НУОМА, центр «ВидавІнформ», 2024. – 144 с.

Аналіз можливостей перевезення скрапленого водню морським шляхом.

Головний принцип енергопереходу, який в нинішній час анонсується урядами США, європейських та деяких азіатських країн це використання енерго-носіїв, що не залишають вуглицевого сліду як при виробництві так і при використанні. Під ці умови поки що підходять тільки сонце, вітер та «зелений водень».

Зелений водень (H_2V), на сьогоднішній день, є одним з важніших альтернативних палив зі сталими характеристикам і потенціалом для заміни вуглецевих палив в різноманітних галузях та напрямках. Світовий попит на водень перевищив 94 мільйони тон та продовжує зростати [1,2]. Таким чином настав час інвестування в «зелений водень» (Green Hydrogen) виходячи з наступних положень:

- Постійно зростаюча потреба в чистих відновлююмих джерелах енергії для боротьби зі змінами клімату при задовільненні глобального запиту на енергію. - Зелений водень повинен зіграти важливу роль при переході до низько вуглецевій економіці в якості альтернативи традиційним паливам. - Останніми роками технологія вироблення зеленого водню значно удосконалилась, що зробило вірогідним її доступність та економічний зиск. - Постійне зростання тиску урядів та суспільства розвинутих країн з вимогами щодо скорочення викидів парникових газів і досягнення кліматичних цілей. – Потреба в гнучких та масштабованих джерелах енергії для задовільнення попиту на енергію, враховуючи її транспортування та збереження. – Зростаюча потреба в екологічно чистих та ефективних транспортних рішеннях.

Проблема підготовки водню для транспортування може вирішуватися різними засобами: H_2 стискають, скраплюють та змішують з іншими речовинами. Оптимальне рішення залежить від географії поставок, відстані, об'єму та вигляду очікуемого замовником водню. В будь якому агрегатному стані водень можливо спрямувати газогіном, перевезти на судні, транспортувати в спеціальній цистерні. Транспортування газогоном можливе при використанні існуючих газогонів природного газу, однак далеко не всі діючі газогони задовольняють спецефічним технологічним вимогам, які відповідають водню. Безумовно газогін задовільнить далеко не всіх споживачів. Наприклад в Японію, яка на нинішній час є найбільшим споживачем водню, вантаж надходить морським шляхом. З іншого боку Австралія, яка спроможна пропонувати до 45 млн тон водню щорічно, повинна орієнтуватися виключно на морські перевезення.

Скраплений водень є криогенною рідиною з низькою щільністю ($0,07 \text{ г/см}^3$), температурою кипіння при атмосферному тиску близько $-252,8^\circ\text{C}$, виглядає як прозора рідина без запаху, яка при змішуванні з киснем утворює вибухово небезпечну сполуку з коефіцієнтом возгоряння $4 - 75 \text{ \%}$.

З умови перевезення водню в ізотермічних цистернах, наприклад на морському або річковому судні, потрібні цистерни, які розраховані на тиск близький до 50 мПа, що супроводжується надмірно великою вагою безпосередньо цистерни.

На поточний момент спеціалізовані судна для перевезення водню практично відсутні, хоча одне судно під назвою Suiso Frontier було побудоване компанією Kawasaki Heavy Industries в рамках створення безвуглецевого ланцюга поставок водню з Австралії до Японії. Судно має єдиний вантажний танк місткістю 1250 м³, який забезпечує перевезення лише 75 т скрапленого водню при температурі « - 253⁰С». Танк має подвійну оболонку проміж внутрішньою та зовнішньою якої підтримується вакуум. Структура підтримання внутрішнього бака виготовлена з композиту GFRP з метою зниження теплопереносу. Всього Kawasaki планує побудувати 80 танкерів для перевезення скрапленого водню (LH) для перевезення 9 млн. тон щорічно [3,4].

Другим способом морського транспортування водню може бути його перевезення в спеціальних контейнерах, вантажна часина яких має вигляд трубчастого змієподібного елемента, але умови наявності високого тиску робить такі контейнери надмірно важкими при дуже низькій вантажомісткості.

На нинішній час, мабуть найбільш доступним та доцільним є перевезення водню в вигляді суміші з аміаком та іншими органічними носіями.

В 2022 році Японія та Бруней створили систему постачання водню з використання рідкого воднювого носія. Водень в Брунеї розчиняють в толуолі, отримуючи метілциклогексан. Морським шляхом вантаж до порту Кавасаки, де водень вилучають з суміші, а толуол відправляють знову в Бруней.

Іншу схему пропонує Saudi Aramco. Компанія уклала угоду з Huynai Oil Bank, яка закуповує в Саудівській Аравії скраплений нафтовий газ (LPG). Після доставки на LPG танкерах отримувачу, з LPG буде вилучен водень. CO₂, який буде виділятися та збиратися в процесі виробництва, відправляється до Саудівській Аравії, де використовується Saudi Aramco для збільшення нафтовіддачі на старих родовищах.

Транспортування водню в суміші з аміаком на перший погляд здається вельми перспективним, Для того щоб змішати водень з аміаком потрібно витрати від 7 до 18 відсотків від загального обсягу поставки, стільки ж водню втрачається при повторному виділенні. Але враховуючи що аміак може бути скрапленим при температурі -33⁰С, а в перерахунку утримує в 1.7 рази більше водню на кожен метр кубічний, аміачно воднюву суміш транспортувати дешевше ніж чистий водень. Крім того для означених цілей принципово можуть бути використані танкера LPG вантажне обладнання яких дозволяє підтримувати температуру в вантажних танках до – 47 °С. Зрозуміло, що вибір цього варіанту потребує більш ретельного вивчення властивостей аміачно воднювих сумішей та внесення деяких конструктивних доповнень в вантажну систему судна.

Розробки зі створення LH танкерів здійснюються низкою провідних світових компаній, таких як; Wilhemsen Group в Норвегії, Ballard Power Systems

в Канаді, Global Energy Ventures в Австралії та Korea Shipbuilding & Offshore Engineering в Південній Кореї.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Albert H. Schrottenboera, Arjen A.T. Veenstra , Michiel A.J., Evrim Ursavas <https://www-oecd-ilibrary-org.proxy-ub.rug.nl/docserver/caf32f3b-en.pdf?expires=1605620918&id=id&accname=ocid177247&checksum=1544357B277EBFC4132B6CA1B5380781>.
2. Ways to produce hydrogen, MITSIDI reports, 2023, <https://mitsidi.com/en/as-formas-de-producao-de-hidrogenio/>
3. News & Events (англ.). Kawasaki Heavy Industries, Ltd.. 2021
4. Baird Maritime. VESSEL REVIEW | Suiso Frontier – Japanese LH2 carrier sets the pace in hydrogen transport , 2021

Хлієва О.Я., Шестопапов К.О., Константинов І.О., Огурцов Д.В.
Національний університет “Одеська морська академія”, Одеса, Україна

Сучасний стан застосування легкозаймистих робочих тіл у судновому холодильному обладнанні

Питання переходу на використання «дружних до навколишнього середовища» холодоагентів на сьогодні не вирішено у повній мірі. Так звані «природні» холодоагенти такі як аміак та вуглеводні характеризуються відмінними «екологічними» характеристиками, але горючі. Такий холодоагент як CO_2 використовується у дуже специфічному за схемними рішеннями та компонентами холодильному обладнанні, яке з причини високих тисків має великі масо-габаритні параметри. Таким чином, переведення на «природні» холодоагенти суднового холодильного обладнання суттєво ускладнене у порівнянні зі стаціонарним обладнанням.

З'являються наукові роботи, де вуглеводні, перш за все пропан, розглядаються як перспективні холодоагенти для суднового холодильного обладнання [1, 2]. Вуглеводні як перспективні «природні» робочі тіла забезпечують кращі енергетичні характеристики холодильного обладнання, ніж традиційні гідрофторвуглеводні (ГФВ), зберігаючи при цьому аналогічну схему та компоненти холодної системи (на відміну від застосування CO_2 та аміаку як робочих тіл). Завдяки кращій ефективності та дуже низькому потенціалу глобального потепління (ППП), холодильні системи на вуглеводнях як робочому тілі забезпечують менший прямий та непрямий вклад у емісію парникових газів під час експлуатації обладнання, порівняно з ГФВ.

Широке впровадження вуглеводнів як робочих тіл холодильного та іншого енергетичного обладнання обмежується їх займистістю, особливо коли безпека є пріоритетом, як для суднових енергетичних систем. Проте експертами все більше визнається, що займистість робочого тіла не є проблемою сама по собі, якщо виконана належна оцінка ризиків та забезпечена безпека під час експлуатації та обслуговування холодильного обладнання [3]. На рівні стандартизації зараз докладається багато зусиль для регулювання використання легкозаймистих речовин, а саме вуглеводнів, що є необхідним кроком для їх впровадження у практику, у тому числі у судновому застосуванні.

На сьогодні вуглеводні як робочі тіла вже широко використовуються в системах повторного зрідження газу на судах газовозах. На сьогодні накопичений великий досвід по застосуванню аміаку як холодоагенту на морському транспорті. При цьому у інших видах транспортного холодильного обладнання (автомобільний та залізничний) аміак не використовується [3]. Цей досвід послужить основою для подальшого впровадження займистих холодоагентів у суднове холодильне обладнання.

Стандарти та нормативно-технічні документи що регулюють використання займистих речовин як робочих тіл у судновому холодильному обладнанні

За займистістю робочі тіла холодильного обладнання (холодоагенти) класифікуються відповідно до стандартів *ISO 817* та *ASHRAE Standard 34*. Ця класифікація базується на легкості займання та швидкості горіння.

Основні класи займистості холодоагентів:

Клас 1 – Незапальні (Non-flammable). Не горять у повітрі при нормальних умовах (наприклад, R134a, R744 – CO₂, суміші R410A та R407C).

Клас 2 – Малозаймисті (Lower flammability). Мають обмежену здатність до займання, високу концентрацію займання, низьку швидкість поширення полум'я (наприклад, R152a, R142b).

Клас 2L – Малозаймисті з низькою швидкістю горіння (Lower flammability, low burning velocity). Запальються важче, ніж клас 2, мають швидкість горіння менше 10 см/с (наприклад, R717 – аміак, R32, R1234yf, R1234ze(E)).

Клас 3 – Легкозаймисті (Highly flammable). Легко займаються і швидко горять (наприклад, R290 - пропан, R600a - ізобутан, R170 - етан).

Базовим документом, який обмежує, але не забороняє, використання займистих речовин як робочих тіл холодильних та інших енергетичних суднових систем є *Міжнародна конвенція з охорони людського життя на морі (SOLAS)*, яка встановлює загальні вимоги до безпеки суден, включаючи холодильні системи та системи кондиціонування повітря. При цьому інший документ - *Міжнародна конвенція з запобігання забрудненню з суден (MARPOL)* - регулює питання, пов'язані з охороною навколишнього середовища, включаючи контроль за викидами речовин, що можуть впливати на озоновий шар та зміну клімату (саме такими речовинами є переважна більшість робочих тіл холодильного обладнання).

Таким чином, виникла складна проблема, яка потребує використання «безпечних» як для людини так й для навколишнього середовища холодоагентів. Усі холодоагенти, які зайшли широке застосування у сучасному судновому обладнанні (окрім аміаку), є негорючими та нетоксичними речовинами, але відносяться до речовин з високим потенціалом глобального потеплення (озоноруйнівні вже виведені з використання у судновому обладнанні). У той же час так звані «природні» холодоагенти з низьким потенціалом глобального потеплення або горючі (вуглеводні та аміак), або потребують специфічного обладнання з дуже високими робочими тисками та програють у енергоефективності (CO₂).

На шляху впровадження займистих холодоагентів у суднове холодильне обладнання важливу роль можуть зіграти правила *IGC Code (Міжнародний кодекс з систем безпеки для суден, що перевозять зріджені гази наливом)*. IGC Code (розділи 16 та 17) допускає використання вантажного газу як робочого тіла у системах повторного скраплення, але такі системи мають бути розташовані в спеціально обладнаних відсіках з надійною вентиляцією.

Таким чином, ані SOLAS, ані IGC Code на пряму не забороняють використання горючих газів (таких як пропан, етан чи пропілен) у холодильних системах і системах кондиціонування. Проте висувають суворі вимоги до за-

побігання пожежам і вибухам, що обмежують застосування таких робочих тіл, особливо в житлових та машинних відсіках.

З іншого боку з 1 січня 2017 року був введений у дію *IGF Code* (Міжнародний кодекс з безпеки для суден, що використовують гази або інші легкозаймисті палива). Цей документ не стосується безпосередньо вуглеводнів як холодоагентів, але він регулює системи зберігання, подачі та використання газоподібного палива (у тому числі вуглеводнів, перспективних я робочі тіла холодильного обладнання) на борту пасажирських і вантажних суден. Тобто мери безпеки, які описані у *IGF Code*, можуть бути розширені й на використання певних речовин як холодоагентів, що вже відзначається у ряді робіт [4, 5]. Очікується, що проблема займистості при використанні вуглеводневої робочої рідини буде краще врегульована за допомогою прийняття того самого рівня заходів безпеки, який висуває *IGF Code*: використання труб з подвійними стінками; окреме машинне відділення для встановлення компонентів системи з вуглеводневою робочою речовиною, обладнане вентиляцією в атмосферу, покращеною системою виявлення витоків горючих газів та пожежогасіння. Не менш важливими для забезпечення пожежної безпеки є навчання персоналу та управління ризиками [5].

Зі сказаного можна зробити загальний висновок про існування потреби в кращій стандартизації вимоги щодо використання «природних» вуглеводневих холодоагентів на борту судна, що буде сприяти зниженню вкладу суднового холодильного обладнання у емісію парникових газів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Singha P., Das C., Köster L., Kochunni S. K., Dasgupta M. S., Widell K. N., ... & Hafner, A. Thermodynamic comparison of various refrigerants for an on-board R290 refrigeration system with economizer subcooling in small fishing boats. *Thermal Science and Engineering Progress*. 2025. 103443.
2. Álvarez Pardiñas Á., Gabrielii C. H. Implementation of natural refrigerants on cruise ships. A review of rules and regulations from two Classification Societies. 2022.
3. Minetto S., Fabris F., Marinetti S., Rossetti A. A review on present and forthcoming opportunities with natural working fluids in transport refrigeration. *International Journal of Refrigeration*. 2023. Vol. 152. P. 343-355.
4. Suárez de la Fuente S., Greig A. R. Making shipping greener: Comparative study between organic fluids and water for Rankine cycle waste heat recovery. *Journal of Marine Engineering & Technology*. 2015. Vol. 14(2). Vol. 70-84.
5. Ng C. W. Modelling and simulation of organic Rankine cycle waste heat recovery system with the operational profile of a ship. Doctoral dissertation, Newcastle University. 2022.

Методика екологічно-енергетичного аналізу суднових холодильних систем

Метою даного дослідження був подальший розвиток еколого-енергетичного аналізу [1] з метою його адаптації до аналізу суднових холодильних систем (СХС) та розробка нових індикаторів, які можна використувати для наукового обґрунтування технічних рішень при проектуванні та модернізації СХС, у тому числі з впровадження теплоутилізаційних холодильних машин. Підхід базується на визначенні величини TEGHGE (total equivalent greenhouse gases emissions) – повної еквівалентної емісії парникових газів [1-3].

При розрахунку TEGHGE стосовно аналізу СХС пропонується враховувати такі вклади:

- непрямі викиди CO_2 , викликані споживанням електроенергії при експлуатації СХС;
- непрямі викиди CO_2 , викликані споживанням електроенергії та матеріальних ресурсів при виробництві, обслуговуванні, ремонті та утилізації СХС;
- непрямі викиди CO_2 , що пов’язані з людською працею, а саме з забезпеченням працівників товарами та послугами (при обслуговуванні СХС);
- прямі викиди CO_2 під час спалювання палива для виробництва теплоти;
- прямі викиди CO_2 під час спалювання палива для транспортування СХС;
- прямі викиди ПГ, спричинені витоками холодоагенту.

Значення TEGHGE для СХС систем можна розрахувати за рівнянням (1).

$$\begin{aligned}
 TEGHGE = & \sum_j \sum_i em_i \cdot m_i + \sum_j \sum_i em_{util\ i} \cdot m_i + em^{h.l} \cdot T_i^{h.l} \cdot \tau + \\
 & + \left(\sum_j \sum_i em_i \cdot m_i \right) (k_{am} + k_{rep}) \cdot \tau + em_{el} \cdot P_{el} \cdot \tau + \\
 & + em_{heat} \cdot P_{heat} \cdot \tau + AER \cdot \sum_i m_i \cdot l_{voyage} \cdot n_{voyage} + \\
 & + (m_R \cdot L_{annual} \cdot \tau + m_R \cdot \gamma_{R\ util}) \cdot GWP_R,
 \end{aligned} \tag{1}$$

де em_i – викиди CO_2 при виробництві i -го матеріалу, спожитого під час виробництва j -го елемента СХС, $(\text{кг CO}_2) \cdot (\text{кг матеріалу})^{-1}$; m_i – маса i -го матеріалу, кг; $em_{util\ i}$ – викиди CO_2 при утилізації та переробці i -го матеріалу, $(\text{кг CO}_2) \cdot (\text{кг матеріалу})^{-1}$; $em^{h.l}$ – викиди CO_2 внаслідок людської праці, яка забезпечує працівників товарами та послугами, $(\text{кг CO}_2) \cdot (\text{люд} \cdot \text{год})^{-1}$; $T_i^{h.l}$ – витрати праці людини на обслуговування системи, $(\text{люд} \cdot \text{год}) \cdot \text{рік}^{-1}$; τ – се-

редній термін експлуатації СХС, рік або годин; k_{am} та k_{rep} – частка капітальних витрат на рік на амортизаційні витрати та ремонт; em_{el} – питомі викиди CO_2 при виробництві електроенергії на судні, $(\text{кг } CO_2) \cdot (\text{кВт} \cdot \text{год})^{-1}$; P_{el} – електрична потужність СХС, кВт; em_{heat} – викиди CO_2 при виробництві теплоти, $(\text{кг } CO_2) \cdot \text{кДж}^{-1}$; P_{heat} – теплова потужність СХС, кВт; AER – середні викиди CO_2 при перевезенні 1 тони дедвейту судна на 1 морську милю, $(\text{г } CO_2) \cdot (\text{дедвейт})^{-1} \cdot (\text{морська миля})^{-1}$; l_{voyage} та n_{voyage} – довжина рейсу у морських милях та середня кількість рейсів за період τ ; m_R – маса заправки холодоагенту в СХС, кг; GWP_R – потенціал глобального потепління холодоагенту, $(\text{кг } CO_2) \cdot \text{кг}^{-1}$; L_{annual} – річні витрати холодоагенту з системи, частка від маси заправки холодоагенту на рік; γ_{Rutil} – коефіцієнт утилізації холодоагенту, частка від маси заправки холодоагенту.

Перший член характеризує непряму емісію ПГ при виробництві СХС. Емісію при створенні матеріалоємних елементів обладнання доцільно оцінювати за величинами питомих викидів при виробництві матеріалів (мідь, алюміній, полістирол та інше), які наведені, наприклад, в [4]. Розрахунок першого члена рівняння є складним для високотехнологічних елементів обладнання, наприклад, приладів керування та автоматики, виготовлення яких вимагає більше енергетичних ресурсів та людської праці, ніж матеріальних ресурсів. У такому випадку пропонується для певних j -х елементів холодильної системи застосовувати наступне рівняння:

$$\sum_i em_i \cdot m_i = em_{GDP} \cdot c_j, \quad (2)$$

де c – первинна вартість j -го елемента обладнання, \$; em_{GDP} – вуглецемісткість ВВП країни, де вироблено елемент обладнання, $(\text{кг } CO_2) \$^{-1}$.

Другий член рівняння при відсутності додаткових даних, можна оцінити за величинами викидів CO_2 при утилізації певних матеріалів, з яких виготовлена СХС, та які наведені, наприклад, в [4].

Третій член рівняння оцінює вклад в емісію ПГ від трудовитрати на обслуговування СХС. Непрямі викиди CO_2 генеруються під час забезпечення працівників товарами, послугами та культурними потребами за рахунок отриманих ними коштів під час їхньої праці. За даними [5], 1 година праці кваліфікованого робітника генерує у середньому 0,52 кг CO_2 , тоді як низькокваліфікованого - 0,41 кг CO_2 .

Четвертий член рівняння оцінює непряму емісію, пов'язану з ремонтом та амортизаційними витратами під час експлуатації обладнання та розраховується аналогічно першому.

П'ятий член рівняння враховує непрямі викиди ПГ, пов'язані зі споживанням електроенергії СХС. Цей член для СХС зазвичай вносить найбільший вклад в величину $TEGHGE$. Якщо електроенергія виробляється дизель-

генераторами, то використовується наступне рівняння для кількості палива на його роботу:

$$M_{Fuel}^{El} = P_{el} \cdot g_F \cdot \tau_{voyage} \cdot n_{voyage}, \quad (3)$$

де g_F – питома витрата палива дизель-генератором, кг (кВт·год)⁻¹; τ_{voyage} – тривалість рейсу, годин; n_{voyage} – кількість рейсів за період τ .

Тоді п'ятий член рівняння (1) розраховується наступним чином

$$em_{el} \cdot P_{el} \cdot \tau = M_{CO_2}^{El} = M_{Fuel}^{El} \cdot CF, \quad (4)$$

де CF – коефіцієнти переведення маси палива в масу CO₂, (т CO₂)/(т палива⁻¹);

Шостий член рівняння враховує непрямі викиди ПГ, пов'язані зі споживанням теплової енергії СХС. Величини em_{heat} буде залежати від способу генерації теплоти. Якщо теплота виробляється у котлі-утилізаторі, то em_{heat} можна прийняти рівною нулю. Якщо теплота виробляється у допоміжному котлі, то em_{heat} у (кг CO₂)/кДж⁻¹ можна розрахувати наступним чином:

$$em_{heat} = \frac{CF \cdot \eta_{ДК}}{Q_{паливо}^H}, \quad (5)$$

де $\eta_{ДК}$ – ККД допоміжного котла; $Q_{паливо}^H$ – нижча теплота згоряння палива, кДж/кг.

Сьомий член рівняння враховує непрямі викиди ПГ, пов'язані з витратами суднового палива на транспортування СХС. Середня величина AER (annual efficiency ratio), визначена для водних засобів транспорту (середня емісія CO₂ на одиницю дедвейту судна на одну морську милю) у 2018 році склала 6,31 г CO₂·(т дедвейту)⁻¹·(морська миля)⁻¹ [6].

Восьмий член рівняння враховує прямі викиди ПГ, пов'язані з потраплянням холодоагенту у довкілля. Доля витоків холодоагентів з СХС під час їх експлуатації є найбільшою зі всіх видів холодильних систем та складає від 20 до 40 % від маси заправки на рік [7]. Коефіцієнт утилізації холодоагенту прийнятий 70 % від маси заправки холодоагенту у систему, що є типовим значенням для холодильних систем с масою заправки до 100 кг [7].

Аналіз доцільно виконувати в питомих одиницях, тому було запропоновано індикатор em_{refr} – питомі викиди CO₂ за життєвий цикл СХС, віднесена до 1 кВт·год виробленого на борту судна холоду:

$$em_{refr} = \frac{TEGHGE}{\dot{Q}_0 \cdot \tau}, \quad (\text{кг CO}_2)/\text{кДж}, \quad (6)$$

де $\dot{Q}_0$ – холодопродуктивність системи, кВт; τ – час роботи обладнання (середній термін експлуатації холодильної системи), с.

Запропонований індикатор може використовуватися для порівняння суднових холодильних систем та систем кондиціонування повітря з різною холодопродуктивністю. Практична значущість запропонованої методики та індикатора полягає в простоті збору вхідних даних та відсутності необ-

хідності придбання комерційного програмного забезпечення. Запропонований підхід може бути поєднаний з іншими видами аналізу (економічним, енергетичним) в інженерній практиці. Запропонована методика є доступною та відкритою для користувачів і може бути адаптована до аналізу різноманітних СХС, а також різноманітних допоміжних систем.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Chen G., Zhelezny V., Khliyeva O., Shestopalov K., Ierin V. Ecological and energy efficiency analysis of ejector and vapor compression air conditioner. *Int. J. Refrig.* 2017. Vol. 74. P. 127-135.
2. Shestopalov K., Khliyeva O., Ierin V., Konstantinov O., Khliiev N., Neng G., Kozminykh M. Novel marine ejector-compression waste heat-driven refrigeration system: technical possibilities and environmental advantages. *Int. J. Refrig.* 2024. Vol. 158. P. 202-215.
3. Khliyeva O., Shestopalov K., Ierin V., Zhelezny V., Chen G., Gao N. Environmental and energy comparative analysis of expediency of heat-driven and electrically-driven refrigerators for air conditioning application. *Appl. Therm. Eng.* 2023. Vol. 219, Part B. 119533.
4. Guideline for Life Cycle Climate Performance. International Institute of Refrigeration. Life Cycle Climate Performance Working Group, IIR, France, 2016.
5. Rugani B., Panasiuk D., Benetto E. An input–output based framework to evaluate human labour in life cycle assessment, *Int. J. Life Cycle Assess.* 2012. Vol. 17. P. 795-812.
6. Fourth IMO GHG Study 2020. *International Maritime Organization*. 2020.
7. Methods of calculating total equivalent warming impact (TEWI). Best practice guidelines. *Australian Institute of Refrigeration, Air-conditioning and Heating. AIRACH*. 2012. https://www.airah.org.au/Content_Files/BestPracticeGuides/Best_Practice_Tewi_June2012.pdf (дата звернення: 06.03.2025 р.)

Дослідження процесів у силовому ланцюзі козлового консольного крана після обриву троса

З метою підвищення надійності вантажопідійомних пристроїв було запропоновано використання резервування у силовому ланцюзі зведеного підвісу вантажу. При цьому використовується два окремих троса і з'являється можливість утримати вантаж після одного з них. Для визначення умов, за яких вантаж буде гарантовано утриманий, необхідно визначити максимальні навантаження на різних режимах навантаження вантажопідійомного пристрою.

Одним з напрямів досліджень є розробка математичних моделей, що описують процеси, які відбуваються у силовому ланцюзі козових кранів. На відміну від мостових кранів, у козових кранах мають місце коливання як у вертикальному напрямку, так і у горизонтальному.

У роботах були досліджені процеси, що відбуваються у силовому ланцюзі козового крана після обриву троса зведеного підвісу без пристроїв, які б забезпечували зниження надлишкових зусиль.

Метою даної роботи є дослідження навантажень у випадку, коли вантаж нерухомо підвішений при знаходженні вантажного візка на консолі.

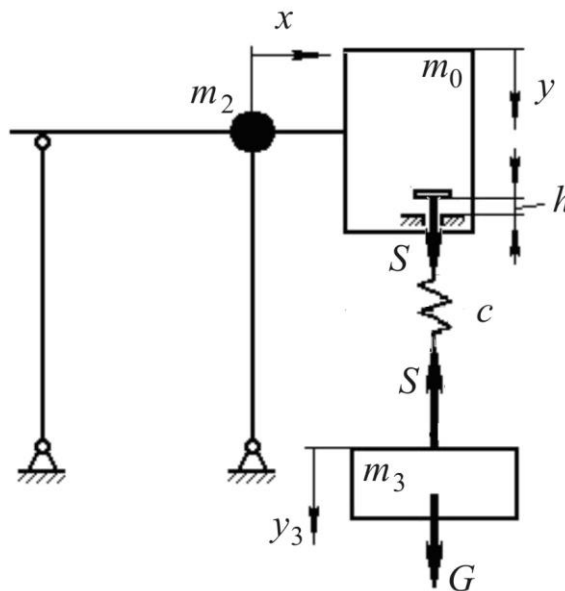


Рис. 1. Динамічна модель козового крана у випадку обриву каната при опусканні вантажу

Процеси, що відбуваються у силовому ланцюзі, розділено на два етапи. На першому етапі рух мас описується рівняннями

$$\begin{cases} m_2 \delta_{xx} \ddot{x} + m_0 \delta_{xy} \ddot{y} + x = 0; \\ m_0 \delta_{yy} \ddot{y} + m_2 \delta_{yx} \ddot{x} + y = 0; \\ m_3 \ddot{y}_3 = G, \end{cases}$$

де m_0 — маса візка й металокопструкції крана, приведена до вертикального переміщення кінця консолі у, де розташований візок, кг;

m_2 — маса візка й металокопструкції крана, приведена до горизонтального переміщення x пролітної будови, кг;

δ_{xx} , δ_{yy} , δ_{xy} , δ_{yx} — піддатливості металокопструкції крана, причому δ_{yy} визначається як переміщення маси m_0 у напрямку у при дії на неї одиничної сили в цьому ж напрямку, аналогічно визначаються й інші параметри, причому $\delta_{yx} = \delta_{xy}$, м/Н;

m_3 — маса вантажу, кг;

G — вага вантажу, Н;

$\ddot{x}$, $\ddot{y}$, $\ddot{y}_3$ — прискорення мас m_2 , m_0 і m_3 відповідно, м/с².

Початкові умови

$$t_1 = 0, x = G \delta_{xy}, \dot{x} = 0, y = G \delta_{yy}, \dot{y} = 0,;$$

$$y_3 = 0, \dot{y}_3 = 0.$$

Умова переходу до етапу руху, на якому навантаження прикладається до каната, що залишився цілим, тобто після того, як падаючий вантаж вибере слабіну каната, що утворилася, каната,

$$\frac{gt^2}{2} = h - \frac{G}{2c} - (G \delta_{yy} - y),$$

де t — час вільного падіння вантажу, с;

g — прискорення вільного падіння, м/с²;

h — приведена ділянка вільного ходу зрівняльного важеля, м;

$2c$ — жорсткість підвісу до обриву одного з канатів, Н/м, м.

Після вибору зазору у силовому ланцюзі рівняння руху мас мають вигляд

$$\begin{cases} m_2 \delta_{xx} \ddot{x} + m_0 \delta_{xy} \ddot{y} + x - c(y_3 - y) \delta_{xy} = 0; \\ m_0 \delta_{yy} \ddot{y} + m_2 \delta_{yx} \ddot{x} + y - c(y_3 - y) \delta_{yy} = 0; \\ m_3 \ddot{y}_3 + c(y_3 - y) = G. \end{cases}$$

Зусилля в підвісі визначається за формулою

$$S = c(y_3 - y).$$

Початкові умови для другого етапу

$$t_2 = 0, x = (x)_1, \dot{x} = (\dot{x})_1, y = (y)_1, \dot{y} = (\dot{y})_1, y_3 = (y)_1, \dot{y}_3 = (\dot{y}_3)_1,$$

де $(x)_1, (y)_1$ — переміщення мас m_2 і m_0 наприкінці першого етапу, м;

$(\dot{x})_1, (\dot{y})_1, (\dot{y}_3)_1$ — швидкості мас m_2, m_0 і m_3 наприкінці першого етапу, м/с.

Розроблена математична модель реалізована реалізовані у вигляді програм для ЕОМ з використанням методу Рунге-Кутта 4-го порядку. Проведені обчислювальні експерименти. Результати для козлового крана вантажопідйомність 12,5 т наведені на рис. 2.

У процесі розв'язання рівнянь динамічні навантаження, що діють на металоконструкцію, визначаються по залежностях

$$F_x = xc_x, F_y = yc_y,$$

де F_x — горизонтальне навантаження, Н;

F_y — вертикальне навантаження, Н;

c_x — жорсткість металоконструкції в горизонтальному напрямку, Н/м;

c_y — жорсткість металоконструкції у вертикальному напрямку, Н/м.

Результати для козлового крана вантажопідйомністю 12,5 т наведені на рис. 2 у вигляді графіків залежностей навантажень у підвісі та у металоконструкції від часу: $S(t)$, $F_x(t)$ і $F_y(t)$.

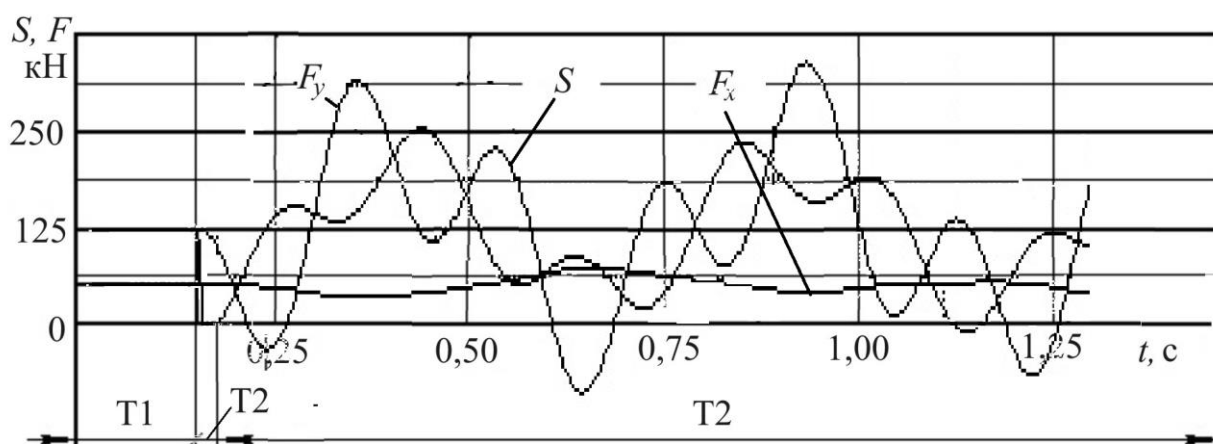


Рис. 2. Графіки залежностей зусиль у підвісі й у металоконструкції

Максимальне навантаження на підвіс становить 257,1 кН, вертикальне навантаження на металоконструкцію 332,6 кН, горизонтальне 70,1 кН.

Порівняно з випадком обриву троса при опусканні вантажу у цьому ж крані [1] розрахункові навантаження на поліспастовий підвіс знизились на 21%, на металоконструкцію вертикальні збільшились на 20%, вертикальні зменшились на 21%. Це пояснюється тим, що у випадку обриву троса під час опускання вантажу час вибору зазору у силовому ланцюзі більший за рахунок того, що механізм підйому подає трос у напрямку падіння вантажу. Що призводить до більшої швидкості прикладення навантаження до цілого троса.

Розроблена математична модель дозволяє досліджувати процеси, що відбуваються в козловому консольному крані з однією гнучкою опорою після обриву троса здвоєного підвісу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

Математична модель аварійного опускання вантажу козовим краном після обриву одного з тросів / О. М. Стукаленко // Матеріали науково-технічної конференції "Морський та річковий флот: експлуатація і ремонт", 22.03.2023 – 23.03.2023. – Одеса: НУ «ОМА», 2023. – С. 43-86.

Пожежі на контейнеровозах – необхідність нових підходів та засобів

З набуттям нашою державою статусу країни-кандидата на вступ до ЄС більшою суттєво збільшується потреба у гармонізації національного законодавства та законодавства ЄС, впровадженні міжнародних стандартів та інтеграції національної транспортної мережі до Транс'європейської транспортної мережі (TEN-T). Національна транспортна стратегія також потребує модернізації згідно пріоритетам та цілям Європейського зеленого курсу в секторі транспорту і мобільності. Це, в свою чергу, обумовлює низку вимог щодо наявності комплексу організаційних, кадрових та матеріальних ресурсів і належного правового регулювання.

Оновлена Національна транспортна стратегія України орієнтована на підвищити інституційної спроможності органів управління транспортного сектору, сприятиме розвитку людського капіталу, цифровізації галузі з метою подальшої реалізації галузевих реформ та підтримки євроінтеграційного курсу України.

Вітчизняна економіка не зможе успішно розвиватися без достатнього забезпечення транспортною інфраструктурою з високою швидкістю доставки вантажів та пасажирів, для чого потрібне невідкладне створення безпечних транспортних коридорів.

Таким чином, важливим і актуальним є питання суттєвого вдосконалення галузевих програмних документів та розроблення нових програмних документів у сферах галузі морського транспорту з метою вдосконалення державної політики у пріоритетних напрямках, визначення послідовності дій для розв'язання виявлених проблем, досягнення поставлених цілей розвитку у сферах морського транспорту за результатами виконання запланованих взаємопов'язаних завдань і заходів [1].

Кількість аварійних випадків, обумовлених загоряннями контейнерів, за останнє десятиліття та їх наслідки, пов'язані з травматизмом або загибеллю людей, серйозні пошкодження або втрати активів, а також проблеми з навколишнім середовищем привертають значну увагу серед зацікавлених сторін.

Отже, оператори ліній найбільших контейнерних перевезень, страхових компаній, Міжнародна морська організація (ІМО) та класифікаційні товариства вжили певних заходів для зменшення ризику пожежі та посилення ефективності боротьби з вогнем у разі спалаху. Через численні пожежі на контейнеровозах 2000 ... 2010 році п'ять найбільших контейнерних судноплавних ліній заснували CINS-ініціативи. Мета цієї ініціативи полягає в зборі інформації про експлуатаційні інциденти, пов'язані з вантажем, аналіз зібраної інформації що вантажі і контейнер у інцидентах, визначення зони занепокоєння та пропонування комплексу дій щодо підвищення безпеки в

ланцюзі контейнерних перевезень. На основі вищезазначених цілей відповідні органи влади можуть вносити зміни коду IMDG і консультувати з питань навчання, пов'язаних з пакуванням та кріплення вантажу в контейнерах [2, 3].

Інцидент з загорянням контейнера стався у вересні 2024 року. Наприкінці робочого дня пролунала аварійно-попереджувальна сигналізація, і на екрані головного монітору ЦПУ з'явився напис "CH #5 smoke detector abnormal". Протипожежна система зафіксувала дим в трюмі. На той час в ЦПУ були старший і другий механіки і кадет. Сповістивши старшого механіка, кадет сповістив електромеханіка, який прибув у машинне відділення, де вже було приготовлено по ситуації мінімальний набір інструментів та інфрачервоний термометр.

Основним завданням було провести первинний аналіз і виявити чи не має відкритої пожежі в трюмі. Електромеханік був на постійному зв'язку зі старшим помічником капітана. Тут залишилось два варіанта: або проблема з датчиком або щось горить, але не відкрито. Після того як в трюм спустився сам старший помічник і палубний кадет було прийнято рішення йти Сеньйорским складом, окрім капітана, з двома кадетами. Також було взяло термокамеру FLIR.

Термокамера "FLIR" - це спеціальний пристрій для створення зображень з функцією тепловізору. Цей пристрій був у даному розслідуванні ключовим тому що в ту пору року в Індонезії температура зовні +30 C, а в машинному відділенні і в трюмах +45 C. Безпечних варіантів без спеціального обладнання просто не було.

Один за одним почали перевірятись контейнери. Приблизно за 5-6 хвилин було знайдено проблемний контейнер, тому що він був на найнижчому рівні, але ситуація дуже сильно ускладнювалась тим, що в тому ж трюмі був вибухонебезпечний вантаж. Весь екіпаж був піднятий за тривоною.

Основною задачею було скоординувати дії в разі непередбачуваного розповсюдження вогню. Серед варіантів було слідкувати або робити перфорацію пристроєм системи "Hydro Pen" і тушити зсередини.

Далі йшли довгі 40 хвилин постійних перевірок температури контейнера. Протягом цього часу температура почала спадати і разом з цим атмосфера тривоги, але слідкування за контейнером продовжувалось.

Через дві години стан тривоги був відмінений. І зразу стало інше питання: "Що було в контейнері?". Було відомо про автомобільні запчастини, але потім внесено чіткості - автомобільні акумулятори, які під дією зовнішніх обставин почали нагріватися. Це створювало дуже небезпечну ситуацію, бо не було впевненості, що вони не вибухнуть.

Ефективність боротьби з такими масштабними пожежами більшою мірою залежить від часу виявлення місцезнаходження епіцентру пожежі, вибору тактики протипожежних заходів і часу блокування й придушення загоряння на початковому етапі.

Час придушення полум'я багато в чому визначається ефективним застосуванням вогнегасячих засобів у районі загоряння. У свою чергу, на ефективність використання водяної завіси суттєво впливає й запізнювання "водяного удару" – час, що проходить від моменту визначення епіцентру загоряння до моменту накриття водою вогню. У цей проміжок часу пожежними стволи ще не наведені на епіцентр загоряння. Наведення також ускладняється коливаннями корпусу судна на хитавиці. Тому напрямок осі каналу стволу в момент виходу води буде відрізнятися від напрямку, заданого командиром пожежного розрахунку. У таких умовах позиціонування пожежного ствола щодо вогнища загоряння вручну є складним, а за певних умов неможливим завданням.

Як наслідок, упускається час гарантованого придушення вогню й на палаюче судно надходять додаткові маси води. Остання обставина може негативно впливати на параметри остійності судна. Крім того, може бути відсутня можливість візуального визначення місця загоряння, якщо воно відбувається на верхніх ярусах контейнерів.

Окрім впровадження автоматизованих засобів управління протипожежними системами (АЗУПС), уявляється доцільним також розробка заходів спрямованих на створення локальних засобів протидії пожежі [4, 5].

Найбільш простим у реалізації засобом може бути мережа протипожежних водяних бар'єрів (рис. 1).

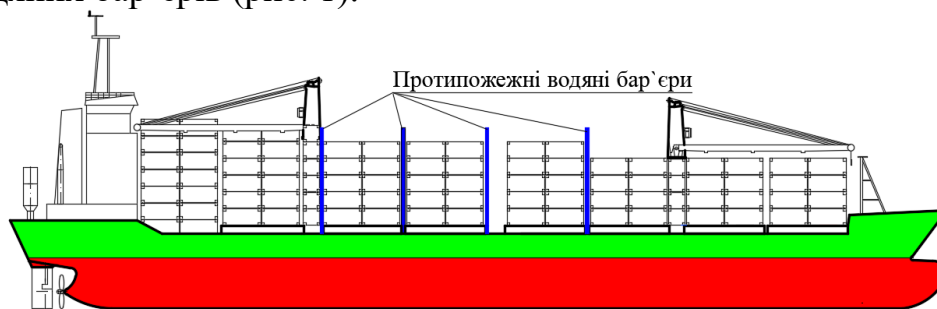


Рис. 1. Схема розташування автоматизованих протипожежних бар'єрів на контейнеровозі (модулі позначені блакитних кольором)

До складу обладнання бар'єрів правого та лівого бортів можуть бути трубопроводи пожежної системи з набором розпилювачів та ємності з піноутворюючою рідиною. Для функціонування системи використовуються штатні пожежні, баластні та осушувальні насоси. Щільність установки розпилювачів повинна бути така, щоб площини водяних завіс, що утворюються, перекривали одна іншу. А разом вони утворювали бар'єр, що розділяє блоки контейнерного вантажу на судні.

Використання такої системи водяних бар'єрів дозволить не тільки локалізувати осередки загоряння. Попередні оціночні розрахунки показують, що суттєво може бути зменшено час, з якого буде розпочато боротьбу з вогнем. Так для контейнеровоза довжиною 250 ... 260 метрів при боротьбі з вогнем у носових відсіках коефіцієнт готовності S протипожежних засобів для водяного бар'єру досягає 100 % приблизно за 4 хвилини. При застосу-

ванні місцевих пожежних засобів силами екіпажу час t збільшує майже до 15 хвилин з моменту оголошення пожежної тривоги [6, 7].

Для створення датчиків контролю ситуації та гідрометеорологічних показників найбільш раціональним уявляється використання елементної бази волоконної оптики [8, 9]. Волоконно-оптичні датчики мають високу чутливість до широкого кола фізичних величин. Основний конструктивний елемент волоконних вимірювальних пристроїв і ліній зв'язку – волоконний світловод нечутливий до впливу електромагнітних перешкод. Він виконується з хімічно інертного кварцового скла, тому добре працює в умовах агресивного впливу зовнішнього середовища, що забезпечує довговічність і швидкодія волоконно-оптичних датчиків і інформаційно-вимірювальних систем на їхній основі.

Використання протипожежного водяного бар'єру пропонованої конструкції дозволить значно скоротити час боротьби за живучість аварійних суден. Впровадження даного схемотехнічного рішення може позитивно вплинути на економічні показники морської індустрії. Особливо це стосується безпілотних суден. Безпілотні судна можуть бути достатньо ефективними, менш коштовними та більш прибутковими щодо сучасних транспортних суден з екіпажем. Але найголовніше, впровадження безпілотних суден з ефективною системою пожежної безпеки, дозволить зробити значущий крок у розв'язанні задачі забезпечення безпеки судноводіння та безпеки життєдіяльності людини на морі [10].

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Постанова Кабінету Міністрів України "Про схвалення Національної транспортної стратегії України на період до 2030 року та затвердження операційного плану заходів з її реалізації у 2025-2027 роках" № 1550 від 27 грудня 2024 р.
2. Krmeek, I., Kos, S., & Brčić, D. Analytical research of the container ships cargo area fires in the period from 2010 to 2020. URL: https://www.researchgate.net/publication/358923453_Analytical_Research_of_the_Container_Ships_Cargo_Area_Fires_in_the_Period_From_2010_to_2020.
3. Malchow, U. Growth in containership sizes to be stopped? URL: https://www.researchgate.net/publication/321770708_Growth_in_containership_sizes_to_be_stopped.
4. Колегаев, М. А., Сандлер, А. К., Цюпко, Ю. М. Автоматизированная система управления судовыми противопожарными средствами // Судовые энергетические установки. – Одесса: ОНМА. – 2015. – Вып. 35. – Одесса: ОНМА. – С. 122 - 128.
5. Сандлер, А. К., Дрозд, О. В. Автоматизованний модуль протипожежного захисту контейнеровозів // Scientific forum: theory and practice of research: collection of scientific papers «SCIENTIA» with Proceedings of the VII International Scientific and Theoretical Conference, January 31, 2025. Valencia, Kingdom of

Spain: International Center of Scientific Research. – P. 139 -145. DOI: <https://doi.org/10.36074/scientia-31.01.2025>.

6. Дрозд, О. В., Сандлер, А. К. Загальносуднові системи – чи доцільна суцільна економія? // *Ricerche scientifiche e metodi della loro realizzazione: esperienza mondiale e realtà domestiche: Raccolta di articoli scientifici "ΛΟΓΟΣ"* congli atti della V Conferenza scientifica e pratica internazionale, Bologna, 26 aprile, 2024. Bologna-Vinnytsia: Associazione Italiana di Storia Urbana & UKRLOGOS Group LLC, 2024. – P. 276 - 280. DOI 10.36074/logos-26.04.2024.058.

7. Дрозд, О. В., Сандлер, А. К. Автоматизований протипожежний бар'єр на контейнеровозі // *Scientific practice: modern and classical research methods: Collection of scientific papers «ΛΟΓΟΣ» with Proceedings of the VII International Scientific and Practical Conference*, Boston, February 14, 2025. Boston: Primedia eLaunch & UKRLOGOS Group LLC, 2025. P. 211 - 219. DOI 10.36074/logos-14.02.2025.

8. Сандлер, А. К. Метод підвищення ефективності діагностування технічного стану суднових газотурбінних установок на основі волоконно-оптичних технологій: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.22.20 / Київський університет інфраструктури та технологій. – К., 2021. – 20 с.

9. Дрозд, О. В., Сандлер, А. К. Автоматизований мобільний пристрій пожежогасіння з проколюючим соплом // *Theoretical and practical scientific achievements: research and results of their implementation: collection of scientific papers «SCIENTIA» with Proceedings of the VIII International Scientific and Theoretical Conference*, February 21, 2025. Liverpool, England, United Kingdom: International Center of Scientific Research. – P. 99 - 106. DOI 10.36074/scientia-21.02.2025.

10. Сандлер, А. К., Омельченко, Т. Ю. Про необхідність впровадження новітніх технологій моніторингу технічного стану безпілотних суден // *Ricerche scientifiche e metodi della loro realizzazione: esperienza mondiale e realtà domestiche: Raccolta di articoli scientifici "ΛΟΓΟΣ"* congli atti della V Conferenza scientifica e pratica internazionale, Bologna, 26 aprile, 2024. Bologna-Vinnytsia: Associazione Italiana di Storia Urbana & UKRLOGOS Group LLC, 2024. – P. 240 - 244. DOI 10.36074/logos-26.04.2024.049.

Нанотехнології – шлях для ефективного збільшення ресурсу судна

У 21 столітті розвиток науки та техніки, спрямований на дослідження характеристики макрооб'єктів на молекулярному рівні. Ця область науки і техніки отримала назву нанотехнологія [1]. У діапазоні розмірів 1 -100 нанометрів змінюються фізичні і хімічні властивості речовин, а їх унікальні властивості знаходять застосування у всіх областях. В даній роботі досліджені властивості поверхонь покритих наноматеріалами, застосування яких збільшує ресурс корпусу судна та зменшує витрати на експлуатацію судна.

Захист корпусу судна від корозії

Корозія та обростання корпусу завдає великої економічної та екологічної шкоди, а прямі економічні втрати від них сягають 440 мільярдів доларів США щороку. Найпоширенішим методом захисту металів від корозії є фарбування, завдяки низькій вартості, простоті застосування, легкості реставрації та можливості сполучення з іншими методами захисту. Завдяки нанотехнологіям можна отримати покриття, які захищають поверхню металів набагато краще, ніж ті методи захисту від корозії, що застосовувалися раніше. Методами нанотехнології отримані покриття, які захищають поверхню металів набагато краще традиційних, оскільки просочують поверхні металу товщиною в кілька мікрон, стійкі до механічного зношування, хімічно стійкі. Такі лакофарбні матеріали (ЛФМ) передбачають невеликий вміст функціональних добавок (на рівні 1-5%) в рецептурному складі, що містять нанофазу, наприклад, SiO_2 (~20 нм), TiO_2 (5-10 нм), вуглецеві нанотрубки [2].

Утворені нанооболонки не лише запобігають корозії, але мають наномасштабні структури поверхні, які знижують опір води, що зумовлює зниження енергоспоживання суден. Антикорозійні покриття з використання наночастинок (НЧ) за рахунок їх нерівноважного стану проявляють **самоорганізацію** – самостійно заліковують (ремонтують) мікротріщини на поверхні корпусу судна. Це значно поліпшує ефективність захисного шару. Такі лакофарбові покриття мають великий термін служби – до 5 років.

Захист корпусу судна від біологічної корозії та обростання

Присутність у воді кисню, вуглекислого газу та сірководню є живильним середовищем для шкідливих мікроорганізмів. Мікроорганізми є важливою причиною біологічної корозії, яка зумовлену діяльністю бактерій та інших мікроорганізмів. Біологічне обростання суден бактеріями, водоростями і тваринами знижує швидкість руху судна, погіршує експлуатаційні властивості, веде до руйнування конструкцій. Завдяки нанотехнологіям можна отримати покриття, які ефективно запобігають обростання та біокорозії [2].

Наприклад, при додаванні наночастинок срібла (~5–20 нм) покриття мають унікальні антисептичні властивості шляхом проникнення в бактеріальну

клітину, що приводить до дезактивації ферменту, припиняє ріст бактерій і зумовлює загибель бактеріальної клітини (рис.1).

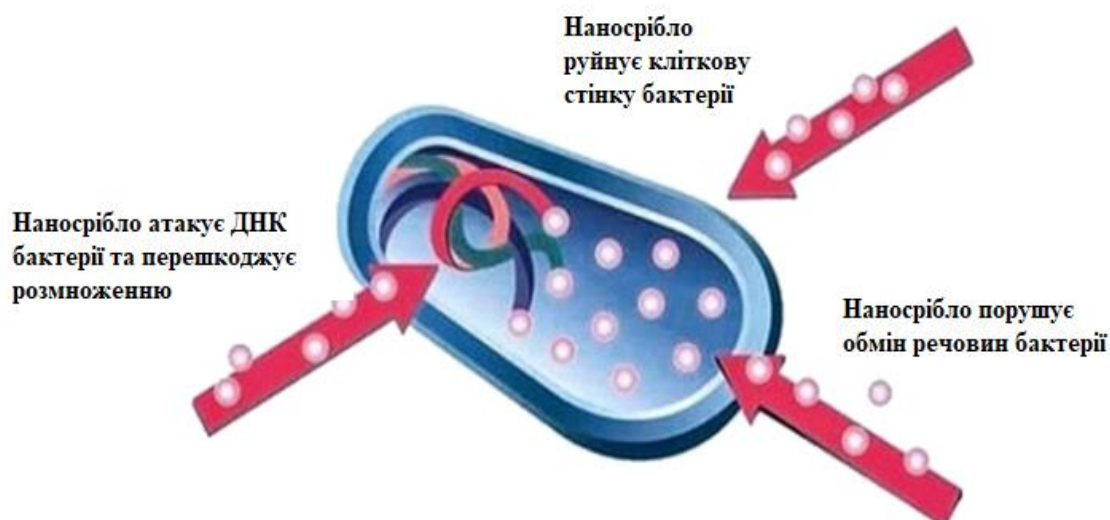


Рис. 1. Механізм впливу НЧ Ag на бактерії та його антибактеріальні властивості [2]

НЧ оксиду металів, такі як ZnO та TiO_2 під дією падаючого кванта світла утворюють активної форми кисню (АФК), що приводить до різкого окислювального процесу, оскільки включають іони кисню з неспареними валентними електронами, які проявляють надзвичайну активність. Після проникнення через оболонку АФК спричиняє пошкодження ДНК і РНК, окислення ліпідів, зміну білка, інгібування ферментів тощо [3].

Використання супергідрофобних матеріалів

Для підтримки судна, його елементів та механізмів в експлуатаційній готовності найчастіше 1 раз на 5 років виконуються ремонтні роботи. Ця сукупність дій здійснюється у сухих та плавучих доках і вимагає значних витрат. Використання наноматеріалів значно спрощують таку процедуру.

Поверхні, які не змочуються рідиною називаються **гідрофобними**, для них кут змочування $\theta > \pi / 2$. Поверхні, для яких $\theta \sim 150^\circ - 170^\circ$ називаються **супергідрофобними** (СГ), вони ефективно відштовхують рідину, тому є перспективними для захисту поверхонь [4]. Лише текстуровані поверхні можуть бути СГ. У цьому випадку можливі два механізми змочування (рис.2).

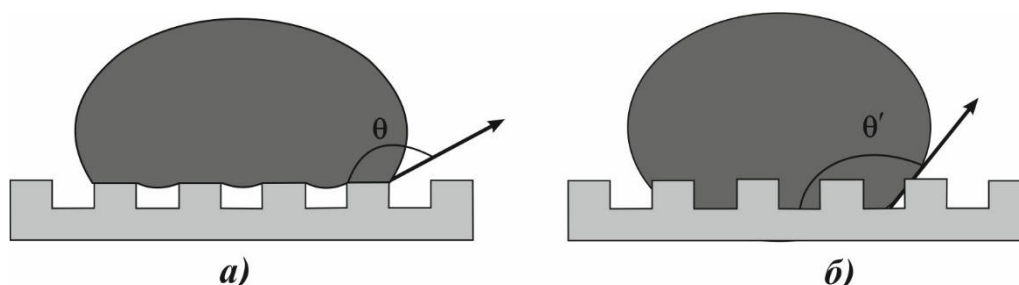


Рис. 2. Моделі змочування текстурованих поверхонь:
а – модель Касі-Бакстера; б – модель Венцеля

У моделі Венцеля рідина заповнює усі нерівності, а у моделі Касі-Бакстера крапля рідини контактує лише з малою частиною поверхні твердого тіла і не проникає у нерівності, які заповнені повітрям.

Рівняння для крайового кута змочування θ^* структурованої поверхні рідиною, яке описує можливі випадки, має наступний вид [5]

$$\cos \theta^* = f_1 (1 + \cos \theta_1) - 1 \quad (1)$$

де θ_1 – кут змочування рідиною аналогічної плоскості поверхні, f_1 – частки площі взаємодії тверде тіло – рідина. З рівняння (1) видно, що величина кута змочування θ^* зростає при зменшенні величини f_1 .

Для водовідштовхувальних властивостей крім високого значення кута змочування необхідно мале значення гістерезису кута змочування H , який є різницею значень кута натікання $\theta_{нат}$ та кута відтікання $\theta_{від}$ рідини на похилій поверхні (рис.3)

$$H = \theta_{нат} - \theta_{від} \quad (2)$$

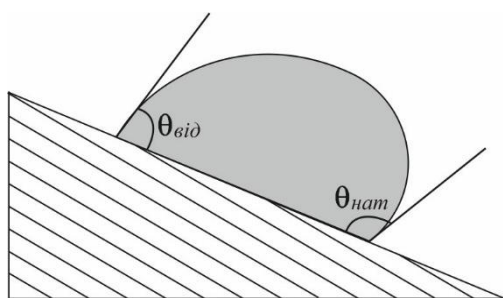


Рис. 3. Крайові кути натікання $\theta_{нат}$ та відтікання $\theta_{от}$

При збільшенні шорсткості спочатку зростає H , а при подальшому різко зменшується, коли здійснюється перехід зі стану Венцеля до стану Касі-Бекстера, для якого гістерезис кута змочування H у 10–20 раз менший, ніж для стану Венцеля [19],

Отже, для створення СГ стану на поверхні необхідно досягти стійкого енергетичного стану Касі-Бакстера на ній. Досягнення такого стану залежить від форми покриття поверхні; поверхневого натягу рідини, що змочує; поверхневої енергії матеріалу, що утворює підкладку; температури змочування, часу змочування тощо.

Отримують СГ поверхні шляхом утворення тонких наноструктурованих плівок на поверхнях тіл. Для цього використовують НЧ Al_2O_3 з характерним розміром 16 нм, у іншому випадку вирощували наноплівку ZnO [6] за допомогою осадження в хімічній ванні. Ще один метод – розпилення або занурення поверхні у водний розчин НЧ TiO_2 (розміром 16 нм).

Найпривабливіша для практичного застосування властивість СГ поверхонь є їхня **здатність до самоочищення**. Зазвичай на склі або інших неорганічних матеріалах вода має контактний кут, що коливається від 30-40 градусів. На таких поверхнях легко формуються краплі, що погано ковзають, і в процесі висихання води на поверхні абсорбується і формується шар пилу, забруднюючи надводну поверхню корпусу судна. Так, наприклад, ілюмінатори навігаційного містка стають каламутними і погіршують огляд, а покриті НЧ Al_2O_3 поверхня стає СГ і вода скочується з неї, захоплюючи при цьому частинки пилу і бруду, не залишаючи слідів від забруднень. Мінімізуючи накопичення бруду СГ поверхні сприяють довговічності та ефективності матеріалів і конструкцій, тому знаходять застосування для очищення як

надводної так і підводної поверхні корпусу судна та для захисту корпусів суден від корозії, забруднення і поліпшення гідродинамічних властивостей судна.

Використання СГ матеріалів забезпечує суттєве зменшення сил взаємодії між корпусом судна та обростаючими матеріалами. Так, сили адгезії до СГ поверхні у 160 разів менші, ніж до оголеної поверхні [7], що дає можливість *очищення підводної частини корпусу судна без використання доку*.

Боротьба зі зледенінням

Ожеледь(рис.3), що виникає при експлуатації судна в умовах низьких температур і високої вологості пошкоджує корпус судна, становить загрозу для безпеки руху судна та приводить до значних економічних втрат.



Рис.3. Запобігання зледенінню корпусу судна

Замерзання крапель води на твердій поверхні [8] приводить до наступних рівнянь: для теплового опору R між краплею та поверхнею

$$R = \frac{hX}{2S\lambda_i} + \frac{h(1-X_i)}{2S\lambda_s}, \quad (3)$$

для часу між фазного теплообміну між краплею води та поверхнею

$$t = \frac{\rho LV}{SH(T_m - T_s)} \quad (4)$$

де λ_i – теплопровідність льоду, λ_s – теплопровідність поверхні, X_i – фактор впливу теплопровідності льоду, h – коефіцієнт тепловіддачі між краплею води та поверхнею, S – площа контакту краплі води з поверхнею, L – питома теплота пароутворення, ρ – густина води, V – об'єм краплі води, H – коефіцієнт тепловіддачі, T_m – рівноважна температура замерзання, T_s – температура поверхні.

Аналіз формул (3) та (4) вказують на два фактори, які пояснюють перевагу СГ матеріалів: чим менша теплопровідність λ_s поверхні, тим більший тепловий опір R між краплею та поверхнею; чим менша площа S зіткнення краплі з поверхнею, тим більший час t замерзання краплі. Отже, СГ поверхні проявляють хороші властивості проти зледеніння. Дійсно, міцна плівка графенової нанострічки має високу міцність, є супергідрофобною, а також демонструє властивість проти зледеніння, яка запобігає замерзанню води, що надходить, до температури $-14\text{ }^{\circ}\text{C}$ (рис.3)

Другою проблемою плавання у північних районах є боротьба з наслідками зледеніння, коли на покриттях СГ з'являється обмерзання. Розроблені фототермічні СГ покриття як з пасивним захистом від зледеніння, так і з функціями активного розморожування [8]. Фототермічний ефект може збільшити температуру поверхні покриттів СГ шляхом перетворення сонячної енергії в тепло, і таким чином ще більше відстрочити або навіть запобігти обмерзання та прискорити розморожування. Коли зовнішня температура трохи нижче нуля, температура поверхні фототермічних СГ покриттів може бути вище нуля, і таким чином можна повністю запобігти обмерзання.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Kumar Phany. Principles of Nanotechnology /Ph. Kumar / /2Nd.Edish, Scitech Publications, 2020. – 115 p.
2. Козицький С. В. Застосування наноматеріалів для запобігання біологічному обростанню та корозії корпусу судна //Судноводіння. Зб.наук. праць / НУ “ОМА” Вип. №36, 2024. с. 64–76. DOI: 10.31653/2306-5761.36.2024.64-76
3. Yang, J.-L., Li, Y.-F., Liang, X., Guo, X.-P., Ding, D.-W., Zhang, D., et al. (2016b). Silver Nanoparticles Impact Biofilm Communities and Mussel Settlement. Sci. Rep. 6, 2016. 37406. doi:10.1038/srep37406
4. Козицький С. В. Підвищення ефективності судна шляхом використання наноматеріалів для модернізації корпусу судна / Суднові енергетичні установки: Науково-технічний збірник. Вип. 49, 2024. с.27-40 DOI: 10.31653/smf49.2024.27-40
5. D. K. Sarkar & M. Farzaneh (2009): Superhydrophobic Coatings with Reduced Ice Adhesion, Journal of Adhesion Science and Technology, 23:9, 1215-1237 <http://dx.doi.org/10.1163/156856109X433964>
6. Su, B., Tian, Y., &Jiang, L. (2016). Bio inspired Interfaces with Superwettability: From Materials to Chemistry. Journal of the American Chemical Society, 138(6), p. 1727–1748. <https://doi.org/10.1021/jacs.5b12728>
7. Fochi Wang, at all. Ice adhesion on different microstructure superhydrophobic aluminum surfaces / Journal of Adhesion Science and Technology. v. 27(1), 2012. P.1-10. DOI:10.1080/01694243.2012.701506

8. Mingyuan Mao et al. Scalable robust photothermal superhydrophobic coatings for efficient anti-icing and de-icing in simulated/real environments /Nature communications volume 15, Article number: 9610 (2024). <https://doi.org/10.1038/s41467-024-54058-8>

Підвищення економічності лубрикаторної системи суднового головного двигуна

У сфері підвищення надійності та техніко-економічних показників роботи дизелів значне місце посідають питання вдосконалення систем та процесів змащування циліндрів, що стали останнім часом предметом широких досліджень, в результаті яких були виявлені та обґрунтовані принципи розбіжності між традиційними уявленнями про роботу лубрикаторних систем і тими процесами подачі масла в циліндр, які мають місце насправді.

Разом з цим в експлуатації знаходиться безліч двигунів, на яких, незважаючи на їх однотипність, використовується кілька варіантів лубрикаторних систем, кожен з яких має свої особливості, що часто негативно впливають на організацію змащування циліндрів.

Нерідко експлуатація таких двигунів відрізняється завищеною витратою циліндрових масел, частим розкриттям циліндрів, значним зносом кілець і їх поломкою, а також суттєвими нагарами в циліндрі і випускному тракті. Все це обумовлює необхідність пошуку шляхів підвищення ефективності роботи систем змащування циліндрів, з урахуванням їх особливостей.

Форсування ДВЗ та застосування важких сортів палив з підвищеним вмістом сірки, погіршують умови роботи його деталей, що значно підвищує вимоги до систем змащування. До існуючих лубрикаторних систем, крім створення високого тиску в нагнітальному трубопроводі, висувається вимога подачі масла в район верхніх поршневих кілець.

Безперервна заміна масла свіжою порцією і підтримання властивостей масляної плівки на дзеркалі циліндра можливе при регулярному, рівномірному і одночасному надходженні мастила через всі отвори на дзеркало циліндрової втулки. У відомих системах подача відміреної плунжером порції масла в штуцери одного циліндра відбувається в різні періоди часу, і його величина становить лише кілька кубічних міліметрів [1].

Для виявлення особливостей, які мають місце при роботі лубрикаторних систем в умовах довгоходових двигунів, розглянемо процес маслоподачі до циліндрів суднових дизелів MAN-B&W типу L-MC/MCE.

При дослідженні процесу подачі масла в циліндри двигуна проводився одночасний запис на плівку за допомогою осцилографа та швидкісної кінокамери наступних параметрів: тиск газів у циліндрі двигуна, $P_{\text{ц}}$; тиск газів на клапан масляного штуцера зі сторони циліндра, $P_{\text{г}}$; положення мертвих точок поршня, в.м.т.; хід плунжера лубрикатора, $X_{\text{п}}$; тиск масла в трубопроводі, що з'єднує лубрикатор з масляним штуцером, $P_{\text{м}}$; хід клапана масляного штуцера, $X_{\text{к}}$; витрата масла через штуцер; позначки часу, T .

Синхронізація кіноплівки і осцилографування здійснювалася по запису на осцилограф включенням сигнальної лампи, яка знімалася на кіноплівку. У проведенні цієї роботи ставилися такі основні завдання:

виявити недоліки в системі подачі мастила в циліндри двигуна і визначити в якій мірі ці недоліки впливають на виникнення задирань і інтенсивних зносів деталей ЦПГ двигуна;

визначити оптимальний режим регулювання подачі мастила в циліндри двигуна.

В результаті виконаної роботи досліджено процес подачі масла в циліндри двигунів MAN-B&W на різних режимах і виявлено недоліки в заводському регулюванні. При випробуваннях встановлено, що в довгоходових двигунах подача масла в циліндр здійснюється в період нагнітального ходу плунжера лубрикатора і для хорошої організації мащення циліндрів необхідно відрегулювати процес маслоподачі з таким розрахунком, щоб масло надходило в циліндр в момент руху поршневих кілець мимо каналів.

Заводське регулювання не забезпечує подачу масла в потрібний момент, масло поступає на поршень нижче компресійних кілець і тому більша частина його не використовується за призначенням.

Дослідження проводилися на різних режимах навантаження головного двигуна в широкому діапазоні регулювання кількості подаваного масла лубрикатором.

На експлуатаційному режимі при $n = 180$ хв-1 регульовані параметри подачі масла змінювалися у межах:

хід плунжера лубрикатора (4...8,6 мм);

циклова подача масла через один штуцер (0,09...0,18 г);

питома витрата масла (0,8...1,2 г/кВт·год).

Осцилографування роботи лубрикаторної системи (рис.1) показало, що процес подачі масла в циліндр починається з невеликим запізненням (4...5° повороту колінчастого валу) після початку нагнітального ходу плунжера лубрикатора. Через кожні два обороти двигуна плунжер лубрикатора здійснює нагнітальний хід синхронно з рухом поршня.

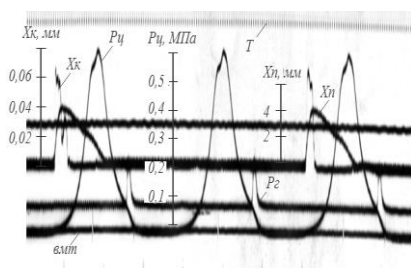


Рис.1. Осцилограма подачі масла в циліндр ГД ($h = 4,0$ мм, $n = 180$ хв⁻¹).

Процес подачі масла в циліндр відбувається при висхідному русі поршня в той момент, коли поршневі кільця ще не дійшли до каналів, що підводять масло. Незалежно від величини ходу плунжера, подача масла в циліндр закінчується при положенні поршня 780 після н.м.т. У цей момент проти каналів знаходиться друге поршневе кільце.

Через 3...5о повороту колінчастого валу (5...8)·10⁻³ с з моменту початку нагнітального ходу плунжера лубрикатора, тиск масла в системі перед клапаном штуцера підвищується на 0,05...0,06 МПа та протягом 0,01 с відкривається клапан штуцера. Процес подачі масла в циліндр у кожному циклі на режимі 180 хв-1

триває 0,02...0,08 с в залежності від кількості масла, що подається. Після закінчення нагнітального ходу плунжера через 0,02...0,025 с (10... 8° повороту колінчастого валу) тиск масла в системі падає до залишкового, в результаті чого закривається клапан штуцера і процес подачі масла в циліндр закінчується.

За лубрикатором встановлюється постійний залишковий тиск 0,2 МПа. Величина залишкового тиску в системі може змінюватися в залежності від тиску газів на клапан масляного штуцера і зтяжки пружини клапана. Цикл подачі масла в циліндр повторюється через два обороти двигуна. Через кожен штуцер за один цикл подається одна - дві краплі масла. Для поліпшення маслоподачі в лубрикаторну систему двигуна доцільно включити акумулятори тиску [2]. Акумуляторна система призначена для збільшення частоти подачі масла в циліндр за рахунок створення умов у нагнітальному тракті, що забезпечують можливість поділу порції, що нагнітається плунжером, на кілька частин. У період нагнітального ходу плунжера лубрикатора, акумулятор завдяки пружним властивостям діє як компенсатор і накопичувач, що знижує тиск масла в системі, наближаючи його до постійного. Пружні властивості акумулятора вибираються з розрахунку створення тиску масла в нагнітальному трубопроводі, що перевищує протитиск не більше ніж на десять частки атмосфери.

На рис.2 представлено вдосконалений штуцер - акумулятор [3] який складається з корпусу 1 та еластичної акумуляторної ємності 5. Корпус акумуляторної ємності з'єднаний з одного боку з нерухомим дном зі штоком плунжера 4. Позиціювання нерухомого дна виконується болтом 3, який фіксується накладною гайкою 2. З іншого боку ємність з корпусом плунжера нероз'ємно з'єднана з рухомим дном, що має поперечні отвори 6. Шток нерухомого дна з корпусом плунжера, що має поперечні отвори, утворюють плунжерну пару.

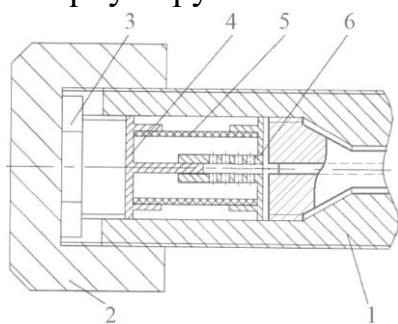


Рис.2. Регулятор тиску
машини (штуцер -
акумулятор).

Завдяки акумулятору надходження масла в штуцер здійснюється і в періоди, коли плунжер лубрикатора нерухомий або здійснює хід всмоктування. Отже, подана за один нагнітальний хід плунжера лубрикатора порція масла, ділиться на кілька (до 10 і більше) відносно рівномірних порцій, чим забезпечується надходження масла в циліндри двигуна на кожному обороті.

В результаті випробувань було виявлено одну обставину, яка негативно позначається на роботі системи змащування циліндрів - це відсутність на деяких типах лубрикаторів неповоротного клапана. Це викликає коливальні явища в маслопроводі, що в кінцевому підсумку несприятливо впливає на процес подачі і подачу масла в циліндр.

При використанні в лубрикаторах на лінії нагнітання пульсуючих показників потоку, несприятливий вплив описаного явища дещо знижується,

оскільки роль неповоротного клапана певною мірою виконує сам показчик. Як видно з наведених осцилограм (рис.3) за наявності в системі акумулятора тиску, порушується синхронізація подачі масла з рухом поршня, встановлена заводом-будівельником і надходження його з трубопроводу через клапан масляного штуцера в циліндр регулюється тиском на клапан газів зі сторони циліндра.

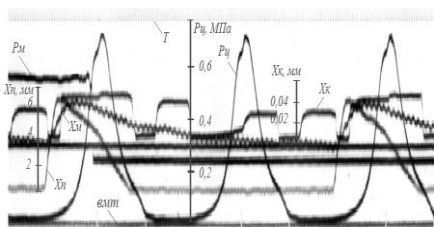


Рис.3. Осцилограма подачі масла акумулятором ($h = 7,35 \text{ мм}$, $n = 182 \text{ хв}^{-1}$)

У цьому випадку подача масла в циліндр здійснюється двічі за оборот двигуна, коли тиск в циліндрі падає нижче ніж тиск масла в трубопроводі, при такому регулюванні системи, основна кількість масла надходить в циліндр при висхідному русі поршня, коли він знаходиться вище масляних каналів.

Результати дослідження процесу подачі масла в циліндри довгоходових двигунів дозволяють зробити такі основні висновки:

1. В експлуатації двигунів MAN-B&W спостерігається посилене нагароутворення на поршні вище компресійних кілець проти місць підведення мастила. Нерідко зазначається, що це нагар повністю заповнює зазор між циліндром і поршнем і шліфує робочу поверхню циліндра. Попадання частини коксу і зольних залишків масла з поршня на робочу поверхню циліндрів може порушити цілісність масляної плівки і викликати абразивний знос;

2. З метою усунення недоліків в організації мащення циліндрів двигунів MAN-B&W необхідно змінити заводське регулювання фаз подачі масла з таким розрахунком, щоб масло попадало на поршень в район кілець і виключити подачу його вище першого компресійного кільця.

3. Використання акумулятора забезпечує надходження масла в циліндри двигуна відносно рівномірними порціями на кожному обороті, що підвищує ефективність роботи лубрикаторної системи.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Богач В.М. Вдосконалення процесу подачі мастила в циліндри суднових МОД / Богач В.М., Обертюр К.Л., Довіденко Ю.М. // Суднові енергетичні установки: науково-технічний збірник. Вып. 47. - Одеса: НУ «ОМА», 2023. С. 11-22.
2. Богач В.М., Колегаєв М.О., Довіденко Ю.М. Показники ефективності лубрикаторних систем суднових дизелів // Суднові енергетичні установки: науково-технічний збірник. Вып. 49. - Одеса: НУ «ОМА», 2023. С. 5-22.
3. Патент України № 157598. МПК F16N21/00. Регулятор тиску мащення циліндрової втулки / В.М.Богач, М.О.Колегаєв; заявник та володар патенту Національний університет "Одеська морська академія". - u202305416. - заявл. 13.11.2023; опубл. 06.11.2024, бюл. № 45/2024. - 3 с.

Використання наоматеріалів для зменшення тертя та зносу в механічних парах

Трибологія - це наука, що вивчає тертя, знос та змащування. В останні роки сфера трибології розширилася з появою наномасил. Наномасила - це дисперсія наночастинок в базові оливи, яка привернула увагу завдяки своєму потенційному застосуванню. Додавання наночастинок в базові оливи є перспективним, оскільки це покращує трибологічні характеристики, включаючи зносостійкість і тертя, а найголовніша причина полягає в тому, що більшість з них є екологічно чистими.

Змащування - це процес або метод зменшення тертя і зносу двох відносно рухомих поверхонь за допомогою мастила. Переваги мастила включають захист від іржі, води та пилу. Знос і тертя можуть призвести до виходу з ладу обладнання і втрат енергії. Тертя в двигуні та інших рухомих частинах може призвести до втрати третини всієї використовуваної енергії палива. Крім того, мастило є незамінним засобом, який використовується для змащування механізмів, щоб захистити працюючі механічні деталі від зносу і зменшити тертя.

Мінеральна олія як мастильний матеріал використовується вже давно. Однак забруднення водних і наземних екосистем, спричинене утилізацією мінеральних масил, безпосередньо вплинуло на навколишнє середовище. Альтернативне джерело, таке як біомасила, є перспективною заміною мінеральній оліві, оскільки воно біологічно розкладається і не є токсичним. Крім того, біомасила мають ряд переваг у порівнянні з мінеральними оливами, включаючи відмінну змащувальну здатність, високу температуру спалаху, в'язкість і низьку летючість.

Для подальшої мінімізації зносу і тертя в системі до базової оливи додають невелику кількість присадок, які покращують і посилюють властивості оливи. Ці присадки можуть бути протизносними, протизадирними, антикорозійними, диспергуючими. Протизносні та протизадирні присадки особливо часто використовуються для змащування механічних деталей. Слід зазначити, що традиційні протизадирні та протизносні присадки - це сполуки хлору та фосфору, які були обмежені у використанні з метою захисту навколишнього середовища. Для подолання цієї проблеми вивчають використання наночастинок як нового класу присадок до мастильних матеріалів.

Більшість наноприсадок є екологічно чистими і демонструють покращення трибологічних властивостей масил, оскільки не потребують трибоактивних елементів, таких як хлор, фосфор і сірка, які є шкідливими для навколишнього середовища. Крім того, нанометровий діапазон розмірів наноприсадок здатний заповнювати контактні зазори. Наноприсадки функціонують як присадки та модифікатори тертя, отримують високу

термічну стабільність і вступають в реакцію з поверхнею тертя без індукційного періоду.

Втрати енергії через тертя дуже високі. Втрати енергії в двигуні через тертя призводять до нагрівання і сприяють зносу поверхонь рухомих частин. Втрати енергії через тертя можна зменшити за допомогою технологій, крім того, для подолання втрат енергії важливе значення має додавання присадок в мастило, які забезпечують найкраще змащування.

Механічні властивості трибологічної системи пов'язані з твердістю матеріалу і шорсткістю його поверхні, геометрією контакту і механізмом ковзання деталей, що труться. Зазвичай матеріал, що використовується для випробування, має твердість близько 30-64 одиниць за шкалою Rockwell C (HRC) і шорсткість поверхні 0,01-1,0 мкм. Наприклад, твердість і шорсткість поверхні сталеві кульки, що використовується в чотирикульковому трибометрі, становить 62 одиниці за шкалою Rockwell C (HRC) і шорсткість поверхні 0,040 мкм [1]. Однак, це все ще залежить від типу матеріалу, процесу загартування та покриття. В основному, чим вища твердість матеріалів, тим більша зносостійкість, в той час як нижча шорсткість поверхні матеріалів свідчить про кращу змащуваність. Проблематично порівнювати трибологічні результати між різними типами трибометрів, такими як чотирикульковий триботестер, штифт на диску, (с) блок на кільці, (d) штифт на плоскій поверхні та (е) кулька на плоскій поверхні. Це пов'язано з різною геометрією ковзання і механізмом ковзання, наприклад, ковзання і кочення. (рисунку1). Достовірне порівняння може бути досягнуто при використанні подібного типу трибометра.

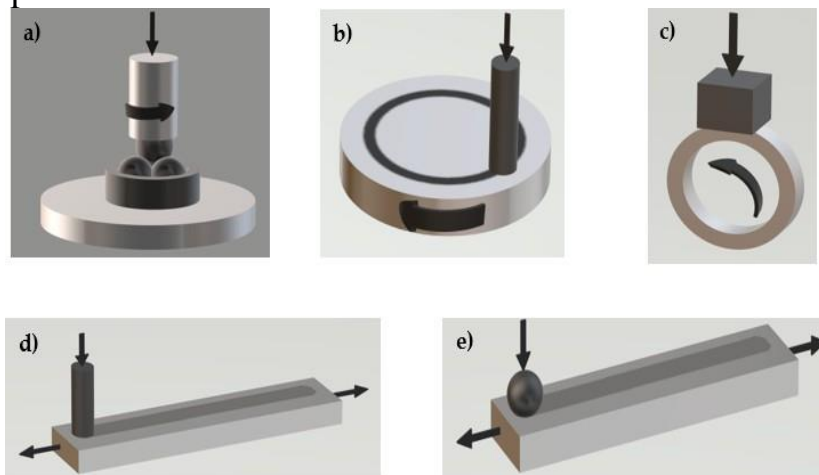


Рисунок 1. Найпоширеніші геометричні конфігурації трибологічних випробувань: (а) чотирикульковий трибометр, (б) штифт на диску, (с) блок на кільці, (д) штифт на плоскій поверхні та (е) кулька на плоскій поверхні.

Трибологічні процеси, тобто процеси контакту, тертя і зношування, як правило, пов'язані з безпосередніми фізичними взаємодіями між здійснюваними відносний рух поверхнями. На всі ці процеси впливає мастильний матеріал, призначення якого полягає в поділі рухомих відносно одна одної по-

верхонь плівкою матеріалу, здатного піддаватися зсуву з малим опором і без будь-яких ушкоджень поверхонь.

В залежності від форми поверхонь тертя, матеріалів, робочих умов і проміжку між поверхнями можна виділити три головних режими мащення:

1. Гідродинамічне мащення.
2. Змішане мащення.
3. Граничне мащення.

Наномастила. Використання наноматеріалів як присадок до мастил відоме як наномастила. Як правило, їхній діаметр частинок становить від 1 до 100 нм. Використання наномастил в базових оливах або покриттях сприяє значному зниженню тертя і зносу, що демонструє цікаві трибологічні властивості. Наномастила можуть бути синтезовані одностадійним або дво-стадійним методом. При одностадійному методі наномастила безпосередньо формуються за допомогою хімічного процесу. У двоступеневому методі на першому етапі наноматеріали синтезують у вигляді сухого порошку фізичними або хімічними методами, а на другому етапі їх диспергують в базовій оливі за допомогою методів змішування з диспергаторами або поверхнево-активними речовинами або без них [2],[3].

Базові оливи. Масильні матеріали поділяються на три види: тверді, напівтверді та рідкі. Як правило, масильні матеріали синтезуються з трьох різних типів базових олив. Це мінеральна олія, синтетична олія та біомастила. Мінеральну олію отримують з сирової нафти шляхом фракційної перегонки. Мінеральні оливи є економічно вигідними базовими оливами, а також є поширеним масильним матеріалом, який широко використовується в промисловості, але завдає шкоди як довкіллю, так і здоров'ю. Зазвичай їх використовують у двигунах, редукторах, підшипниках тощо. Синтетичне мастило штучно виготовляється з вуглеводнів або інших хімічних речовин. Синтетичні оливи забезпечують кращі властивості порівняно з мінеральними оливами, в тому числі здатність змащувати за дуже низьких або високих температур і забезпечує кращий захист від зносу. Крім того, синтетичні оливи також забезпечують ряд економічних переваг, включаючи зменшення споживання енергії та витрат на обслуговування, підвищення енергоефективності тощо. Біомастила в основному виготовляються з рослинних олій, таких як соняшникова, кокосова, ятрофа, ріпакова та пальмова та інші. Біомастила є альтернативним джерелом через їх широке розповсюдження, а також є відновлюваними, біорозкладними та екологічно чистими. Біомастила мають ряд переваг над мінеральними оливами, вони мають високу змащувальну здатність, високий індекс в'язкості, високу температуру спалаху, низьку летючість і високу дисперсність [4].

Різні типи наночастинок як присадок до мастил

За хімічним складом наночастинок складаються з металів, оксидів металів, сульфідів, нанокompозитів, наночастинок вуглецю та рідкісноземельних сполук.

Механізм змащування при додаванні наночастинок в основному класифікуються на дві групи. Перша група - це пряма дія наночастинок на покращення змащування (ефект підшипника, утворення захисної плівки), а друга група - покращення поверхні (полірування, відновлення) [5].

Таблиця 1. Класифікація за хімічним складом та статистика розподілу хімічного складу наночастинок.

Типи	%	Наночастинок
Метали	18	Ag, Bi, Co, Cu, Fe, Ni, Pd, Sn, Al, Zn.
Оксид металу	21	Al ₂ O ₃ , CuO, Fe ₃ O ₄ , TiO ₂ , ZnO, ZrO ₂
Вуглець та його похідні	13	Графен, алмаз, вуглецеві нанотрубки, багатостінні вуглецеві нанотрубки
Сульфіди	16	WS ₂ , MoS ₂ , CuS
Рідкоземельні сполуки	3	LaF ₃ , CeO ₂
Наноккомпозити	15	Al ₂ O ₃ /SiO ₂ , Al ₂ O ₃ /TiO ₂ , Cu/оксид графену, WS ₂ /MoS ₂
Інші	14	SiO ₂ , політетрафторетилен, BN

Ефект кочення. Зазвичай сферичні або квазісферичні наночастинок діють як шарикопідшипники, які котяться між контактними поверхнями і перетворюють тертя ковзання в комбінацію тертя ковзання і кочення.

Утворення захисної плівки. У цьому механізмі наночастинок утворюють аморфний шар (захисну плівку) на поверхнях тертя [6].

Ефект відновлення. Ефект відновлення або самовідновлення, що характеризується відкладенням наночастинок на поверхнях, що труться, компенсує втрати маси [6]. Крім того, наночастинок також осаджуються на поверхні зносу і заповнюють канавки на поверхнях механічних пар.

Ефект полірування. Ефект полірування, який також називають ефектом згладжування, зменшує шорсткість змащувальної поверхні за рахунок стирання наночастинок поверхні контакту в механічних пар [5].

Розмір наночастинок є важливим параметром, який безпосередньо впливає на трибологічні характеристики наномасил. Чим менший розмір частинок, тим легше вони проникають на поверхні, що труться. Для наноматеріалів з розміром 100 нм і вище, зменшення розміру частинок відповідає збільшенню твердості і навпаки, для розмірів частинок, зазвичай менших за 10 нм, зменшення розміру частинок відповідає м'якості наноматеріалів. Якщо твердість наночастинок вища за твердість матеріалів механічної пари, це призведе до появи вм'ятин і подряпин [7]. Таким чином, розмір і твердість наночастинок слід враховувати при приготуванні наномасил. Розмір, концентрація та морфологія наночастинок мають важливе значення для покращення трибологічних характеристик. Важливо знайти оптимальну концентрацію наночастинок в базових оливах [8]. Це дозволило б не тільки досягти максимального покращення, але й заощадити на собівартості продукції.

Метали. Металеві нано присадки мають малий розмір частинок, велику площу поверхні, низьку температуру плавлення. Вони забезпечують відмінні трибологічні характеристики та функцію самовідновлення як присадки до мастил [9], включаючи Cu, Bi, Sn, Fe, Ni, Al, Pd, Co, Zn. Механізм змащування металевих нано присадок можна розділити на: а) поверхневі властивості змінюються і розділяють дві поверхні тертя з утворенням трибоплівок, що забезпечує покращення трибологічних характеристик; б) нано присадки перекочуються між двома поверхнями тертя, що призводить до зменшення тертя і зносу; в) тепло і тиск, що генеруються під час роботи, призводять до ущільнення нано присадки на доріжці зносу, причому це явище розглядається як ремонтний або спікаючий ефект [10]. Трибологічні властивості наночастинок Fe, Cu і Co та їх суміші як присадок до мастила на мінеральній оливі SAE 10 показали, що використання нано Cu є найефективнішим для зменшення тертя і зносу [11]. Додавання нановісмуту до легкої та важкої базової оливи призвело до зменшення зносу з 535 до 454 мкм та 651 до 563 мкм, зменшення тертя з 0,091 до 0,052 та 0,074 до 0,047 [12]. Додавання нанокупруму до парафінової оливи призвело до зменшення тертя (23%) та зносу (26%) [9]. Дослідження трибологічних властивостей нанонікелю в ПАО6 показало зниження зносу на 7-30% і тертя на 5-45% [13]. Крім того, додавання нано Al збільшило несучу здатність і покращило тертя та знос [14].

Оксид металу. В якості присадок до мастил використовуються різні оксиди металів, включаючи TiO_2 , CuO , ZnO , Al_2O_3 , Fe_3O_4 , ZnAl_2O_4 . Механізм змащування металооксидних нано присадок подібний до механізму змащування металевих нано присадок, включаючи ефект кочення, спікання та відновлення, а також утворення трибоплівок. Додавання TiO_2 до мастила на водній основі демонструє відмінні трибологічні характеристики [15,16], в той час як в моторній оливі SAE 20W 40 знос значно зменшився, а тертя знизилося на 50% [17]. Трибологічні властивості Al_2O_3 в чистому мастилі за допомогою двох типів трибометрів: за допомогою чотирикулькового трибометра середній коефіцієнт тертя зменшився на 17,61%, а діаметр шраму зносу - на 41,75% [18]. Тертя зменшується на 23,92% при використанні трибометра з упорним кільцем. Це пояснюється утворенням захисної плівки на поверхні контакту та ефектом кочення.

Наноматеріали та нанотехнології дають нам можливість краще зрозуміти явища тертя та значно зменшити тертя та зношування, ніж традиційні матеріали та технології. Розмір, концентрація та морфологія наночастинок мають важливе значення для покращення трибологічних характеристик. Крім того, важливо знайти оптимальну концентрацію наночастинок в базових оливах. Це дозволило б не тільки досягти максимального зменшити тертя та зношування але мати економічний ефект.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Fazal, M.A.; Haseeb, A.S.M.A.; Masjuki, H.H. Investigation of friction and wear characteristics of palm biodiesel. *Energy Convers. Manag.* 2013, 67, 251–256.
2. Латиш О.М. Отримання нанопорошків механічними методами/ Матеріали науково-технічної конференції / Латиш О.М. // " Морський та річковий флот: експлуатація і ремонт ", 24.03.2015 – 25.03.2015. Частина 1. – Одеса: ОНМА, 2015. – с. 177-179
3. Латиш О.М. Синтез наноматеріалів та їх властивості/ Матеріали науково-технічної конференції / Латиш О.М. // " Морський та річковий флот: експлуатація і ремонт ", 18.03.2020 – 19.03.2020.– Одеса: ОНМА, 2020. – с. 188-191
4. Reeves, C.J.; Siddaiah, A.; Menezes, P.L. A Review on the Science and Technology of Natural and Synthetic Biolubricants. *J. Bio-Tribo-Corros.* 2017, 3, 1–27.
5. Lee, K.; Hwang, Y.; Cheong, S.; Choi, Y.; Kwon, L.; Lee, J.; Kim, S.H. Understanding the Role of Nanoparticles in Nano-oil Lubrication. *Tribol. Lett.* **2009**, 35, 127–131.
6. Peng, D.; Kang, Y.; Hwang, R.; Shyr, S.; Chang, Y. Tribological properties of diamond and SiO₂ nanoparticles added in paraffin. *Tribol. Int.* **2009**, 42, 911–917.
7. Uflyand, I.E.; Zhinzhiro, V.A.; Burlakova, V.E. Metal-containing nanomaterials as lubricant additives: State-of-the-art and future development. *Friction* **2019**, 7, 93–116.
8. Латиш О.М. Використання наноматеріалів в механічних парах /Матеріали науково-технічної конференції «Річковий та морський транспорт: експлуатація і ремонт».-Одеса: НУ «ОМА», 2021, с 58-63.
9. Yang, G.; Zhang, Z.; Zhang, S.; Yu, L.; Zhang, P.; Hou, Y. Preparation and characterization of copper nanoparticles surface-capped by alkanethiols. *Surf. Interface Anal.* **2013**, 45, 1695–1701.
10. Dai, W.; Kheireddin, B.; Gao, H.; Liang, H. Roles of nanoparticles in oil lubrication. *Tribol. Int.* **2016**, 102, 88–98.
11. Padgurskas, J.; Rukuiza, R.; Prosyčevs, I.; Kreivaitis, R. Tribological properties of lubricant additives of Fe, Cu and Co nanoparticles. *Tribol. Int.* **2013**, 60, 224–232
12. Flores-Castañeda, M.; Camps, E.; Camacho-López, M.; Muhl, S.; García, E.; Figueroa, M. Bismuth nanoparticles synthesized by laser ablation in lubricant oils for tribological tests. *J. Alloys Compd.* **2015**, 643, S67–S70.
13. Chou, R.; Battez, A.H.; Cabello, J.J.; Viesca, J.L.; Osorio, A.; Sagastume, A. Tribological behavior of polyalphaolefin with the addition of nickel nanoparticles. *Tribol. Int.* **2010**, 43, 2327–2332.
14. Peng, D.X.; Yuan, K.; Chen, S.-K.; Shu, F.-C.; Chang, Y.P. Dispersion and tribological properties of liquid paraffin with added aluminum nanoparticles. *Ind. Lubr. Tribol.* **2010**, 62, 341–348.

15. Wu, H.; Zhao, J.; Cheng, X.; Xia, W.; He, A.; Yun, J.-H.; Huang, S.; Wang, L.; Huang, H.; Jiao, S.; et al. Friction and wear characteristics of TiO₂ nano-additive water-based lubricant on ferritic stainless steel. *Tribol. Int.* **2018**, *117*, 24–38.
16. Wu, H.; Zhao, J.; Xia, W.; Cheng, X.; He, A.; Yun, J.-H.; Wang, L.; Huang, H.; Jiao, S.; Huang, L.; et al. A study of the tribological behaviour of TiO₂ nano-additive water-based lubricants. *Tribol. Int.* **2017**, *109*, 398–408.
17. Laad, M.; Ponnammam, D.; Sadasivuni, K.K. Tribological Studies of Nano-modified Mineral based Multi-grade Engine Oil. *Int. J. Appl. Eng. Res.* **2017**, *12*, 2855–2861.
18. Luo, T.; Wei, X.; Huang, X.; Huang, L.; Yang, F. Tribological properties of Al₂O₃ nanoparticles as lubricating oil additives. *Ceram. Int.* **2014**, *40*, 7143–7149.

Маркування сталей

Маркування сталей — це система позначень, яка відображає хімічний склад, механічні властивості, методи виробництва та інші характеристики сталі. Це своєрідний «паспорт» матеріалу, який надає інформацію про його якість, область застосування та відповідність стандартам.

Основна мета — ідентифікація характеристик сплаву для використання в різних галузях. Ми маємо точно знати, що перед нами — [сталь 65Г](#), [сталь 09Г2С](#), або інша марка.

Маркування сприяє:

- підвищенню ефективності роботи;
- зменшенню помилок під час вибору матеріалів;
- забезпеченню відповідності стандартам якості.

Задача маркування сталі:

1. Ідентифікація хімічного складу.
2. Визначення механічних властивостей.
3. Уніфікація стандартів, щоб полегшити міжнародну купівлю\продаж та використання сталі..

Основні системи маркування

У світі існує кілька систем маркування сталі, які відрізняються за структурою позначень та підходами до класифікації. Вони допомагають ідентифікувати хімічний склад, механічні властивості та область застосування сталі. Вибір стандарту залежить від географічного регіону, галузі застосування та специфічних потреб виробництва.

Маркування згідно з ГОСТ

Базується на вказівці хімічного складу та властивостей сталі. Приклад структури позначень:

- **Ст3.** Конструкційна сталь, вміст до 0,3% вуглецю, без легуючих елементів.
- **20Х13.** Сталь легована, 0,2% вуглецю, 13% хрому.

Маркування згідно з європейськими стандартами (EN)

Розділяють сталі за призначенням, механічними властивостями та хімічним складом: вказують на міцність сталі, її легувальні елементи та специфічні властивості, наприклад, корозійну стійкість. Приклад: S235JR — конструкційна сталь із межею текучості 235 МПа.

Американські стандарти (ASTM, AISI)

Базуються на ідентифікації складу та області застосування. Система класифікації:

- **AISI** (American Iron and Steel Institute). Цифри позначають клас сталі, вказують на хімічний склад, наприклад, 304 — нержавіюча сталь із вмістом 18% хрому та 8% нікелю.

- **ASTM** (American Society for Testing and Materials). Визначає технічні специфікації: маркування часто ґрунтується на механічних властивостях і хімічному складі. Наприклад, A36 — конструкційна сталь із певними характеристиками міцності: із межею текучості 250 МПа.

Інші міжнародні системи (JIS, ISO)

Японські стандарти (JIS). Система комбінує літери й цифри. SS400 — конструкційна сталь зі стандартними механічними властивостями. Наприклад, **Міжнародні стандарти (ISO).** Базуються на уніфікації світових підходів до маркування та хімічного складу сталі.

Розшифровка маркування

Розшифровка маркування допомагає вибрати сталь для конкретного виробу або конструкції.

1. Маркування сталі за ГОСТ (країни СНД)

У системі ГОСТ маркування сталі складається з букв і цифр, що надають інформацію про хімічний склад та механічні властивості сталі:

- Цифри:
 - Перед літерами вказують на середній вміст вуглецю у відсотках;
 - Після — зазначається процентний вміст легуючих елементів.
- Літери. Позначають легуючі елементи:
 - **X** — хром,
 - **H** — нікель,
 - **T** — титан.

Приклад: Сталь **Ст3, 20X13**

- **Ст3:**
 - **Ст** — конструкційна сталь (сфера застосування),
 - **3** — вміст вуглецю, 0,3% (це середній вміст вуглецю у сталі).
- **20X13:**
 - **20** — вміст вуглецю в сталевому сплаві (0,2%).
 - **X** — легуючий елемент (хром).
 - **13** — вміст хрому в сталі (13%).

2. Європейські стандарти (EN)

Європейська система стандартизації використовує літерно-цифрові позначення. Вони вказують на тип сталі, її механічні властивості та хімічний склад. Приклад:

S235JR:

- **S** — конструкційна сталь (Structural steel).
- **235** — мінімальна межа текучості сталі в мегапаскалях (235 МПа).
- **JR** — ударна в'язкість сталі при 20°C (JR означає стандарт для сталі з ударною в'язкістю).

X5CrNi18-10:

- **X** — вказує на леговану сталь.
- **5** — середній вміст вуглецю (0,05%).
- **Cr** — хром, **Ni** — нікель.
- **18** — вміст хрому (18%), **10** — вміст нікелю (10%).

3. Американські стандарти (ASTM, AISI)

Часто базуються на позначеннях, що вказують на хімічний склад або область застосування сталі. Приклад:

- **A36:**
 - **A** — вказує на стандарт Американського товариства тестування та матеріалів (ASTM).
 - **36** — межа текучості сталі, 36 000 фунтів на квадратний дюйм (250 МПа).
 - **A36** — це низьковуглецева конструкційна сталь, що використовується для загальних конструкційних застосувань, таких як балки, плити та профілі.
- **304:**
 - **304** — нержавіюча сталь, яка містить 18% хрому та 8% нікелю.
 - Використовується в умовах, де необхідна висока корозійна стійкість, наприклад, у харчовій промисловості та медичних приладах.

4. Японські стандарти (JIS)

Система також включає позначення, що визначають хімічний склад і тип сталі.

Приклад: SUS304

- **SUS** — позначення для нержавіючої сталі (Stainless Steel).
- **304** — вказує на сталь з 18% хрому та 8% нікелю.

Щоб визначити основні властивості сталі за її маркуванням, потрібно звертати увагу на:

- **Хімічний склад** (вміст вуглецю, легуючі елементи). Визначає корозійну стійкість, зварюваність та інші властивості сталі.
- **Механічні властивості** (межа текучості, міцність). Зазвичай зазначаються у числових значеннях в мегапаскалях (МПа) або інших одиницях.
- **Тип сталі**. Залежно від маркування, можна зрозуміти, чи є сталь конструкційною, нержавіючою, легованою тощо.

Особливості маркування легованих і вуглецевих сталей

Леговані та вуглецеві сталі мають свої особливості в маркуванні. Це допомагає правильно вибрати сталь для конкретного застосування.

Вуглецеві сталі: основні характеристики та типи маркування

Вуглецева — це сталь, в основі якої лежить вуглець як основний легуючий елемент. Вони характеризуються відносно низьким вмістом легуючих елементів, що визначає їх механічні властивості і можливості застосування.

- **Механічні властивості**. Мають гарну зварюваність, середню стійкість до корозії і помірні механічні властивості, що залежить від вмісту вуглецю.
- **Застосування**. Для загальних конструкційних робіт, у машинобудуванні, виготовленні інструментів.

Маркування вуглецевих сталей за ГОСТ, СНД:

- **Тип маркування:** Ст3, 10, 20, 45

- **Розшифровка:**

- **Ст** — конструкційна сталь.
- **Цифри** — вказують на вміст вуглецю в сталевих сплавах (у десятих частках відсотка).

Наприклад, **Ст3** — конструкційна сталь із вмістом вуглецю 0,3%, **Ст45** — вміст вуглецю 0,45%.

Леговані сталі: як позначають домішки (хром, нікель, молібден тощо)

Леговані — це сталі, до складу яких входять додаткові елементи: хром, нікель, молібден, ванадій тощо. Вони поліпшують властивості сплаву.

- **Механічні властивості.** Висока міцність, твердість, зносостійкість завдяки додаванню легуючих елементів. Чим вище вміст хрому, тим краще стійкість до корозії.
- **Застосування.** У високотехнологічних виробках, що піддаються високим навантаженням: турбіни, двигуни, вузли машин. Для виготовлення деталей, які повинні працювати в агресивних середовищах або важких умовах (високі температури, корозія, навантаження).

Маркування легованих сталей (за ГОСТ, СНД):

- **Тип маркування:** 20Х13, 30ХГСА, 40ХН2МА

- **Розшифровка:**

- **Цифри після літер** — вказують на вміст вуглецю (як і у вуглецевих сталях).
- **Літери (Х, Н, М, Г, А, С)** — позначають легуючі елементи:
 - **Х** — хром.
 - **Н** — нікель.
 - **Г** — марганець.
 - **М** — молібден.
 - **А** — алюміній.
 - **С** — сірка.

Приклад:

- **20Х13.** Сталь з 0,2% вуглецю, легована 13% хромом.
- **30ХГСА.** Сталь з 0,3% вуглецю, легована хромом (Г), сіркою (С) і алюмінієм (А).
- **40ХН2МА.** Сталь з 0,4% вуглецю, легована хромом (Х), нікелем (Н), молібденом (М) та алюмінієм (А).

Проблеми та виклики в маркуванні сталей

1. Різниця в системах стандартів у різних країнах

Однією з основних проблем є значні відмінності в системах маркування сталей, що існують в різних країнах. Це створює труднощі при співпраці між виробниками та споживачами і може призвести до непорозумінь і помилок.

Відсутність єдиного стандарту призводить до того, що виробники та споживачі, які працюють на міжнародному ринку, повинні бути обізнаними з численними системами маркування, що ускладнює процес вибору матеріалу і може викликати помилки.

2. Необхідність уніфікації для глобального ринку

Зростаюча глобалізація та взаємозалежність між країнами вимагають уніфікації систем маркування сталей для полегшення міжнародної торгівлі та гарантії безпеки виробів.

- **Переваги уніфікації:**

- Уникнення помилок при покупці та постачанні сталі, особливо в міжнародних операціях.
- Зниження витрат на перевірку матеріалів, покращення ефективності виробництва.
- Впевненість у якості матеріалів, що використовуються в критичних галузях (авіація, автомобільна промисловість, медична техніка).

Проте для того, щоб реалізувати це на глобальному рівні, потрібні масштабні зусилля з боку міжнародних організацій для створення узгоджених стандартів, що враховують особливості різних регіонів.

3. Проблеми підробок і неякісного маркування

Одна з найбільших проблем у галузі маркування сталей. Це може мати серйозні наслідки для якості та безпеки виробів, що використовують ці матеріали.

- **Підробки:**

- Низькокваліфіковані виробники або недобросовісні постачальники можуть неправильно маркувати сталеві матеріали, щоб продати їх за більш високими цінами, заявляючи про вищі характеристики сталі. Наприклад, невірно вказаний вміст хрому або нікелю в легованій сталі.
- Це може призвести до використання неякісного матеріалу в критичних застосуваннях, що не відповідає вимогам щодо механічних властивостей або корозійної стійкості.

- **Неякісне маркування:**

- Тобто таке, що не дає повної або правильної інформації про склад сталі або її механічні властивості. Наприклад, помилки в самих маркувальних системах або недбалість при виконанні маркування.

Перспективи розвитку маркування сталей

1. Використання цифрових технологій для відстеження характеристик сталі

Сучасні цифрові технології дають можливість значно підвищити точність і прозорість маркування сталей. Це включає:

- **Інтернет речей (IoT).** Сенсорні технології для моніторингу стану сталі в реальному часі. Можливість стежити за характеристиками матеріалу на всіх етапах виробництва та використання.

- **Цифрові сертифікати.** Забезпечують точну інформацію про властивості сталі та її відповідність стандартам, наприклад, автоматична перевірка параметрів матеріалу через онлайн-платформи.
- **Цифрові маркування.** Їх можна сканувати через мобільні додатки або спеціальні пристрої, щоб отримати детальну інформацію про матеріал, його походження та характеристики.

2. QR-коди та блокчейн у системах ідентифікації

QR-коди та блокчейн можуть стати важливими інструментами для забезпечення прозорості та відстеження сталі:

- **QR-коди.** Активно використовуються для надання доступу до детальної інформації про продукцію: тип сталі, виробника, характеристики та сертифікати якості. Це полегшує перевірку автентичності матеріалу та гарантує відсутність підробок.
- **Блокчейн.** Технологія підходить для створення системи, що забезпечує надійне та незмінне збереження всіх даних про сталеві матеріали на кожному етапі їх обробки і доставки. Гарантує високу ступінь захисту від підробок, дозволяє відстежувати походження матеріалу від виробника до кінцевого споживача, знижує ймовірність шахрайства та недобросовісної торгівлі.

3. Єдиний міжнародний стандарт маркування як можливість майбутнього

Однією з головних проблем, що стоїть перед світовою сталевою промисловістю, є відсутність єдиного міжнародного стандарту маркування. Це ускладнює процеси міжнародної торгівлі та підвищує ймовірність помилок у виборі матеріалів.

- **Уніфікація стандартів.** Значно спростить вибір матеріалу, знизить витрати на перевірку та сертифікацію сталі, а також підвищить рівень безпеки в галузі.
- **Підтримка міжнародними організаціями.** Для досягнення єдиних стандартів важлива співпраця між різними міжнародними організаціями: ISO, ASTM, EN, та національними інститутами стандартизації.

Класифікація сталей																	
Хімічний склад		Якість				Спосіб виплавки			Структура (у відпаленому стані)			Призначення					
Вуглецеві	Леговані	Звичайної якості	Якісні	Високоякісні	Особливо високоякісні	Конверторні	Мартенівські	Електросталі	Особливих методів виплавки	Перлітні	Аустенітні	Феритні	Карбідні	Конструкційні	Інструментальні	Спеціального призначення	Будівельні

Висновки

Маркування сталей є критично важливим елементом для забезпечення якості та безпеки матеріалів у промисловості. Правильне маркування дозволяє споживачам і виробникам чітко визначати хімічний склад, механічні властивості та призначення сталі, що є основою для правильного вибору матеріалів для конкретних технологічних процесів. Враховуючи різноманітність стандартів та систем маркування, важливою стає уніфікація процесів і технологій для забезпечення прозорості, зниження ризику підробок та забезпечення відповідності міжнародним вимогам.

Поради споживачам щодо вибору та перевірки маркування сталей

Ознайомтесь з маркуванням.

Перевіряйте сертифікати якості.

Використовуйте цифрові технології.

Будьте уважними до постачальників.

Консультуйтеся із експертами.

Маркування сталі є важливим інструментом для забезпечення якості, безпеки та ефективності використання матеріалів у промисловості. Правильне розуміння маркування та увага до деталей допоможуть забезпечити безперебійне виробництво та знизити ризики, пов'язані з використанням неякісних або не відповідних сталей.

ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА

ДСТУ 3833-98 (ГОСТ 1435-99), steel-group@ukr.net

Нанотехнології в мастильних матеріалах, добавках та присадках

За останні роки фундаментальні і прикладні науки, а також пов'язані з ними технології збагатилися ще одним міждисциплінарним напрямом – технологією ультрадисперсних матеріалів із характерними розмірами дисперсної фази порядку 10^{-9} м (1 нм). Виділення дисперсних утворень таких розмірів (дискретних частинок, волокон, плівок, їх агрегатів тощо) пояснюється особливими властивостями цих систем. У них, наприклад, помітно змінюються температура і режими дифузії, сорбції, каталізу, рух рідин і газів у капілярах та інші властивості. Не дивно, що проблеми нанотехнологій належать до найперспективніших напрямів, які найінтенсивніше розвиваються і фінансуються і від яких очікують відповідного науково-технічного прогресу. Зокрема, до нанотехнологічних процесів слід віднести актуальні у нафтопереробці і нафтохімії технології отримання нанокаталізаторів, високолузних додатків до більшості мастил. Найширший спектр сфер застосування нанотехнологій розглядається у зробленому Національною радою з науки і технології США прогнозі розвитку останніх до 2010 р. – в “Nanotechnology Research Directions”. Практичним аспектам використання нанотехнологій у нафтопереробці і нафтохімії присвячена доповідь М. Jungk на 16-й щорічній конференції ELGI. Більшість дослідників наночастинками вважають тіла, еквівалентний розмір яких (діаметр сфери, об'єм якої дорівнює об'ємові частинки) знаходиться в межах наноінтервалу: $d = 1 \dots 100$ нм. Окремі автори допускають коливання цього інтервалу від 0,1 до 1000 нм і більше, оскільки його межі детермінуються тим, що будь-яка властивість наночастинок в ньому специфічно залежить від її маси і може бути подана у вигляді функції $f_i(m)$, яка на верхній межі наноінтервалу змінює свій вигляд.

Специфічні властивості наночастинок зумовлені тим, що частина атомів, які знаходяться на поверхні, становлять значну частку від загального числа атомів, які утворюють частинку. Наприклад, для сферичних наночастинок розміром ~ 1 нм відношення числа поверхневих атомів до числа внутрішніх становить $\sim$ одиницю. У таких частинках усі атоми настільки близькі один до одного, що взаємодія кожного з них з будь-яким іншим істотно впливає на властивості функції f_i .

Наносистеми мастильних матеріалів умовно можна поділити на чотири групи. До першої групи належать високолузні сульфонати та алкілсаліцилати лужноземельних металів, які застосовують як зольні детергентно-диспергуючі додатки до олив, до другої – нанодисперсні матеріали, які використовують як наповнювачі до олив і мастил. Третя група наночастинок – це мильні і немильні загусники пластичних мастил. Четверта – мікрокапсульовані додатки до олив. Слід зазначити, що більшість “оливних” наносистем

працюють і в мастилах, тоді як “мастильні” є компонентами саме мастил. Мало того, ці наносистеми й утворюють мастила як такі [1].

Наноматеріали мають низку унікальних характеристик, що відрізняють їх від традиційних мастильних присадок:

- малий розмір і висока реакційна здатність – забезпечує кращу взаємодію з поверхнями тертя;

- термічна стабільність – дозволяє витримувати високі температурні навантаження;

- збільшена ефективність змащення – зменшує втрати енергії та сприяє економії палива;

- зменшення механічного зношування – збільшення межремонтних періодів термін експлуатації обладнання;

- екологічна безпечність – сприяє зменшенню шкідливих викидів у навколишнє середовище [1].

Завдяки цим характеристикам, наноматеріали знайшли застосування в різних галузях промисловості (суднобудування, двигунобудування, тощо) Нанотехнології включають в себе широкий спектр можливостей для будівництва, модернізації та ремонту суден, а також судових систем і устаткування. Застосування нанотехнологій для будівництва та ремонту суден дозволяють поліпшити маневрованість, ходу і керованість суден. Нанодобавки на основі оксиду цезію вже зараз додають в дизельне паливо, що дозволяє на 4 ... 5% підвищити коефіцієнт корисної дії двигуна і знизити ступінь забруднення вихлопними газами [2, 3].

Сучасні дослідження та промислові випробування виявили декілька класів наноматеріалів, що мають значний потенціал у мастильних системах:

- халькогеніди металів (WS_2 , MoS_2) – широко використовуються для зниження тертя та зношення в механічних системах;

- м'які метали (мідь, срібло) – формують захисні плівки, що запобігають контакту металевих поверхонь;

- вуглецеві наноматеріали (наноалмази, графен) – володіють поліруючими властивостями, що сприяють зменшенню шорсткості тертьових поверхонь;

- оксиди металів (ZnO , TiO_2) – забезпечують покращену термостійкість і захист від окислення.

Застосування таких матеріалів у складі мастильних добавок дозволяє підвищити стійкість мастильних матеріалів до високих навантажень і агресивних середовищ [4].

Розвиток мастильних матеріалів на основі нанотехнологій охоплює широкий спектр галузей промисловості:

- Автомобільні мастила: зменшують відкладення, покращують теплопередачу і зменшують витрати пального.

- Мастила для залізничних та судових двигунів: забезпечують ефективний захист від корозії та підвищують ресурс роботи двигунів.

Індустріальні мастила: використовуються у складних механізмах, таких як компресори, турбіни, гідравлічні системи та інші види промислового обладнання.

Попри численні переваги, використання наноматеріалів у мастильних системах пов'язане з рядом технічних проблем:

- стабільність дисперсії наночастинок: наноматеріали можуть утворювати агломерати, що знижує їх ефективність;

- оптимальне дозування: важливо дотримуватися правильної концентрації наноматеріалів, щоб уникнути негативного впливу на мастильні властивості;

- сумісність з іншими присадками: необхідно забезпечити баланс між традиційними і нанотехнологічними компонентами мастильних матеріалів [4].

Для усунення проблеми осідання наночастинок та покращення їхньої стабільності використовують:

- модифікацію поверхні – покриття наночастинок спеціальними речовинами для зменшення агрегації;

- дисперсію за допомогою поверхнево-активних речовин – застосування поверхнево-активних речовин для рівномірного розподілу частинок у мастильній рідині;

- синтез в базовому мастилі – дозволяє уникнути додаткових етапів диспергування та підвищити однорідність суміші [5].

Застосування наноматеріалів у мастильних системах сприяє зменшенню негативного впливу на навколишнє середовище. Використання наночастинок дозволяє знизити рівень токсичних сполук у мастильних матеріалах, зменшити утворення відходів та підвищити екологічність виробничих процесів. Крім того, завдяки зниженню тертя та покращенню змащувальних властивостей, двигуни працюють більш ефективно, що веде до зменшення викидів CO₂.

Наноматеріали мають великий потенціал у мастильній промисловості, і їхнє подальше вдосконалення сприятиме покращенню характеристик мастильних матеріалів. Основні напрями розвитку включають:

- подальше вдосконалення методів стабілізації наноматеріалів;

- розширення спектру використання наночастинок у різних видах мастил;

- інтеграція нанотехнологій у розробку нових мастильних матеріалів;

- підвищення екологічності мастильних матеріалів через зменшення шкідливих викидів.

Наноматеріали як мастильні добавки демонструють значний потенціал у покращенні трибологічних характеристик мастил. Вони сприяють підвищенню ефективності двигунів, зниженню механічного зносу та зменшенню шкідливих викидів. Проте, подальші дослідження повинні бути зосереджені на удосконаленні методів стабілізації наноматеріалів, розробці нових композицій мастильних матеріалів та забезпеченні їхньої сумісності з сучасними вимогами до екологічності та продуктивності [6].

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Кобилянський, Є. В., Іщук, Ю. Л., Альтшулер, М. А. Основи нанотехнологій мастильних матеріалів // Катализ и нефтехимия. –2005. – № 13. – С. 1 - 8.
2. Saidur R, Lai YK. (2010). Parasitic energy savings in engines using nanolubricants. Energy Educ Sci Technol Part A Energy Sci Res 26(1):6174.
3. Socoliuc. A, Gnecco E, Maier S, Pfeiffer O, Baratoff A, Bennewitz R, Meyer E. (2006). Atomic scale control of friction by actuation of nanometersized contacts. Science 313(5784):207210.
4. Wu YY, Tsui WC, Liu TC. (2007). Experimental analysis of tribological properties of lubricating oils with nanoparticle additives. Wear 262(7–8):819825
5. Опришко, М. О. Застосування нанотехнологій в суднобудуванні // Матеріали науково-технічної конференції "Морський та річковий флот: експлуатація і ремонт", 18.03. – 19.03.2020. – Одеса: НУ"ОМА", 2020. – 313 с.
6. Опришко, М. О. Застосування нанотехнологій в суднобудуванні // Суднові енергетичні установки. – 2020. – Вип. 40. – С.134 -138 с.

Peculiarities of using composite materials in ship parts and predicting their properties

The properties of the composite material can be considered in two directions. The first are those that depend exclusively on the geometric arrangement of the phases and their corresponding volume fractions, but do not depend on the sizes of the components at all. The second are those that depend on structural factors, such as the periodicity of arrangement or particle sizes of two or more constituent phases [1-3].

Coefficients of thermal expansion of composites include both elastic constants and coefficients of thermal expansion of individual phases. An important function of reinforcing fillers and fibers in the main material is the reduction and control of thermal expansion [4-7].

The strength of a brittle solid material containing a crack depends on the square root of the crack length. Because very small particles cannot contain long cracks, and because the surface region of most solids behaves differently than the interior (a small fiber or sphere contains proportionally more surface material than a large piece), the tensile strength depends on the size of the part being tested.

The strongest materials are ceramics, consisting of elements from the first rows of the periodic table (B, C, SiC, Al_2O_3 , etc.). This is because these elements contain the largest possible block of strong covalent bonds directed in three dimensions. Such materials also have a high melting point, low coefficient of thermal expansion, and low density. All of these are highly desirable engineering properties. Strong fibers, whether rigid or not, also have the great advantage of restraining cracking in so-called brittle matrices (Fig. 1). A crack passing through a brittle material may not penetrate the fibers but leaves a fiber-lined crack so that the material in which the crack is located is prone to cracking in a large number of places before the fibers themselves fail or pull out.



Fig. 1. Demonstration of how fibers prevent cracks in a brittle material from propagating through the fibers into their path

Frictional properties such as wear resistance can, for example, be significantly improved with the help of reinforcing inclusions: the tribological behavior is to some extent determined only by the surface material, it is less imp

important if the reinforcing structure is fibrous or not. Solid ceramic particles added to polymers or metals thus give very good improvements in wear and abrasion resistance, and solid fibers. An example is aluminum reinforced with SiC particles. This composite is used to make high-performance brake discs that are strong, light, excellent heat conductors, and sufficiently fire-resistant.

Although less effective than with fiber, the viscosity of a brittle matrix can also be improved by adding whiskers, short fibers, or single particles. This can be done using several mechanisms. The reinforcement can be a much stiffer phase than the matrix, which (provided the crack does not penetrate between particles) prevents crack propagation by forming bridges that bring the crack matrix closer together. Elastomeric additives to polymers and metal inclusions or channels in the ceramic matrix play this role. Another effective strengthening mechanism is achieved when equipping with strengthening elements obtained in monolithic ceramics with the addition of zirconium particles, which represent a tetragonal to monoclinic phase transformation. Simply put, uniform reinforcement can also strengthen the brittle matrix by creating room for localized deflection of cracks in their path.

Ceramic matrix composites with coarsely balanced reinforcements: microstructure and mechanical behavior

Increases in strength and toughness can be achieved in ceramics undergoing stress-induced transformation [8]. The most impressive is the case of ceramics containing zirconium particles, which represent a tetragonal to monoclinic phase transformation. Using the addition of CeO_2 and others, at room temperature you can get a metastable solid tetragonal solution. Under the influence of the applied load, a transformation from martensitic-tetragonal (t) to monoclinic (m) takes place in the vicinity of the crack, which is associated with an increase in volume and shear deformation, which prevent crack propagation and therefore lead to an increase in viscosity. This increase in ΔK_c is given [9,10]:

$$\Delta K_c^t = \frac{\eta E \epsilon^T V h^{0.5}}{1 - \mu},$$

where η is a coefficient that depends on the shape of the transformation zone around the crack, h is its width, E is the effective Young's modulus of the material, V is the volume fraction of transformed particles, ϵ^T is an unbounded deformation transition, μ is Poisson's ratio.

The width of the zone and the volume fraction of the transformed particles depend on the microstructure and especially on the grain size of the material due to the critical stress for the transformation of ϵ^T . The larger the grain size, the smaller the ϵ^T index, the higher the volume fraction of transformed particles; however, when the grain size becomes larger than the critical size d_c , heating creates conditions for the transformation that occurs during cooling, and most grains are already transformed before crack growth.

When the particle size exceeds the critical size d_c , microcracks appear, which lead to a decrease in the strength of the material [9, 10]. However, if the particle size is smaller than the critical size, microcracks require additional stress that can be provided by the applied load. For effective microcrack reinforcement, the reinforcement must be placed in the technological process zone before the end of the crack. The size of the particles should be as close as possible to the critical size in order to cause significant amplification.

Cracks can be deflected either by stress fields present around the particles or by solid particles of higher resistance. This mechanism leads to a non-planar crack subject to a mixed failure mode. Regarding discs and rods, the effect of the aspect ratio was investigated. High deflection and, therefore, high stiffness are obtained by rod particles with a high aspect ratio or a volume fraction of about 10-20%.

Cyclic loading contributes to the rate of crack growth and leads to a decrease in the threshold stress. Fatigue behavior can be characterized as the spread of corrosion under load associated with increased degradation [7]. There are several rigid mechanisms (intensification of transformation, bridging of cracks, microcracks).

A good example of destruction by microcracks is observed in SiC—Al₂O₃ composites: the maximum viscosity occurs as a function of the particle content. The highest strengthening is achieved with the smallest particles, but degradation of strength is observed for large particles, due to the formation of large cracks.

The creep behavior of reinforced particles or tubular particles in composite coatings was studied for different matrices (alumina, mullite, Si₃N₄ [12]. In the case of alumina composites, the increase in creep resistance is lower than that of tubular composites (one order of magnitude). On the other hand, aluminum oxide-silicon carbide nanocomposites have excellent resistance to creep: the creep rate is reduced by two to three orders of magnitude compared to alumina. SiC nanoparticles prevent the shift of grain boundaries and provoke a significant improvement in creep resistance.

Improvements in creep resistance in other matrices for particle or tube composites are also observed, but generally low. However, excellent resistance to creep is obtained for multioxide-zirconium composites and Si₃N₄ composites.

Nanoscale ceramic composites. Currently, a new class of structural ceramic materials with effective mechanical properties is being developed. These materials are known as "ceramic nanocomposites", they are obtained by combining a structural ceramic matrix, such as Al₂O₃, ZrO₂ or Si₃N₄, with a nanosized second phase. Second phases are typically used as "nanoparticles" of 300 nm or less and are added in amounts from 1 vol. % up to 30 vol. % [11]. It was reported that ceramic nanocomposites have both room and high-temperature properties that significantly exceed the properties of the monolithic matrix in various material systems, which indicates that there is a "structural synergism" of the system between the matrix and the second phase [13,14]. The most widely studied ceramic nanocomposite Al₂O₃-SiC has a promising development.

Processing and microstructure of Al_2O_3 -SiC nanocomposites. Al_2O_3 -SiC nanocomposites are obtained using standard ceramic processing technologies. Matrix and second-phase powders are usually combined in an organic medium to achieve uniform dispersion of the second phase throughout the matrix. After grinding, the nanocomposite powder is dried and then compacted using sintering without pressure or hot pressing. As for monolithic Al_2O_3 , densification in the nanocomposite is strongly inhibited by the presence of particles at the grain boundary, which reduces the rate of grain boundary diffusion. As a result, the sintering conditions required for complete densification are highly dependent on the amount of second phase, with the sintering temperature increasing significantly with volume fraction of the second phase. Although monolithic Al_2O_3 can be achieved by sintering to an almost theoretical density at 1400°C , a temperature of 1775°C is required for complete densification in the Al_2O_3 nanocomposite containing 5 vol. % SiC [8]. No study has shown that full density can be achieved using pressureless sintering in a nanocomposite containing more than 5 vol. % SiC. The difficulties of compaction in the nanocomposite can be eliminated by hot pressing. During hot pressing, the applied pressure increases the driving force for densification, allowing the production of dense nanocomposites at lower temperatures (e.g., 1500°C at 5 vol.% SiC) and with higher volume fractions of the second phase (e.g., 20 vol. % SiC at a temperature of 1675°C) [3].

The processing steps used to obtain nanocomposites have a significant effect on their microstructures and properties. It is well known that the properties of a nanocomposite strongly depend on the dispersion of the second phase [6]. In particular, the uniform dispersion of the second phase is critical for obtaining the necessary properties in the nanocomposite relative to the monolith.

The microstructures of nanocomposites obtained by the above method also strongly depend on the amount of the second phase present. In nanocomposites with a large volume fraction of the second phase (45 vol.%), the matrix grains are equated to a narrow size distribution, and the particles of the second phase are evenly distributed between the matrix grains. An example of this type of microstructure (5 vol.% SiC in Al_2O_3) can be seen in Fig. 2. On the contrary, in samples with a low volume fraction of the second phase, the grain size distribution of the matrix grain can be much wider and in extreme cases there can be anomalous grains.

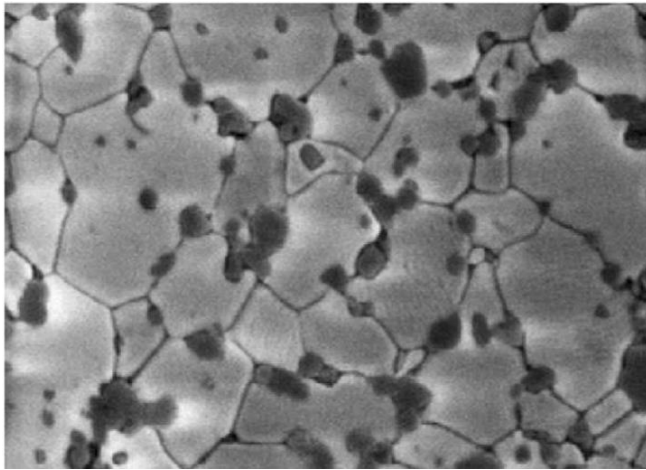


Fig. 2. Scanning electron microscopical image of the microstructure of Al_2O_3 nanocomposite and 5 vol. % SiC, which shows the presence of both intergranular and intragranular particles

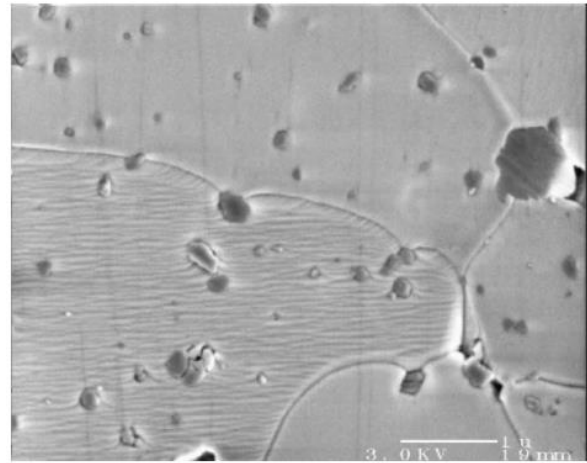


Fig. 3. Image from a scanning electron microscopical image of SiC particles (5 vol. %), inhibiting grain growth by establishing the migration of boundaries of Al_2O_3 grains

As shown in Fig. 2, the particles of the second phase in the nanocomposite are located either on the grain boundaries (intergranular) or inside the grain (intragranular). As will be discussed later, the placement of particles relative to grain boundaries plays the most important role in improving the properties of a nanocomposite over a monolith [8]. In particular, it is believed that intragranular particles are responsible for the excellent properties of the nanocomposite at room temperature, while intergranular particles are responsible for its high-temperature properties. Intergranular particles also significantly increase the microstructural stability of the nanocomposite. The interaction of particles with grain boundaries strongly inhibits matrix grain growth, which, as a rule, takes place at high temperature. Fig. 3 shows SiC particles that inhibit grain growth in the nanocomposite by establishing migrating grain boundaries. The relative proportions of intra- and intergranular particles are strongly related to the grain size of the matrix in the Al_2O_3 -SiC system, while the percentage of intergranular particles significantly decreases with grain size. For example, approximately 70% of the particles are expected to be intergranular for a grain size of 1 μm , while 25% of the particles should be intergranular for a grain size of 5 μm [7].

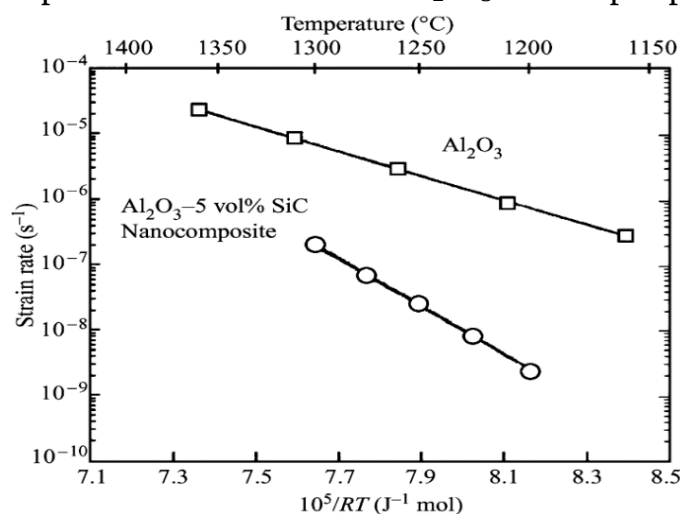
Properties of Al_2O_3 -SiC nanocomposites at room temperature. Excellent mechanical properties of Al_2O_3 -SiC nanocomposites at room temperature were first shown by Niihara, who discovered that adding 5 vol. % SiC particles 300 nm to Al_2O_3 increases the strength from 380 MPa to 1100 MPa [5]. In addition, it was shown that a simple annealing treatment at a temperature of 1300°C for 1 hour with argon gas subsequently increased the strength of nanocomposites to more than 1500 MPa. Niihara reported that the addition of SiC particles also resulted in a significant increase in fracture toughness from $3.8 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$ to $4.7 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$. The excellent properties of Al_2O_3 -SiC nanocomposites over monolithic Al_2O_3 have been confirmed by a number of researchers, although none of these improvements were as drastic as those reported by Niihara [9-11].

Although the superior properties of the nanocomposite are well documented, the mechanisms responsible for the improved properties have not yet been determined. The proposed strengthening and toughening mechanisms of the unannealed nanocomposite include the reduction of the critical size of the defect due to the development of intergranular cracks, the involvement of intergranular cracks in the matrix grains due to residual tensile stresses arising due to a large mismatch of thermal expansion between Al_2O_3 and SiC and the formation of a surface layer of compressive stresses during processing. The further increase in strength and viscosity after annealing is explained by the reduction of surface defects and the preservation of compressive surface stresses caused by mechanical processing, as a result of the slow behavior of stress relaxation in the nanocomposite [4].

In addition to improved strength and viscosity relative to monolithic Li_2O_3 , Al_2O_3 —SiC nanocomposites also have excellent wear resistance. The improved wear properties are the result of a change in the mode of destruction, which occurs when the concentration of the second SiC phase exceeds 4 vol. %. Despite the fact that monolithic Al_2O_3 has predominantly intergranular fracture, the large mismatch of thermal expansion between Al_2O_3 and SiC leads to a clear strengthening of Al_2O_3 grain boundaries, causing the nanocomposite to undergo transgranular fracture. As a result, grains in Al_2O_3 —SiC nanocomposites wear out slowly, in contrast to monolithic Al_2O_3 , where wear, as a rule, involves the removal of whole grains through a relatively weak grain boundary surface.

High-temperature properties of Al_2O_3 —SiC nanocomposites. In addition to its excellent properties at room temperature, the Al_2O_3 —SiC nanocomposite also has excellent high-temperature properties. The excellent strength and viscosity of the nanocomposite is maintained at room temperature up to 1000 °C [3]. In addition, studies have shown that at higher temperatures, the creep resistance of Al_2O_3 is significantly increased due to the presence of SiC particles [6]. As shown in Fig. 4, the creep rate of Al_2O_3 containing 5 vol. % SiC (150 nm), 2-3 orders of magnitude lower than that of monolithic Al_2O_3 at temperatures up to 1300 °C. In addition, the creep duration of the nanocomposite is an order of magnitude longer than that of the monolith. Unfortunately, the deformation index of the nanocomposite is lower than that of Al_2O_3 , due to the nucleation of intergranular particle cavities. The improved creep resistance of Al_2O_3 —SiC is explained by a number of mechanisms. These mechanisms include a decrease in the rate of grain diffusion through the boundary of granular particles; inhibition of form placement processes necessary for creep, such as sliding and grain migration; and reducing the internal diffusivity of the Al_2O_3 grain boundary by contamination with silicon cations. The dominant mechanism responsible for the improved creep behavior of the nanocomposite is unknown.

Ceramic nanocomposites are relatively new materials that have prospects for use. In particular, it was shown that particles of the second phase SiC, containing Al_2O_3 , have both room and high-temperature properties that are superior to monolithic Al_2O_3 . These properties, which include higher strength



and viscosity, increased wear resistance, reduced creep rate at elevated temperatures, and excellent microstructural stability, make nanocomposites an attractive alternative to monolithic ceramics for many structural applications.

Fig. 4. Diagram of the rate of creep deformation as a function of temperature for monolithic Al_2O_3 and Al_2O_3 nanocomposites with 5 vol.% SiC [42]

Conclusions

1. The mechanism of the formation of defects in the surface layer of ship parts of "shaft-sliding bearing" connections with wear-resistant coatings prior to the formation of cracks is determined.
2. The dependence of the rate of creep deformation as a function of temperature was established for monolithic Al_2O_3 and Al_2O_3 nanocomposites with 5 vol.% SiC.

LITERATURE

1. X-ray Tomography in Material Science / J. Baruchel, G. Peix, J. Y. Buffiere et al. — Hermes Science, 2000. — ISBN: 9782746201156.—Access mode: <https://books.google.com.ua/books?id=RrlRAAAAMAAJ>.
2. Bader M. G. Handbook of composite reinforcements // International Materials Reviews. — 2012.—jan. — Vol. 39, no. 3. — P. 123-124.
3. Gay D. Composite Materials: Design and Applications. Third Edition. — 3rd edition. — Boca Raton : CRC Press. 2014. — P. 635. — ISBN: 9780429101038. — Access mode: <https://www.taylorfrancis.com/books/9780429101038>.
4. Fitzer E., Heine M., Bunsell A. R. Fibre Reinforcements for Composite Materials // Composite materials series. — 1988. — Vol. 2.—P. 73.
5. Test Methods, Nondestructive Evaluation, and Smart Materials / L. Carlsson, R. L. Crane, K. Uchikawa et al. // Comprehensive Composite Materials. — 2000. — Vol. 5.
6. Chawla K. K. Composite Materials: Science and Engineering. Materials Research and Engineering. — New York :Springer, 2013. — ISBN:

- 9781475739121.—Access mode: <https://books.google.com.ua/books?id=87LaBwAAQBAJ>
7. Christensen R. M. Mechanics of Composite Materials. Dover Civil and Mechanical Engineering. — Dover Publications, 2012. — ISBN: 9780486136600.—Access mode: <https://books.google.com.ua/books?id=ean01ydtVc4C>.
8. Chou T. W. Microstructural Design of Fiber Composites. Cambridge Solid State Science Series. — Cambridge University Press, 2005.— ISBN: 9780521019651. — Access mode: <https://books.google.com.ua/books?id=pHIER7dPXr4C>.
9. Green D. J. Transformation toughening of ceramics. — CRC press, 2018.
10. Evans A. G. Toughening mechanisms in zirconia alloys // Advances in Ceramics. — Vol. 13. — 1983. — P. 193-212. — Access mode: https :
11. //inis.iaea.org/search/search.aspx?orig_q=RN:17050007.
12. 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. — Одесса: ОГМА. — С.102-104.

Дослідження впливу органічних нанопокриттів на зношування підшипникових вузлів судових дизелів

Суднові двигуни внутрішнього згоряння відносяться до найпоширенішого типу теплових двигунів, що використовуються в енергетичних установках суден морського та внутрішнього водного транспорту. Вони використовуються для перетворення кінетичної енергії газів, які утворюються в їхньому циліндрі під час згоряння палива, в крутний момент на валу та далі в корисну роботу. Функціонування та експлуатаційну надійність двигунів внутрішнього згоряння забезпечують різні системи. Основними є паливна, мащення, охолодження, пускового повітря, випуску газів. Дані системи забезпечують процес згоряння палива та випуску продуктів згоряння, а також режими мащення та охолодження основних деталей дизеля [1].

Мастило, яке знаходиться у поєднанні вкладиш підшипника – вал дизеля, забезпечує гідравлічну щільність та запобігає безпосередньому контакту цієї пари тертя. Збільшенню гідравлічної щільності сприяють сили поверхневого натягу, що виникають на поверхні мастильної плівки при контакті з повітряною фазою [2].

Підтримка технічного стану вкладишів підшипників судових дизелів (як і ряду контактних поверхонь інших машин і механізмів) можливе шляхом спеціальної механічної або фізичної обробки поверхонь, додаванням поверхнево активних речовин у мастило, а також нанесенням на поверхні спеціальних антифрикційних покриттів [3].

Одним з поширених типів антифрикційних покриттів є епілами – полімерні речовини, що містять фтор, які наносяться на металеві поверхні. Під час нанесення епіламів на поверхні метала утворюється плівка завтовшки до 30 нм, яка не впливає на дислокаційну структуру та твердість металу. Її поверхнева енергія залежить від виду епіламу і залежить від металу, який вона наноситься [4].

Нанесення епіламів сприяє утворенню на металевій поверхні граничних мастильних шарів підвищеної (порівняно з поверхнею, на яку не наноситься шар епіламу) товщини. Схема утворення граничних шарів в разі нанесення на металеву поверхню епіламів показано на рис. 1.



Рис. 1. Зміна товщини граничного шару мастила d_s : (а) – без нанесення на поверхню шару епіламу; (б) – з нанесенням на поверхню шару епіламу

З огляду на викладене метою дослідження було визначення впливу антифрикційних покриттів на технічний стан підшипників судових дизелів.

Дослідження виконувались в науковій лабораторії та на судових дизелях 12V32/40 MAN-Diesel&Turbo

Завданням першого етапу дослідження було визначення впливу нанесення епіламів на утворення граничного шару мастила на металевій поверхні.

Під час дослідження використовувались наступні епілами: Aqualin, Efren-K, Polisam-20. Нанесення вказаних епіламів на металеву поверхню (характеристики якої збігались з характеристиками поверхні вкладишів підшипників дизеля 12V32/40 MAN-Diesel&Turbo) виконувалось шляхом їхнього попереднього розчинення в хладоні. Товщина шару епіламу, що був адсорбований на металевій поверхні, визначалась за допомогою еліпсометричної вимірювальної установки. Результати визначення адсорбованої товщини шару епіламів Aqualin, Efren-K, Polisam-20 наведені в таблиці 1 та надані на рис. 2.

Таблиця 1. Результати визначення адсорбованої товщини шару епіламів Aqualin, Efren-K, Polisam-20

Тривалість проведення процесу нанесення епіламу, t , хв	Середня товщина шару епіламу, h , та діапазон її зміни, нм		
	Епілам № 1	Епілам № 2	Епілам № 3
2	4,78 (4,0...5,4)	7,72 (7,0...8,4)	9,1 (8,3...9,8)
4	9,28 (8,6...9,9)	12,28 (11,6...12,9)	13,2 (12,6...13,8)
6	10,30 (9,8...10,8)	16,62 (16,0...17,3)	14,68 (14,1...15,3)
8	10,70 (10,3...11,0)	17,18 (16,7...17,6)	14,90 (14,4...15,4)
10	11,22 (10,9...11,4)	17,38 (17,0...17,7)	15,20 (14,8...15,6)

Примітка: нумерація епіламів виконана в довільній формі

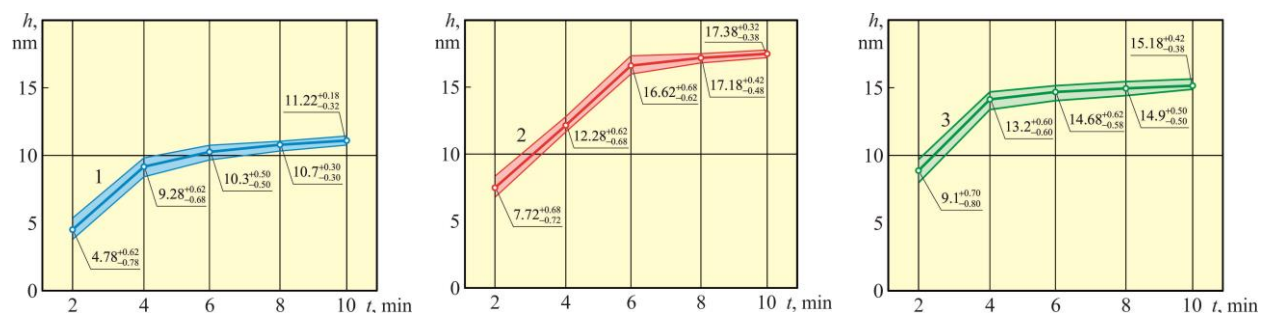


Рис. 2. Залежність середньої товщини адсорбованого шару епіламів Aqualin, Efren-K, Polisam-20 від часу нанесення на металеву поверхню (нумерація епіламів виконана у довільній формі)

Завданням другого етапу досліджень було визначення впливу епіламів на структурні характеристики граничних мастильних шарів (товщину шару d_s та крайовий кут змочування θ). Як мастило було обрано Castrol TLX PLUS 404. Саме це мастило використовувалася в циркуляційній системі мащення судового дизеля MAN-B&W 12V32/40. За допомогою еліпсометричної установки спочатку визначалися характеристики граничного мастильного шару, утвореного на чистій металевій поверхні (без покриття епіламом). Після цього товщина граничного шару d_s та крайовий кут змочування θ визначалися для граничного мастильного шару, утвореного на поверхні з різним епіламовим покриттям. Середні значення товщини граничного шару d_s і крайового кута змочування θ , а також їх діапазон зміни наведені в таблиці 2 та на рис. 3.

Таблиця 2. Структурні характеристики граничного шару мастила в разі нанесення на металеву поверхню шару епіламів Aqualin, Efren-K, Polisam-20

Тип покриття поверхні	Структурна характеристика граничного шару мастила	
	товщина, мкм	крайовий кут змочування, град
Без покриття	12,32 (12,0...12,7)	10,20 (9,7...10,7)
Епілам № 1	15,20 (14,8...15,5)	15,80 (15,4...16,2)
Епілам № 2	18,28 (18,0...18,5)	17,38 (17,0...17,8)
Епілам № 3	17,18 (16,9...17,4)	16,30 (16,0...16,7)

Примітка: нумерація епіламів виконана в довільній формі

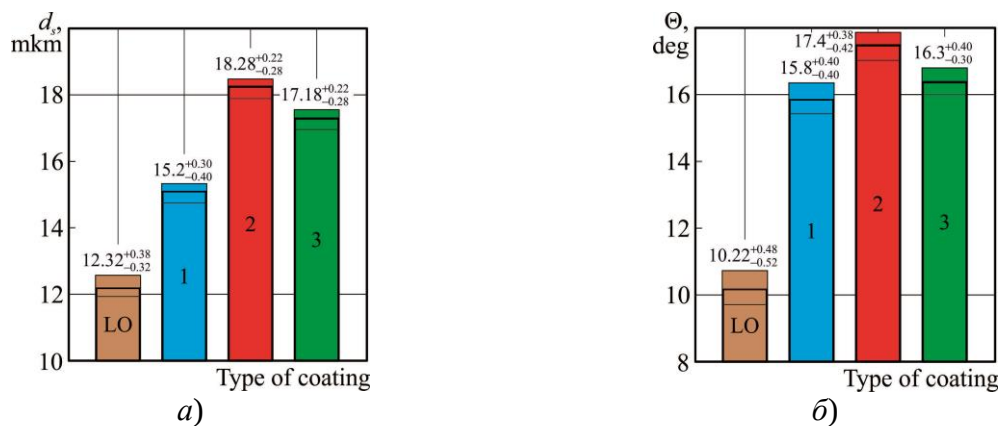


Рис. 3. Зміна товщини d_s та крайового кута змочування θ граничного шару мастила в разі нанесення на металеву поверхню різних епіламів: LO – відсутність покриття (без-посередня товщина граничного шару мастила або крайовий кут змочування); 1, 2, 3 – покриття різними епіламами (нумерація епіламів виконана в довільній формі)

Третій етап досліджень виконувався на судових дизелях 12V32/40 MAN-Diesel&Turbo.

V-подібна компоновка дизеля дозволяла для кожного з рядів циліндрів використовувати вкладиші підшипників з різними характеристиками: для одного – з попередньо нанесеним шаром епіламу, для другого – без нанесення епіламу. Наявність в складі судової енергетичної установки двох дизелів 12V32/40 MAN-Diesel&Turbo дозволяла використовувати для покриття їх

вкладишів різни епілами (таки, що виявили кращі структурні характеристики під час попередніх досліджень).

Оцінка стану поверхонь вкладишів підшипників виконувалася шляхом вимірювання їхнього зносу. Зношування вкладишів підшипників (як показник, за яким виконувалася оцінка роботи системи мащення дизеля та ефективність використання епіламів) визначався як різниця їхньої маси перед експлуатацією та після експлуатації. Результати вимірювання зносу вкладишів підшипників наведені в таблиці 3 та на рис. 4.

Таблиця 3. Знос вкладишів підшипників, г, судових дизелів 12V32/40 MAN-Diesel&Turbo за різних умов експлуатації

№ циліндра	12V32/40 MAN-Diesel&Turbo № 1 (дизель правого борту)		12V32/40 MAN-Diesel&Turbo № 2 (дизель лівого борту)	
	Без покриття поверхні	Покриття епіламом № 2	Без покриття поверхні	Покриття епіламом № 3
1	6,4	5,6	6,6	6,2
2	6,8	5,7	7,2	6,6
5	7,6	5,9	8,4	6,8
6	8,7	6,3	9,1	7,0

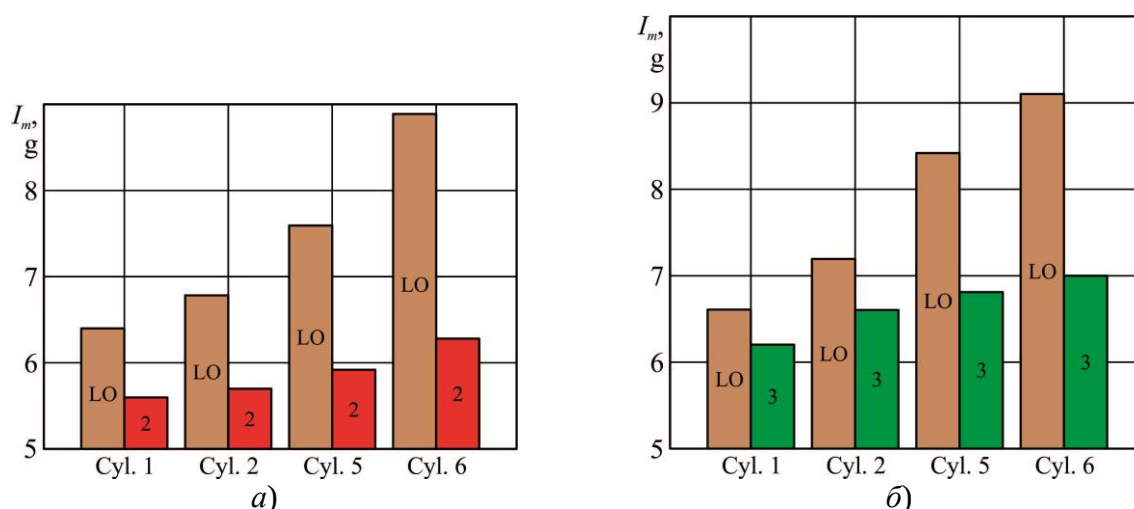


Рис. 4. Знос вкладишів підшипників дизелів 12V32/40 MAN-Diesel&Turbo за різних умов експлуатації: а – дизель правого борту, епілам № 2; б – дизель лівого борту, епілам № 3

Всі дослідження виконувались на енергетичному обладнанні судна, що має діючі сертифікати класифікаційних товариств – міжнародного реєстру Lloyd's Register of Shipping, Англія та Американського Бюро Судноплавства, ABS, США). Під час проведення експериментів, експлуатація судна, дизелів та систем, що забезпечують їхнє функціонування, виконувалася відповідно до вимог Міжнародної Конвенції SOLAS, Міжнародної Конвенції MARPOL, а також інструкцій з експлуатації.

Проведені дослідження та отримані результати дозволяють зробити такі висновки.

1. Для вкладишів підшипників суднових дизелів як метод, що сприяє зниженню контактних навантажень, може бути використано епіламування їх поверхонь.

2. Товщина шару епіламу на поверхні вкладишів підшипників суднових дизелів може досягати 11,2...17,4 нм, а час, необхідний його адсорбції не перебільшує 10 хв.

3. Наночар епіламів, нанесений на металеву поверхню, призводить до підвищення структурних характеристик граничного шару мастила, що утворюється біля цієї поверхні. Це виявляється у збільшенні товщини граничного шару та крайових кутів змочування – параметрів, які сприяють підвищенню пружно демпфуючих властивостей мастила та розклинювального тиску в трибологічній системі метал – мастильний шар – метал. У виконаних дослідженнях збільшення цих параметрів становило:

- для товщини граничного шару мастила від 12,3 мкм (у разі експлуатації без нанесення епіламів) до 15,2...18,3 мкм (під час використання різних епіламів);

- для крайового кута змочування від $10,2^\circ$ (у разі експлуатації без нанесення епіламів) до $15,8...17,4^\circ$ (під час використання різних епіламів).

4. Підвищення структурних характеристик граничного шару мастила за рахунок епіламування поверхонь вкладишів підшипників дозволяє значно знизити їх зношування. Для суднового дизеля 12V32/40 MAN-Diesel&Turbo експериментально встановлено, що епіламування забезпечує 1,1...1,4 кратне зниження зношування поверхні вкладишів підшипників, а також їх найкращий технічний стан.

5. Епіламування відноситься до категорії сучасних методів нанотехнологічності. Даний метод вимагає попередніх досліджень щодо визначення оптимальних видів антифрикційних покриттів (епіламів) та часу їх нанесення на поверхні, але при цьому не викликає додаткових трудовитрат при його використанні, а також підвищує енергетичну ефективність трибологічних систем.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Sagin S., Madey V., Sagin A. Stoliaryk T., Fomin O., Kučera P. Ensuring Reliable and Safe Operation of Trunk Diesel Engines of Marine Transport Vessels // Journal Marine Science and Engineering. – 2022. – Vol. 10. – Iss. 10. – P. 1373. <https://doi.org/10.3390/jmse10101373>.

2. Сагін С.В., Сагін А.С. Контроль та діагностування надійності та економічності дизелів морських та річкових засобів транспорту // Суднові енергетичні установки : науково-технічний збірник. – 2023. – Вип. 46. – С. 118-131. doi: 10.31653/smf46.2023.118-131.

3. Сагін С.В., Сагін А.С., Заблоцький Ю.В., Фомін О.В. Забезпечення технічного стану підшипників суднових дизелів // Водний транспорт. Збірник наукових праць. – 2024. – Вип. 2(40). – С. 138-151. doi.org/10.33298/2226-8553.2024.2.40.13.

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

Порівняльний аналіз систем подачі газу низького та високого тиску

Система подачі газу низького тиску Після аналізу різних концепцій створення газодизельного малообертового двигуна, проведених фірмою Winterthur Gas and Diesel Ltd., було вирішено розвивати технологію подачі газового палива (ГП) у двигун під низьким тиском. Перші дослідження було виконано на переобладнаному дизелі RT-flex50DF.

Рідке паливо (РП) використовувалося як резервне. При цьому на ГП двигун мав працювати за циклом, близьким до теоретичного циклу Отто.

Розроблена для двопаливного малообертового двигуна технологія подачі газу під низьким тиском розрахована на спалювання збідненої паливоповітряної суміші [1,2]. Газ подається в циліндр після того, як всі органи газообміну закриті, але тиск залишається ще порівняно низьким. На практиці клапани для подачі газу встановлюються на деякій висоті від вікон продувних, щоб забезпечити необхідний час на заповнення циліндра газом. Надходження газового палива на такті стиснення дозволяє подавати його в циліндри під відносно низьким тиском 1,0...1,6 МПа.

У процесі стиснення в двигуні газ добре перемішується з повітрям і займається за допомогою запальної порції палива. При цьому її величина у всьому діапазоні навантажень не перевищує 1% від циклової подачі РП на номінальному режимі. Порівняно з РП використання цієї технології дозволяє знизити утворення NOx на 90%, що пояснюється більш рівномірним розподілом температур камери згоряння. Це, у свою чергу, дозволяє виконувати вимоги Міжнародної морської організації (International Maritime Organization) IMO Tier-III щодо викидів NOx без будь-якої подальшої обробки відпрацьованих газів після двигуна.

Для забезпечення роботи на двох паливах двигун обладнується трьома незалежними один від одного системами паливоподачі, кожна з яких може керуватися електронним мікропроцесорним модулем за окремою програмою залежно від палива, яке використовується, та режиму роботи.

Штатну паливну систему акумуляторного типу, характерну для всіх двигунів серії RT-flex, використовують для подачі резервного РП. При цьому двигун зберігає здатність працювати на важких сортах палива у всьому діапазоні навантажень.

Подача запального палива здійснюється окремою акумуляторною системою малої продуктивності (рис.1). Таке рішення дозволяє отримати стійку подачу малих порцій палива з можливістю гнучкого регулювання режиму роботи системи запалення.

Для покращення умов займання збідненої газо-повітряної суміші на кожному циліндрі встановлюються два запальні модулі, що складаються з вихрокамери з встановленою в ній форсункою подачі запального палива. Як запальне використовується легке дизельне паливо, проте розглядається можливість застосування важкого палива (HFO), на якому двигун працює як на резервному.

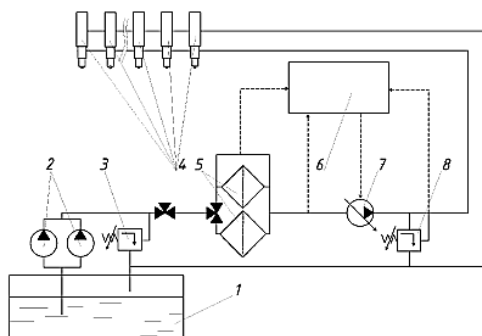


Рис. 1. Схема акумуляторної системи запалювання газодизельного двигуна RT-flexDF [3]

1 – цистерна запального палива; 2 – насоси, що підкачують; 3 – перепускний клапан лінії низького тиску; 4 – форсунки; 5 – фільтри тонкого очищення; 6 – електронний блок керування; 7 – паливний насос високого тиску; 8 – перепускний клапан лінії високого тиску; - - - гідравлічні лінії; - - - - лінії управління

Подача ДП у циліндри двигуна здійснюється за допомогою двох газових клапанів, які встановлюються навпроти один одного на висоті приблизно 1/3 ходу поршня. Кріпляться клапана до сорочки блоку циліндрів і через отвори у втулці подають газ у робочий циліндр. Робота двигуна на газі дозволяє одержати на вихідному фланці потужність на рівні 80% від номінальної потужності базового дизеля (рис.2).

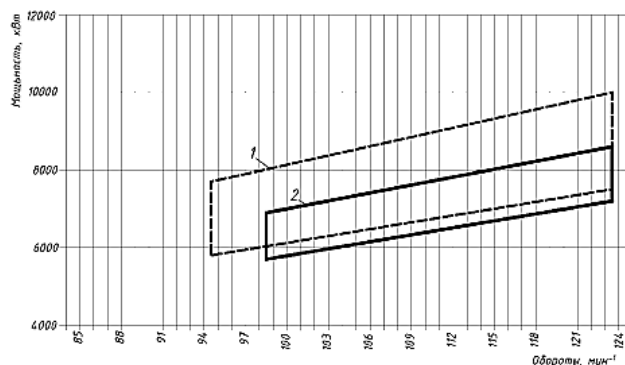


Рис. 2. Області рекомендованих режимів роботи двигунів RT-flex50B на рідкому паливі (1) та RT-flex50DF на газовому (2) [3]

В даний час фірма Wärtsilä [4,5] налагодила випуск нового покоління двопаливних малообертових двотактних двигунів на базі дизелів серії X. До таких двигунів відносяться WX62DF, W-X72DF, W-X82 та W-X92. Загалом розроблена технологія орієнтована як на створення нових двигунів, так і на модернізацію тих, що знаходяться в експлуатації.

Система подачі газу високого тиску. Розробка та використання систем високого тиску ведеться протягом останніх років найбільшим виробником суднових малообертових двигунів – фірмою MAN [6,7]. Як базові моделі для газодизельних двигунів використовуються двотактні малообертові дизелі серій MC і ME. Модернізовані під газодизельний процес двигуни отримали індекс GI (Gas Injector). При цьому на двигуни з механічним управлінням (MC) встановлюється додатково електронна система управління процесом подачі газу, а двигунах з електронним управлінням (ME) функції регулювання покладаються на штатну систему управління.

Для роботи на рідкому паливі та для запального впорскування використовується штатна паливна система, що спрощує конструкцію. Витрата рідкого палива на запалення, для даного типу двигунів, становить 5 ... 8%. Перехід з одного виду палива на інший, як і перехід з режиму на режим здійснюється автоматично без зниження потужності у всьому діапазоні навантажень двигуна. Устаткування для подачі ГП під високим тиском включає компресори, теплообмінні апарати, систему підведення ГП до робочих циліндрів, модулі управління подачею газу і газові форсунки. Подача газу в камеру згоряння здійснюється відразу після того, як в циліндр подана і спалахнула запальна порція РП. Таким чином, досягається високий ступінь вигорання палива і запобігає небезпеці пропуску запалювання, а також попадання газу через зазори поршневих кілець у підпоршневий простір.

Всі елементи керування подачею газу скомпоновані в одному модулі, який включає: газовий акумулятор, головний відсічний клапан з гідравлічним приводом, продувки клапана системи інертним газом, клапана управління гідроприводом форсунок. Сам модуль кріпиться до кришки циліндра, яка має внутрішні свердління для підведення газу від модуля управління до газових форсунок, встановлених у кришці циліндра поряд з форсунками для впорскування рідкого палива.

Газове паливо з магістралі, що підводить, через зворотний клапан надходить в акумулятор тиску, виконаний як порожнину в корпусі модуля. Місткість акумулятора еквівалентна приблизно 20 циклових подач газу на номінальному навантаженні. Наявність акумулятора в блоці управління служить для зменшення падіння тиску в процесі впорскування палива. Стабільний тиск необхідно, щоб система керування могла правильно визначити час відкриття клапана, яким і задається величина циклової подачі.

У таблиці 1 наведено основні особливості, пов'язані з конструкцією, організацією робочого процесу та експлуатацією газодизельних двигунів, обладнаних системами низького та високого тиску.

На сьогодні існує два принципово різні підходи до організації роботи малообертових двигунів на ДП, кожен з яких має свої переваги та недоліки [7].

Таблиця 1 – Порівняння систем низького та високого тиску

ОСОБЛИВОСТІ КОНСТРУКЦІЇ ТА ОРГАНІЗАЦІЇ РОБОЧОГО ПРОЦЕСУ	Низького тиску	Високого тиску
Потужність на газовому паливі	80% от N_e	100% от N_e
Чутливість до якості газу (метанове число)	Не нижче 80	Нема
Чутливість до температури повітря на вході	Є	Нема
Частка запального палива	1%	3...5%
Наявність окремої системи запального упорскування	Є	Нема
Можливість використання НФО як запального	В перспективі	Так
Можливість використання НФО як резервного	Так	Так
Можливість роботи на двох паливах одночасно (крім запального)	Ні в перспективі	Так
Сумішоутворення	Із перемішув.	Без переміш.
Тиск газового палива, що підводиться	1.6 МПа	30.0 МПа
Максимальний тиск циклу	Зростає	Без змін
Виникнення детонації при зміні навантаження	Можливо	Ні
Імовірність пропуску займання	Є	Нема
Імовірність вибуху у підпоршневому просторі	Є	Нема
Імовірність вибуху у випускному ресивері	Є	Нема
Імовірність витоків газу в машинне відділення	Низька	Висока
Ефективний ККД на газовому паливі	Без змін	Зростає
Ефективний ККД на рідкому паливі	Знижується	Без змін
Відповідність нормам викидів ІМО за NO_x	Tier III	Tier II
Викиди CO_2 : з відпрацьованими газами г/(кВт год)	455.7	452.4
Викиди метану з газами, що відпрацьовали г/(кВт год)	3...6	= 0.5
GWP (потенціал глобального потепління в еквіваленті CO_2) від РП	Не нижче 10%	Не нижче 23%
Можливість переходу з одного палива на інше під навантаженням	До 80% от IV_{*1}	Без обмежень
Реакція двигуна на зміну навантаження	Уповільнена	Без змін

Переваги систем низького тиску:

- хороше перемішування газоповітряної суміші в ході процесу стиснення;
- використання мінімальної порції запального палива для підпалу газоповітряної суміші;
- подача газу до робочого циліндра під відносно низьким тиском, що дозволяє знизити ймовірність витоків, спростити паливну систему, підвищити безпеку її використання;
- для подачі ГП можна використовувати більш дешеві та надійні гвинтові або відцентрові компресори.

Недоліки систем низького тиску:

- можливість виникнення детонації та, як наслідок, вищі вимоги до якості ГП;
- неминуче просочування газоповітряної суміші через поршневі кільця в підпоршневий простір на такті стиснення, а також можливість попадання газу в підпоршневий простір у разі пошкодження газового клапана;

- обмеження потужності двигуна під час роботи на ГП лише на рівні 80% від номіналу, уповільнена реакція зміну навантаження.

Перевага систем прямого впорскування під високим тиском:

- при подачі ГП безпосередньо в камеру згоряння можна повністю виключити виникнення детонації, тому відсутні будь-які обмеження по потужності двигуна при роботі на ГП, та й вимоги до якості ГП менш жорсткі;

- виключено влучення ГП у підпоршневий простір.

Недоліки систем прямого впорскування:

- використання газу під високим тиском ускладнює паливну систему, підвищує вимоги до її безпеки;

- велика витрата рідкого палива на запальне запалювання газоповітряної суміші;

- для стиснення газу необхідно використання багатоступінчастих компресорів, що підвищує енергетичні витрати установки.

Таким чином, обидва підходи до організації робочого процесу в газодизельних двигунах мають свої переваги, які для певного типу установок можуть виявитися вирішальними, а розвиток конструкцій дозволить позбавитися більшості властивих на сьогодні недоліків. У цьому зв'язку очевидно, що в найближчому майбутньому обидва напрями розвиватимуться паралельно.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.

1. Rolsted H. MAN B&W 2-stroke Marine Engine Leading today's Environmental challenges [Текст]./ Rolsted H. // Korea: MAN Diesel & Turbo SE, 2010. – 86 p.

2. ME-GI – Dual Fuel Done Right [Текст]. MAN Diesel, ME-GI, SNAME NY, 2013. – 73 p.

3. ME-GI Dual Fuel MAN B&W Engines A Technical, Operational and Cost-effective Solution for Ships Fuelled by Gas [Текст]. Denmark, Copenhagen: MAN Diesel & Turbo. 2012. – 36 p.

4. Wettstein R. The Wärtsilä low-speed, low-pressure dual-fuel engine [Текст]. / Wettstein R. // AJOUR Conference, Odense, 27/28 Nov 2014. – 31 p.

5. Wärtsilä 2-stroke dual fuel technology [Текст]. CIMAC NMA Norge annual meeting 22.01.2014. – 32 p.

6. Ott M. X-DF low-pressure dual-fuel engine technology [Текст]. Win GD low-speed engines Licensees, Conference 2015. – 7 p.

7. Nylund I., Low pressure at low speed. Marine / In Detail. Dual-Fuel Technology [Текст]. / Nylund I.// Wärtsilä. 2014. – 6 p.

Кіріс О., Афтанюк В.

Національний університет «Одеська морська академія»

Дослідження аеродинаміки вводу потоків газу для суднового скрубера

Провідними виробниками суднових двигунів (MAN Diesel [1], Wärtsilä [2] та ін.) ведуться розробки та вдосконалення скрубєрних систем очистки SO_x . Для поліпшення технології очищення рекомендується використання комбінованих скрубєрів (Hybrid Scrubber System) [3], в яких в одному апараті реалізуються послідовно декілька способів очистки вихлопних газів від SO_x .

Для оптимізації ефективності очищення в скрубєрі необхідно врахувати вплив введення потоку в апарат на нерівномірність аеродинамічного навантаження корпусу апарату. Основним критерієм, що відповідає оптимальній орієнтації введення газового потоку в скрубєр, доцільно вважати забезпечення рівномірного аеродинамічного навантаження на всю поверхню поперечного перерізу апарату.

Для забезпечення максимально рівномірного розподілу потоків газу було запропоновано вводити забруднений газовий потік, не під прямим кутом (90°) до вертикальної осі апарату, а під більш гострим кутом. Для оптимізації умов введення потоку забрудненого газу в апарат та вибору раціонального кута було прийнято рішення провести дослідження низки можливих конструктивних рішень.

Для реалізації запланованого дослідження на основі аналізу експлуатації скрубєрів було обрано 5 (п'ять) конструктивних рішень введення газу в апарат з кутом введення забрудненого потоку до вертикальної осі, що дорівнює 90° , 75° , 60° , 45° , 30° (рис. 1). У дослідженні розглядалася лише аеродинаміка повітряного потоку. Було створено п'ять твердотільних моделей, що відрізняються тільки кутом введення потоку в скрубєр.

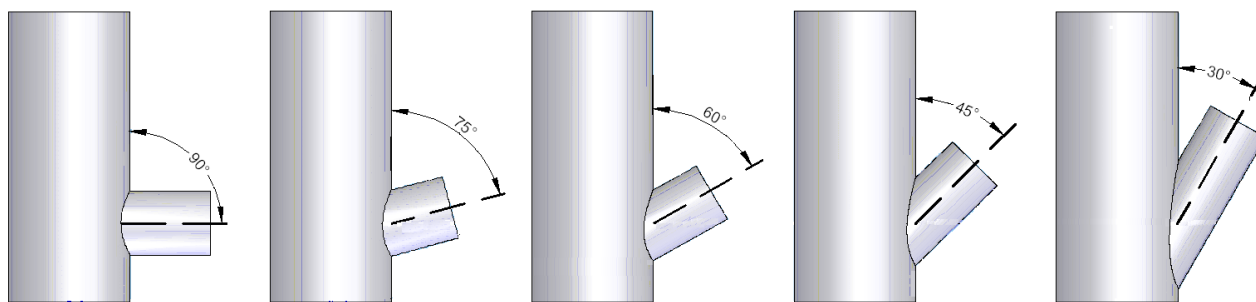


Рисунок 1 – Моделі скрубєра з різними кутами введення газу

На розроблених моделях було проведено моделювання однофазних потоків повітря та отримано візуалізацію розподілу швидкостей. Дослідження здійснено за допомогою програмного комплексу [4].

Результати моделювання швидкостей газу по віртуальних лінійних об'єктах обчислювалися для кожного кута нахилу введення повітря в скрубєр і

потім узагальнені у вигляді графіків, за якими простежуються тенденції впливу кута введення потоку на профіль швидкості повітря.

Моделювання потоків повітря в скрубєрі дозволило отримати візуальну картину розподілу швидкостей повітря всередині апарату та визначити значення відносної нерівномірності розподілу швидкостей повітря.

Моделювання введення повітря в апарат під кутом 90° (рис. 2) показало наявність інтенсивної внутрішньої циркуляції в нижній частині апарату та невелику зону циркуляції під решіткою, а також підвищені швидкості повітря на протилежній (від входу газу) стінці апарату. Фіксація профілів швидкості газу над ґратами показало, що величини відносної нерівномірності дорівнюють $N_1 = 9,9$, $N_2 = 10,8$.

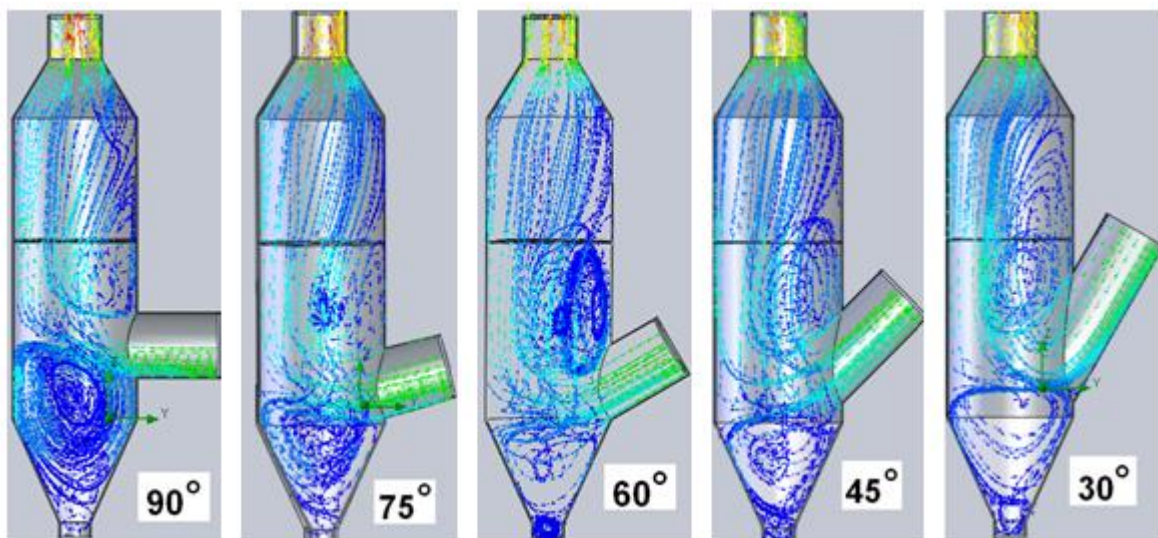


Рисунок 2 – Траєкторії швидкості газу в апараті при введенні під різними кутами

Дослідження введення повітря в апарат під кутом 75° (рис. 2) виявило зниження інтенсивності вихроутворення в нижній частині скрубєру, та незначне зниження швидкостей газу на протилежній (від входу газу) стінці апарату. Профілі швидкостей газу мають відносну нерівномірність що дорівнює $N_1 = 7,8$, $N_2 = 6,7$.

При введенні повітря в скрубєр під кутом 60° (рис. 2) у нижній частині апарату відбувається значне зниження інтенсивності внутрішньої циркуляції, і посилюється зона циркуляції під ґратами. Профілі швидкостей газу мають відносну нерівномірність рівну $N_1 = 11$, $N_2 = 4,7$.

Для кута введення 45° (рис. 2) відбувається «розмивання» циркуляції в нижній частині скрубєра та зниження інтенсивності циркуляції під ґратами. Профілі швидкостей газу над ґратами та відповідають відносної нерівномірності потоку $N_1 = 5,4$, $N_2 = 3,6$.

При введенні потоку 30° (рис. 2) відбувається подальше «розмивання» потоку в нижній частині скрубєру та зниження інтенсивності циркуляції в зоні під ґратами. Відносна нерівномірність потоку становить $N_1 = 5$, $N_2 = 1,5$.

Узагальнений аналіз впливу кута введення забрудненого газового потоку в скруббер показує, що найбільш рівномірний профіль швидкостей над решіткою забезпечує введення газу під кутом 30° .

Проведене чисельне дослідження роботи скруббера дозволять аналізувати роботу скруббера з метою підвищення якості очищення забрудненого повітря, що видаляється від суднових енергетичних установок.

В результаті проведених досліджень визначено раціональний спосіб введення газу в скруббер. Для забезпечення найбільш рівномірного аеродинамічного навантаження на поверхню вихрової тарілки введення газу необхідно здійснювати під кутом 30° (рис. 2). Однак введення повітря в скруббер під кутом 30° підвищує гідравлічний опір апарата, що підтверджує зростання коефіцієнта гідравлічного опору ($\xi = 2,4$). Це з більш різким поворотом повітряного потоку, ніж за інших кутах введення.

Підвищення гідравлічного опору через різкий поворот потоку не може вважатися абсолютно негативним чинником, тому що у цьому випадку сили інерції забезпечуватимуть додаткову попередню сепарацію твердих частинок із забрудненого потоку, знижуючи навантаження на верхню частину апарату.

Модель допомагає швидко та наочно змодельовати рух повітряного потоку з урахуванням внесених до геометрії скруббера змін. Таким чином, модель може застосовуватися для оптимізації конструкції скруббера залежно від типу та потужності суднової енергетичної установки, та характеристик забрудненого газу.

В результаті можна зробити висновок про необхідність урахування нерівномірності розподілу полів швидкостей при подальшому процесі моделювання очищення газу в скруббері.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Emission Project Guide. MAN B&W Two-stroke Marine Engines. [online cit.: 2024-03-31]. Available from: https://marine.man-es.com/applications/projectguides/2stroke/content/special_pg/7020-0145-09_uk.pdf.
2. WÄRTSILÄ SCRUBBER. PRODUCT GUIDE [online cit.: 2019-03-31]. Available from: https://cdn.wartsila.com/docs/default-source/local-files/russia/products/project-guides/w%c3%a4rtsil%c3%a4-scrubber-product-guide-rev-c_rus.pdf?sfvrsn=73676f44_2.
3. Exhaust Gas Scrubber Systems [online cit.: 2019-03-31]. Available from: [https://www.eagle.org/eagle-ExternalPortal-WEB/ShowProperty/BEA%20Repository/References/Capability%20Brochures/Exhaust Scrubbers](https://www.eagle.org/eagle-ExternalPortal-WEB/ShowProperty/BEA%20Repository/References/Capability%20Brochures/Exhaust%20Scrubbers).
4. Discover the power of SOLIDWORKS with a free trial. Available from: <https://plm-group.ru/solidworks-trial>.

Combustion control and monitoring of two-stroke engines

Intelligent Combustion Monitoring (ICM) is an established means of measuring and evaluating cylinder pressure data. Intelligent Combustion Control (ICC) now ensures that the engine is operated as intended, and with maximum safety and efficiency.

The ICC system is optionally integrated into the latest Wärtsilä Engine Control System (WECS-9520) version for the electronically controlled RT-flex engine series. The system is also available as a retrofit for existing vessels. Adjustments to the engine firing pressure are made in reference to set-point values derived from the engine shop test, which are then site corrected taking ambient variations into account.

Compared to an engine operated with a Fuel Quality Setting (FQS) of zero, activated ICC onboard a vessel achieved measured reductions in fuel oil consumption of approximately 2.5g/kWh across the entire engine load range. Consequently, overall CO₂ emissions were also notably reduced.

Wärtsilä Intelligent Combustion Monitoring for two-stroke diesel engines is based on the sophisticated technology of the well-known ABB Cylmate® system, and is a comprehensive method for continuous engine performance measurement and monitoring. A unique combination of cylinder pressure measurements and crankshaft position detection, together with advanced mathematical modeling of dynamic engine operation (crankshaft deflection model), provides highly accurate, real-time data for monitoring and diagnostic analysis.

The ICM system consists of a pressure transducer on each cylinder unit and an angle transducer at the engine flywheel, which are all connected to the transducer bus.

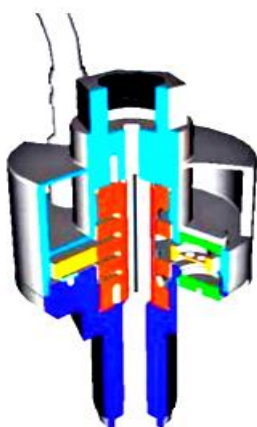


Fig. 2. ICM pressure transducer

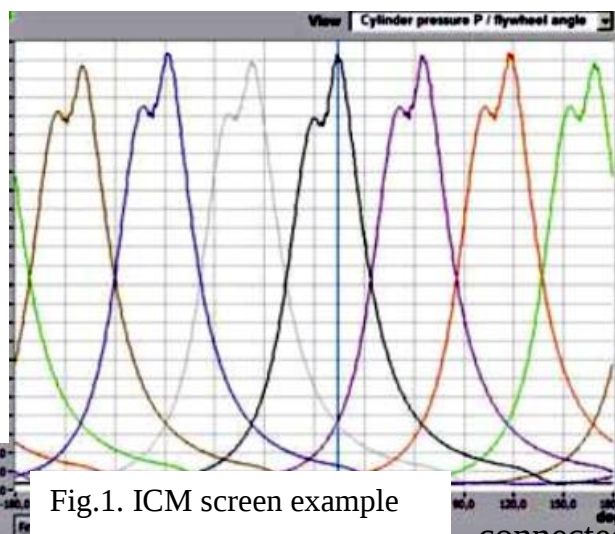


Fig.1. ICM screen example

The controller collects all the measured data within each engine's working cycle. The data can be evaluated with the help of a built-in computed

mathematical engine model. The ICM system has a comprehensive on-screen presentation (Fig. 1) of all the collected data, both current and historical. Alarm, event and trend pages, as well as graphic and tabular forms of the engine parameters, are available. These include, for example, P_{comp} , P_{max} , MIP, Indicated Power, engine speed, SF+OC, and more.

The ICM pressure transducers (Pressductor® technology) chosen for two-stroke engine applications are based on a magneto-elastic measuring principle, and are mounted on the cylinder cover just below the indicator cocks (one on each cylinder).

The ICM transducers have a unique blow through design, as illustrated in Fig. 2. Usually, before starting the main engine, the indicator cocks are opened while slowly turning the engine. During that time, all potential combustion residuals (especially from HFO usage) are blown out.

This cleaning function guarantees precise measurement data over a long operational period (mean time between failure exceeds 10 years with roughly 6500 yearly operating hours for the main engine), and reduced maintenance effort. Another benefit of this type of transducer is the independence of temperature (heat flash). As a result, no compensation or re-calibration is required

ICC – Introduction The main concern for today's vessel owners and operators is to find ways for reducing fuel oil consumption and maintenance costs, as well as to comply with current and pending emissions legislation. The

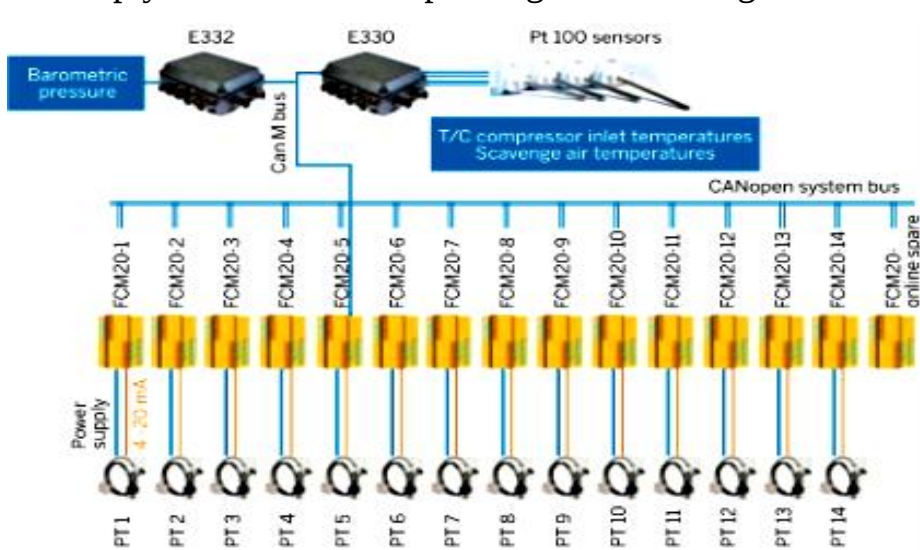


Fig. 3. ICC installation overview (example for 14-cylinders)

Wärtsilä Intelligent Combustion Control system ensures that the engine in service operates according to its original shop test performance. This is done automatically, in real time, and independent of the fuel used at any time, be it HFO or

MDO. As mentioned

earlier, this is of particular importance when fuel of different quality is bunkered, or when the fuel has to be changed in certain exhaust gas emissions control areas.

ICC–Key components The precise and continuously measured in-cylinder pressure of all units forms the basis of the ICC system. The raw data relating to the cylinder pressure of each unit is taken as an analogue input signal from the ICM pressure transducer into Wärtsilä's Engine Control System (WECS-9520), as illustrated in Fig. 3.

The engine speed signal, as well as the crank angle position with 0.1 °CA resolution, already exists in the WECS-9520. The ICC temperature and pressure sensors are installed at the T/C compressor inlet and in the scavenge air connected to the WECS-9520.

ICC – Functionality The ICC function is an integrated optional part of the latest version of WECS-9520, which adjusts the peak firing pressure of the engine according to the engine design criteria. Furthermore, the firing and the compression pressure of all cylinders are balanced by modifying the injection timing and exhaust valve closing timing within their allowed operation range. All modifications of the engine control parameters by an activated ICC, are compliant with the vessel's IMO certificate.

In-cylinder pressure evaluation In order to get the cylinder pressure trace vs. crank angle, the raw signal for the in-cylinder pressure is evaluated and processed by the ICC part of the WECS-9520. From this data, the compression and firing pressures are determined with polynomial formulas in the Fig. 4.

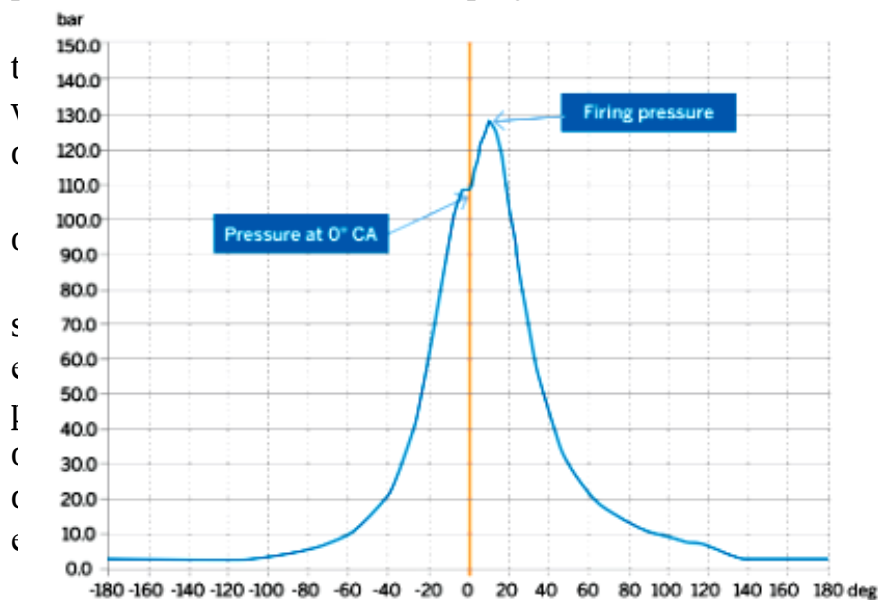


Fig.4. Cylinder pressure graph for a two-stroke engine

atched on, it also limits compression pressure) iver wear to the engine

stments in the case of

pressure, derived from
 1) to site conditions at
 at the engine's firing
 that the engine is not
 ne continuous ambient
 nal variations, and the

t signal itself is drift
 equal to the separate bus
 1.

The signal is initially filtered in the WECS-9520 and further routed into a controller. Adjustments of this actual measured pressure value to its corrected set-point value at a certain engine load, are made accordingly. This real time site correction and comparison, shown in Fig. 5, is performed for each individual engine cycle.

The ICC system was initially installed on the 4RT-flex60C laboratory engine in Winterthur, Switzerland, where it was extensively tested. After completion of all necessary tests, the ICC system was installed on two vessels (one with a 7RT-flex96C and the other with a 12RT-flex96C engine). The complete installation took place during the vessels' port stays, and the ICC system was commissioned during a short voyage between European ports without interfering with the sailing schedules. The commissioning included functionality checks and performance testing. The FQS was in use on just one of the vessels before the Wärtsilä engi-

neers installed the ICC. An increase in firing pressure, which depends heavily on the ignition delay (mainly fuel influenced), is equivalent to the Specific Fuel Oil Consumption (SFOC) reduction. Thus, it is most important that the firing pressure is correctly adjusted by means of FQS during engine operation.

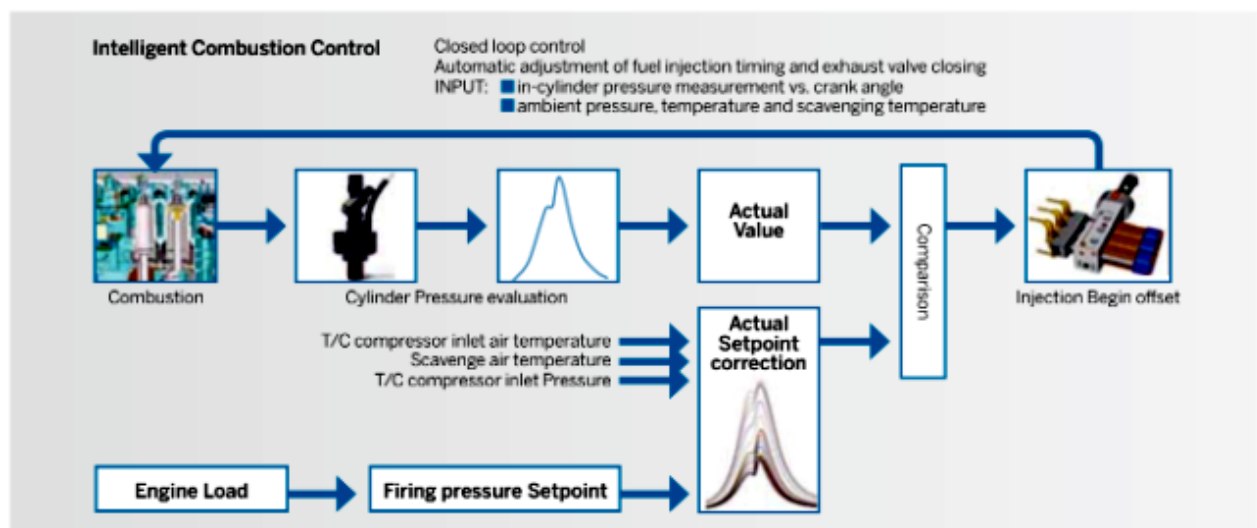


Fig. 5. Firing pressure control strategy

ICC installation options ICC can be installed as an option on all Wärtsilä RT-flex newbuild engines, as well as a retrofit solution on RT-flex engines in service.

Some engines in service were previously installed with the ICM system (or former Cylmate® system). Such engines can continue to use the already installed pressure transducers and easily upgrade the ICM system to a combined ICC/ ICM system. The combined ICC/ICM system can also be installed from the beginning. The combination of ICC with ICM provides an extended data viewing, trending and downloading functionality for more detailed condition monitoring of combustion chamber components. Furthermore, it enables the earlier mentioned integration into the Wärtsilä condition monitoring system and services. activating ICC at a constant engine speed / load operating point. It is evident that the deviations between cylinders are reduced. An activated ICC also raises the mean value of the firing pressure to the set-point value.

In Fig. 7, the deviation trend is illustrated for the twelve cylinder engine (cylinder vs. cylinder), whereas in “open loop control” at 82% load, one cylinder is already at a pronounced high firing pressure. This balancing of the firing pressure results in an equal exploitation of each cylinder unit.

Results Fig. 6 outlines the changes in compression and firing pressures while

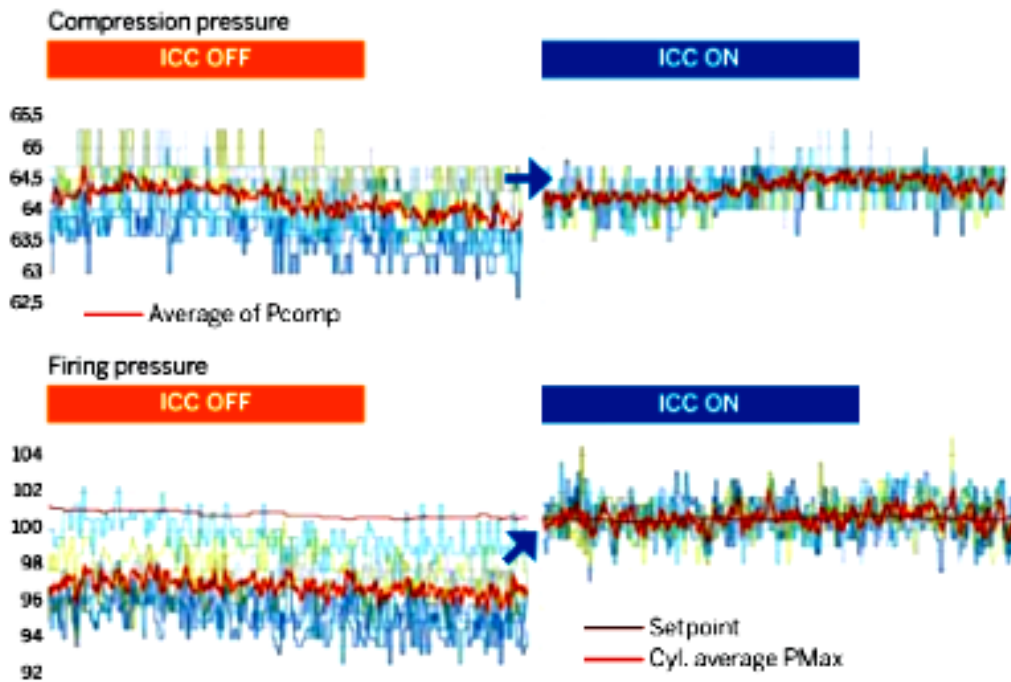


Fig. 6. Activation of ICC (7RT-flex96C)

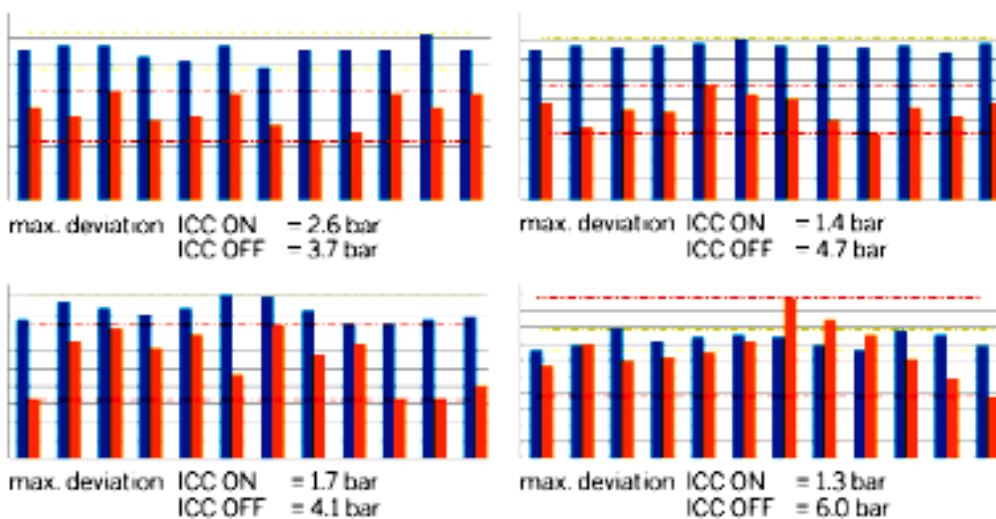


Fig. 7. Firing pressure deviation over 25 cycles (12RT-flex96C)

CONCLUSION

The equal exploitation of each cylinder unit of the engine by balancing the compression and firing pressures, reduces the potential overload and abnormal wear rates of the engine components. ICC ensures that the engine is always operated according to its design criteria, and as safely and efficiently as possible. The ICC system helps not only to reduce the workload of the crew on board, but also the data evaluation work in the offices of vessel owners, since all adaptations are done automatically and with all ambient corrections. The installation of ICC is not

only beneficial as a retrofit on engines already installed in vessels or power plants. Already during engine commissioning before the shop test, it reduces the engine's running time (with diesel fuel) needed to balance the compression and firing pressures.

Крицкий К.В., Половинка Е.М.

Національний університет «Одеська морська академія»

Dieselcombustion: an integrated view combining laser diagnostics, chemical kinetics and empirical validation

LASER DIAGNOSTICS

Researchers at the Sandia Combustion Research Facility in Livermore, California used laser-based planar imaging diagnostics to provide the detailed measurements needed to better understand the diesel combustion process. Over the past decade, a wide variety of these diagnostics have been applied to direct injection (DI) diesel combustion using a specially designed, optically accessible research engine. These laser-imaging measurements have provided an abundance of new information about the details of diesel combustion and emissions formation.

The single-cylinder research engine used for these studies is based on a Cummins N Series production engine typical of the heavy-duty size class (2.34 liters/cylinder). This research engine retains the basic geometry of the production engine, but has been modified with windows in the combustion chamber to provide the required optical access .

The optical data obtained with this engine have included the following laser-sheet imaging measurements. In addition, natural-emission chemiluminescence images were obtained to investigate autoignition, and natural soot luminosity images showed initial soot development and overall jet penetration.

These imaging diagnostics have been used to map out the processes occurring in the cylinder of an operating diesel engine from the start of injection, through autoignition, the premixed reaction, and the first part of the mixing-controlled burn (i.e. until the end of injection). For example, quantitative Rayleigh scatter imaging showed that vapor-fuel/air mixture during the premixed reaction is fuel-rich (equivalence ratio of 3 to 4). This mixture should be too rich to produce significant concentrations of OH or NO, but it should produce soot. In agreement, the OH and NO PLIF images showed no signal from this rich reaction zone, but simultaneous LII and Rayleigh-scatter images showed small soot particles forming shortly after the onset of hot combustion reactions .

DIESEL FLAME STRUCTURE

Prior to the information produced by laser-based imaging diagnostics, a variety of structures have been proposed to describe the nature of the combustion processes in diesel engines. One example is shown in Fig 1. It is typical of the types of models developed by various researchers in the 1970s when computational capabilities limited the complexity of models that could be manipulated. This model proposed a diesel spray made of a dense fuel rich core surrounded by pro-

gressively leaner fuel/air mixtures reacting as air was entrained into the spray and

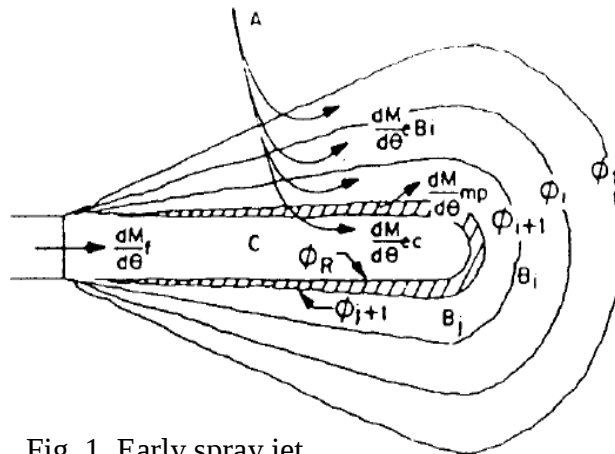


Fig. 1. Early spray jet model

oxygen was made available to react with the fuel.

Over the years, other variations of the model for diesel spray combustion evolved (Fig 2). These new conceptual images (Figs 3 and 4) provide a spatial definition of liquid disappearance and zones where reactions occur in the fuel-vapor/air mixture. Also visible are the regions where specific reaction intermediaries, such as OH, are present that indicate the location of the vigorous diffusion burning processes. These images, along with the more detailed analysis, allow the delineation of times and travel within this flame structure.

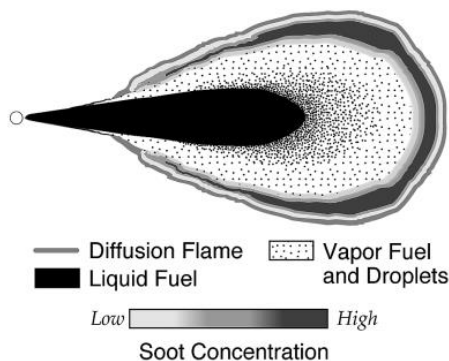


Fig. 2. Recent spray model

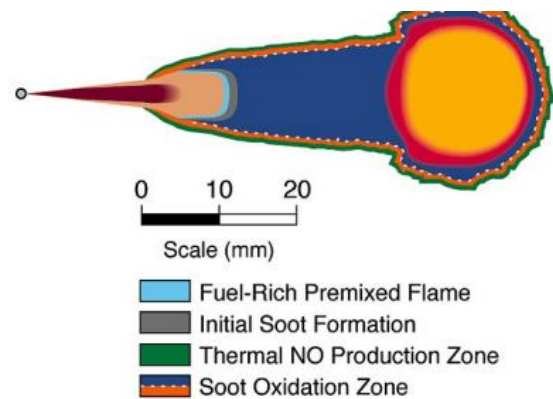


Fig. 4. Schematic of quasi-steady burning jet from laser measurements

CHEMICAL KINETIC ANALYSIS

An additional tool that has proven to be valuable in appraising the combustion of hydrocarbon fuels is detailed chemical kinetic modeling. Kinetic modeling of hydrocarbon fuel oxidation has been developed over the past 25

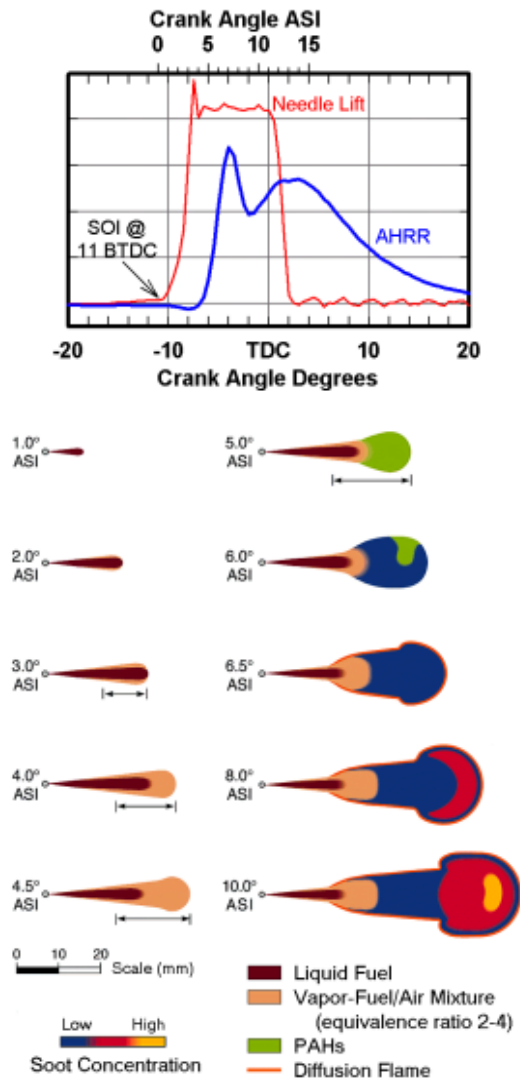


Fig. 3. Schematics of early flame images from laser measurements.

might be used in a spark-ignition engine, and as such has lower rates of low temperature fuel oxidation and breakdown. Normal heptane, on the other hand, has a relatively high cetane number. Its properties put it on the other end of the scale in terms of low temperature reactivity, with high rates of energy release at low temperatures. Fig 5 presents modeling results obtained to define the evolution of reactions in normal heptane. The diagram shows the consumption of the normal heptane fuel molecules and evolution into molecules of smaller size and eventually their partial combustion as a function of time.

years, initially for simple fuels such as methane and methanol, proceeding through fuels such as propane and butane, and recently with much more complex fuels such as normal heptane and isooctane.

Conventional diesel fuel consists of a complex mixture of hundreds of hydrocarbon species, many of them including more than 10-15 carbon atoms. Furthermore, the exact composition of commercially available diesel fuel varies from day-to-day and from one fuel supply to another.

To appraise the reaction processes, initial tests were run with isooctane and normal heptane as fuels. These fuels represented significant variations in fuel structure and behavior. Isooctane is a relatively high-octane fuel that

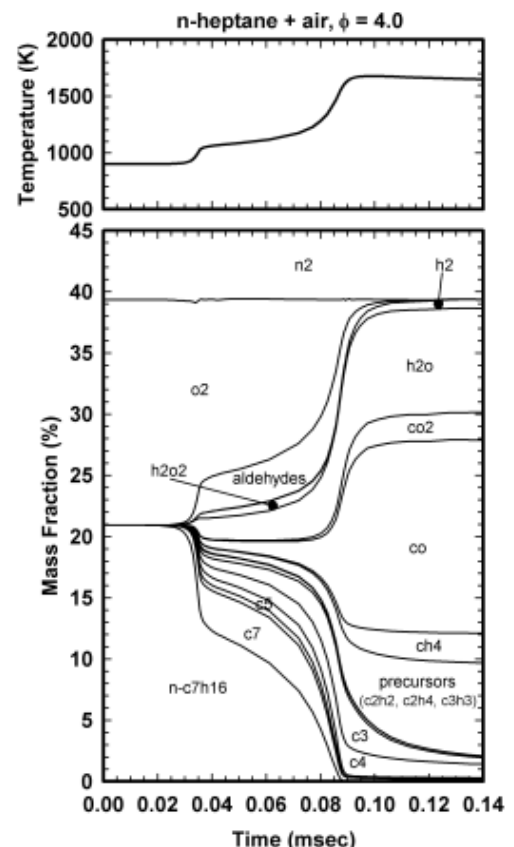


Fig. 5. Normal heptane reactions starting at 900 K and 83 bar

FUEL/AIR MIXING AND IGNITION

A series of high pressure, high temperature jet penetration and vaporization studies led to the formulation of models for liquid jet breakup and droplet vaporization in high pressure, high temperature environments like those inside diesel engines. Fig 6 portrays the key findings from these experiments. The highlighted zones represent the range of pressure and temperature conditions that might be encountered in a typical heavy-duty turbocharged diesel engine over its entire range of operation from startup to regular operations.

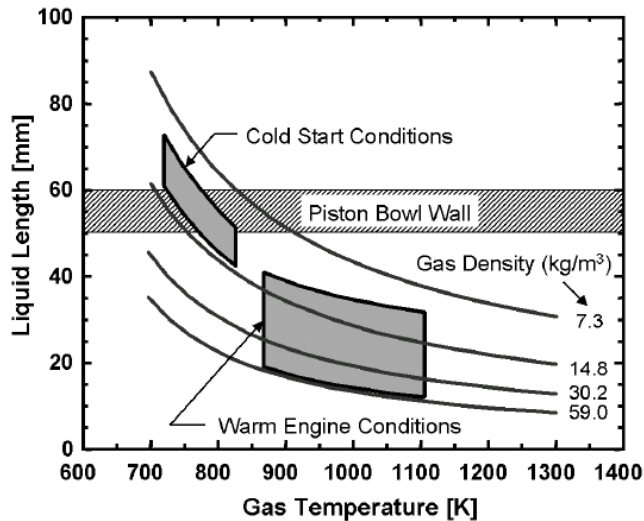


Fig 6. Vaporizing, non-combusting, liquid penetration length measurements for diesel fuel

Fig 7 presents a more detailed picture showing the temperature and spatial properties of this jet after quasisteady processes are established. The Fig shows temperatures and penetration for the jet schematic from Fig 4.

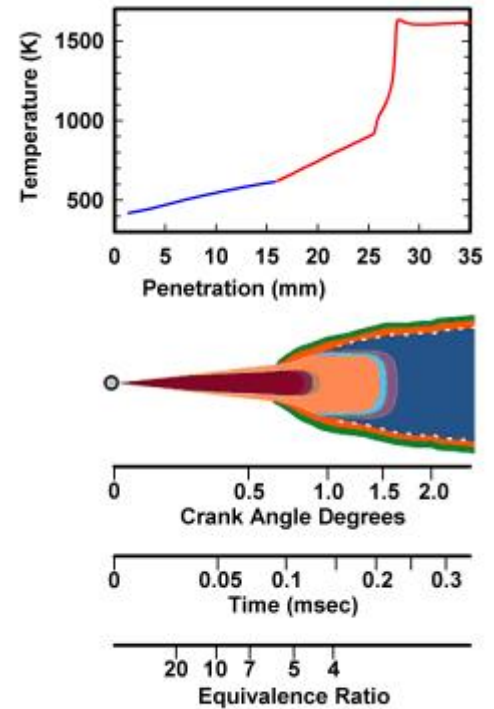


Fig 7. Early jet processes

The three axes at the bottom of Fig 7 provide additional information about the quasi-steady spray plume. The first axis shows the time required for penetration, given in crank angle degrees, estimated from the jet mixing correlation. The second axis is the same information presented in milliseconds. The third axis shows the mean or average equivalence ratio in the jet as a function of penetration also estimated from the mixing correlation.

PARTICULATE FORMATION

Diagnostics indicated the appearance of small particulates in the plume near the rich reaction zones. The size of the particulates grew as the mixture progressed downstream inside the spray plume envelope. As the fuel passes through the rich premixed reaction zone, the process yields hydrocarbon fragments that become the building blocks of soot particles inside the diffusion flame sheath.

Fig 8 provides a more detailed speculation about the processes that might quantify the production and destruction of soot and its precursors within the flame as the combustion process evolves.

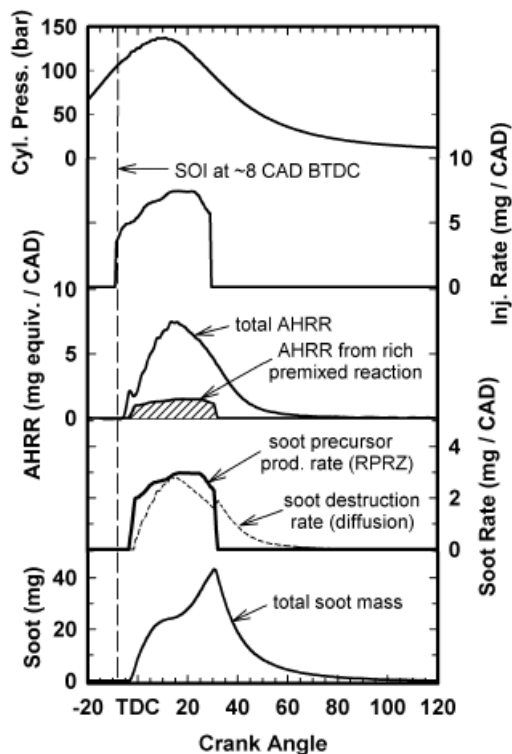
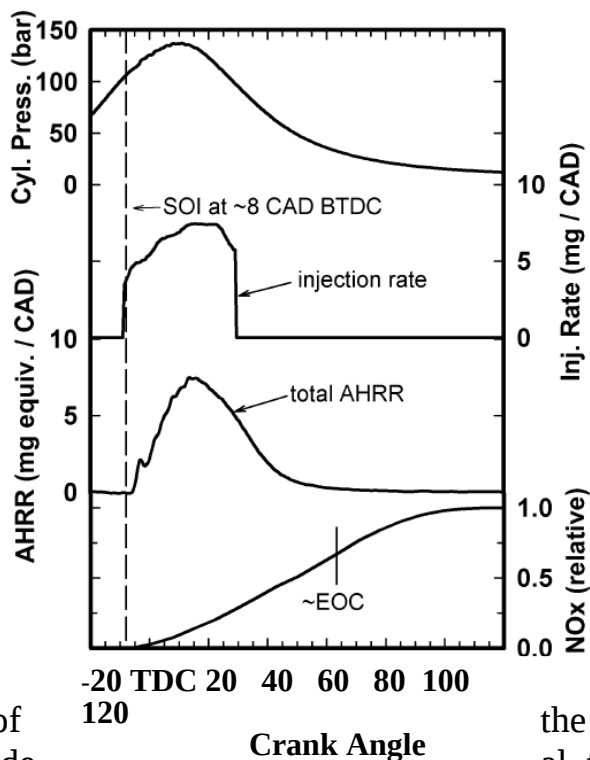


Fig 8. Hypothetical soot formation and destruction



of
ide-

temperatures in a region where oxygen is available along with nitrogen to allow the formation of nitrogen oxides. Once NO_x has been formed, it can diffuse both

These data are typical of combustion conditions in a 2.35 liter per cylinder heavy-duty diesel engine operating at high load. Likewise the cylinder pressure is typical of that observed at an engine output of 17.2 bar BMEP and a speed of 1800 rpm. The second line represents the rate of fuel injection at that operating point. The next series of lines present a depiction of apparent heat release for this operating condition.

The apparent heat release diagram has two parts. The lower shaded portion of the diagram is a depiction of the energy release associated with the early premixed fuel burn.—The area above this shaded portion represents the remainder of the energy release that occurs at the diffusion flame interface. The next lines speculate about the soot and soot precursor

formation and destruction rates that occur during this two-stage combustion process.

The total soot mass line in Fig 8 represents an estimate of the limiting mass that could exist in the chamber at any given time.

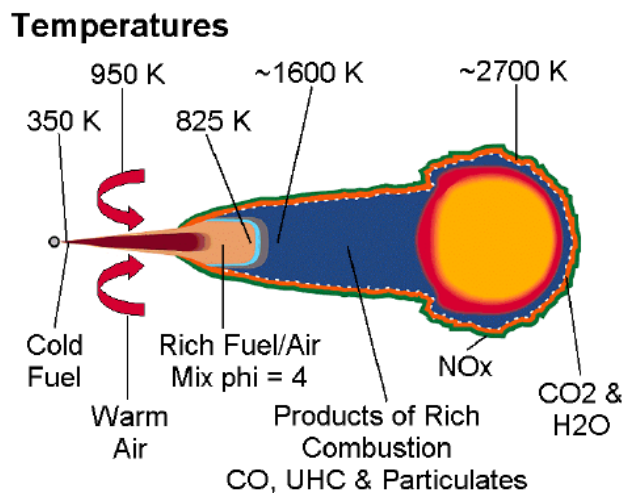
NO_x FORMATION

Experiments indicate that most of the NO_x formation takes place during the time of high-energy release rates associated with the diffusion burning process in the diesel engine.

Measurements on apparent flame temperatures in diffusion burning processes indicate that the sheath the diffusion flame presents the conditions al for the formation of NO_x. That is, high

into and away from the diffusion flame sheath. Fig 9 presents a hypothetical picture of the evolution of the NO_x concentration inside the same engine presented earlier in the section on particulate formation and consumption. As was stated earlier, this operating point is 1800 rpm and 17.2 bar BMEP.

Fig 10 provides overview an integrated perspective of the thermal and chemical variations inside the burning fuel plume. The key attributes of the process are the existence of a cold fuel jet into which hot air is entrained. This fuel/air mixture enters a diffusion flame sheath where it is further heated to about 825 K



and reactions are initiated which consume all the local oxygen and release about 15 percent of the total heat of combustion. This jet thus supplies the interior of the plume with products of rich combustion that contain mostly carbon monoxide and partially-burned hydrocarbons that are the building blocks of particulates.

Fig. 10/ Summary of fuel burning

CONCLUSIONS

Through a combination of laser diagnostics, empirical measurements, and piecewise analyses with chemical kinetic codes, an understanding of the processes occurring in diesel combustion has evolved.

Very rich fuel/air mixtures enter the interior of the diffusion flame. The flame has a definite interior and exterior. The products of rich combustion supply the species that cause particulate formation in the interior. These particulates are burned as they approach the high temperature diffusion flame around the periphery of the burning plume.

Зниження емісії оксидів азоту з випускними газами суднових дизелів

Двигуни внутрішнього згоряння / дизелі займають в суднової енергетики домінуюче положення в порівнянні з іншими типами теплових двигунів – паровими котлами та газовими турбінами. Перш за все це пов'язано з найменшою питомою витратою палива та найбільшим коефіцієнтом корисної дії, що характерні саме для дизелів [1, 2]. Дизелі, що встановлюються на судах морського та внутрішнього водного транспорту, виконують функції головних та допоміжних двигунів, забезпечуючи рух судна та роботу суднових систем, механізмів та обладнання. Отримання корисної роботи та ефективної потужності в суднових дизелях неможливо без спалювання в їхніх циліндрах рідкого палива нафтового походження. При цьому в результаті його згоряння в атмосфері викидаються випускні газі. Більшу частину випускних газів (до 99,0...99,2 %) складають нейтральні та нетоксичні компоненти – продукти неповного згоряння (більшою частиною яких є діоксид вуглецю CO_2 і водяна пара H_2O) та повітря зі зниженим вмістом кисню. Невелику решту зі загальної частини випускних газів складають токсичні компоненти, які поділяються на дві групи. До першої групи відносяться продукти неповного згоряння палива – монооксид вуглецю CO , вуглеводні C_nH_m , альдегіди R-CHO та сажа C . Токсичні компоненти другої групи утворюються в результаті повного окислення хімічних елементів, що входять до складу палива та повітря – це оксиди азоту NO_x та сірки SO_x .

Суднові ДВЗ, що знаходяться в експлуатації, вимагають постійного пошуку ефективних способів зниження токсичності випускних газів, насамперед викидів оксидів азоту NO_x [3]. Вміст оксидів азоту в випускних газів регламентується вимогами Аппех VI Міжнародної конвенції MARPOL та залежить від року побудови судна та частоти обертання валу дизеля (табл. 1).

Таблиця 1 – Максимальна концентрація оксидів азоту (NO_x , г/кВт·год) в випускних газах суднових дизелів відповідно до вимог Аппех VI MARPOL

Рівень	Частоти обертання валу, об/хв		
	$n < 130$	$130 < n < 2000$	$n > 2000$
Tier I – для суден, збудованих після 2000 р.	17,0	$45n^{-0,2}$	9,8
Tier II – для суден, збудованих після 2011 р.	14,4	$44n^{-0,23}$	7,7
Tier III – для суден, збудованих після 2016 р.	3,4	$9n^{-0,2}$	2,0

Забезпечення вимог Tier I, Tier II можливо шляхом додаткової підготовки палива (наприклад, його гомогенізації, ультразвукової обробки та виготовлення водопаливних емульсій) та вдосконаленням робочого циклу (наприклад,

управління фазами подачі повітря, випуску газів та впорскування палива). Забезпечення вимог Tier III можливо лише через використання додаткових технічних систем та пристроїв. Найбільш розповсюдженими з них є: система очищення випускних газів – Selective Catalytic Reduction (SCR); системи рециркуляції – Exhaust Gas Recirculation (EGR); система перепуску – Exhaust Gas Wastegate (EWR) [4].

Системи рециркуляції випускних газів перш за все розроблялися для автомобільної техніки (як для бензинових, так і для дизельних двигунів). Позитивний досвід їх застосування, а також необхідність пошуку нових рішень для забезпечення екологічних показників роботи дизелів суден морського та внутрішнього водного транспорту, сприяли впровадженню даних систем до складу суднових енергетичних установок. Залежно від характеристик дизеля (конструкційного виконання, потужності, характеристик системи наддуву), щоб забезпечити процес рециркуляції випускних газів, використовуються різні схеми: високого тиску (High pressure – HP-EGR), низького тиску (Low pressure – LP-EGR) і комбінована системи (High and Low pressure – HLP-EGR) [5].

Система рециркуляції випускних газів (як низького, так і високого тиску) включає до свого складу:

- клапан рециркуляції (за допомогою якого здійснюється керування потоком газів, що надходять на рециркуляцію);

- скруббер (призначений для очищення випускних газів від твердих незгорілих частинок під час їхнього повернення до циліндрів дизеля) із системою водяного зрошення та охолодження випускних газів;

- газовий нагнітач (за допомогою якого забезпечується рециркуляція випускних газів у продувний ресивер або до компресора газотурбонагнетача).

Дослідження виконувались на судновому дизелі 8G60ME фірми MAN Diesel, обладнаному системою рециркуляції газів високого тиску – HP-EGR. Принципова схема системи рециркуляції випускних газів високого тиску суднового дизеля 8G60ME фірми MAN Diesel надана на рис. 1.

Система працює в такий спосіб. Випускні гази з циліндрів дизеля 10 надходять у загальний випускний колектор 2 і далі до газотурбонагнетачів 1 і 5, після чого через газовипускну трубу видаляються в атмосферу. Газотурбонагнітачі 1 і 5 забирають повітря з машинного відділення та після стиснення спрямовують його через охолоджувачі 9 і 12 в повітряний (продувний) ресивер 11. При цьому газотурбонагнітач 5 обладнаний системою рециркуляції випускних газів високого тиску, до складу якої входять керуючий клапан 3, скруббер очищення газів 4, цистерна 7 прісної води системи очищення та охолодження випускних газів та насос 6 подачі прісної води в систему очищення та охолодження випускних газів.

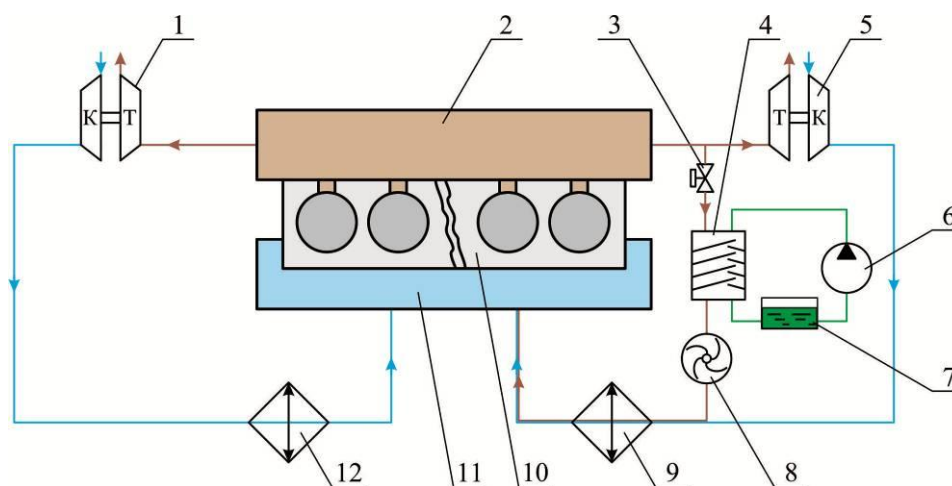


Рис. 1. Принципова схема системи рециркуляції випускних газів високого тиску суднового малообертового дизеля 8G60ME фірми MAN Diesel:

1, 5 – газотурбонагнітач; 2 – випускний колектор; 3 – керуючий клапан системи рециркуляції випускних газів високого тиску; 4 – скруббер; 6 – насос подачі прісної води в систему очищення та охолодження випускних газів; 7 – цистерна прісної води системи очищення та охолодження випускних газів; 9, 12 – охолоджувач наддувного повітря; 10 – судновий дизель; 11 – продувний ресивер; Т, К – газова турбіна та повітряний компресор газотурбонагнітачів

Під час експлуатації системи рециркуляції випускних газів високого тиску їх кількість, що повертається через систему очищення до продувного ресиверу та циліндрів дизеля, регулюється клапаном 3. Випускні гази очищуються і попередньо охолоджуються в скруббері 4, після чого додатковим нагнітачем 8 подаються на змішування з повітрям (що надходить з повітряного компресору газотурбонагнітувача 5) і далі прямують до продувного ресиверу 11.

Основною метою дослідження було визначення впливу системи HP-EGR на екологічні показники роботи суднового дизеля 8G60ME MAN Diesel, зокрема – на рівень емісії оксидів азоту NO_x . Концентрація оксидів азоту вимірювалась в газовипускній магістралі дизеля на відстані, що перебільшувала 10 м від виходу газів з газотурбонагнітача, що відповідало вимогам Технічного кодексу з NO_x . Вимірювання виконувались на режимах, що відповідали 60 %, 70 %, 80 % та 90 % від номінального навантаження. При цьому на кожному з режимах ступень рециркуляції поступово змінювався та складав 5 %, 10 %, 15 % та 20 %. На кожному з режимів дослідження починались з вимірювання концентрації NO_x за умовою роботи дизеля без використання системи HP-EGR (EGR=0 %). Результати досліджень відображені на рис. 2.

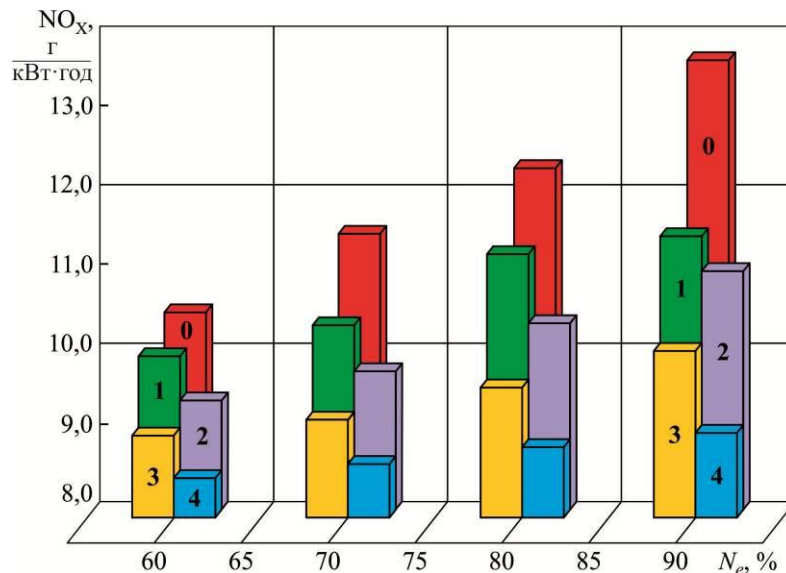


Рис. 2. Зміна концентрації оксидів азоту NO_x , г/(кВт·год), у випускних газах дизеля 8G60ME MAN Diesel для різного ступеня рециркуляції:
 0 – робота без рециркуляції, EGR=0 %; 1 – EGR=5 %; 2 – EGR=10 %;
 3 – EGR=15 %; 4 – EGR=20 %

Відносне зменшення емісії оксидів азоту NO_x на кожному з режимів визначалось за виразом

$$\Delta \text{NO}_x = \frac{\text{NO}_x^0 - \text{NO}_x^i}{\text{NO}_x^0} \cdot 100, \%,$$

де NO_x^0 – концентрація оксидів азоту в випадку, коли EGR=0 %;

NO_x^i – концентрація оксидів азоту для інших значень ступеню рециркуляції EGR (5 %, 10 %, 15 %, 20 %).

Відносне зменшення емісії оксидів азоту з випускними газами під час використання системи HP-EGR надано на рис. 3.

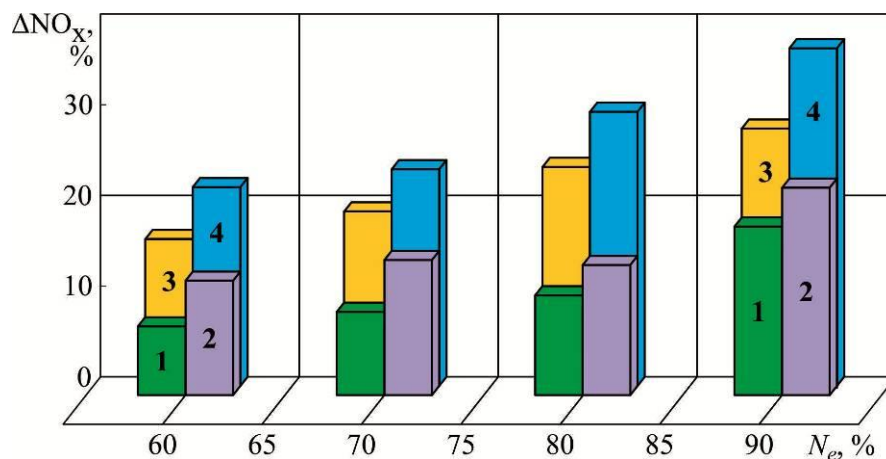


Рис. 3. Відносне зменшення емісії оксидів азоту NO_x з випускними газами дизеля 8G60ME MAN Diesel для різного ступеня рециркуляції:
 1 – EGR=5 %; 2 – EGR=10 %; 3 – EGR=15 %; 4 – EGR=20 %

Необхідність забезпечення екологічних параметрів роботи судових дизелів (зокрема емісії NO_x з випускними газами) змушує використовувати додаткові технологічні рішення. Одним із таких варіантів є комплектація судно-

вих дизелів системами рециркуляції випускних газів високого тиску HP-EGR, що забезпечують примусову подачу в циліндр частини випускних газів із газо-випускної системи.

Під час проведення експериментів на судновому малообертовому дизелю 8G60ME MAN Diesel встановлено, що зміна ступеня рециркуляції випускних газів у діапазоні 5...20 % забезпечує зниження концентрації оксидів азоту NO_x у випускних газах відповідно на 5,4...35,5 % залежно від навантаження дизеля, яке в експериментах змінювалися в інтервалі $N_e=(0,6...0,9)N_{\text{ном}}$. Причому найбільші значення зниження концентрації оксидів азоту NO_x у випускних газах відповідають інтервалу навантажень $(0,8...0,9)N_{\text{ном}}$, тобто найпоширенішим з експлуатаційних режимів роботи дизелів, що використовуються як головні.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Sagin S., Kuropyatnyk 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, 12, 1440. <https://doi.org/10.3390/jmse12081440>.
2. 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.
3. 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. DOI. 10.34660/INF.2020.4.52992.
4. 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*. 2021. № 7-8. – P. 36-43. <https://doi.org/10.29013/AJT-21-7.8-36-43>.
5. 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.

Деградація та знос двотактних двигунів внутрішнього згоряння на судах

Вступ. Двотактні двигуни внутрішнього згоряння широко застосовуються в суднобудуванні завдяки їх високій питомій потужності, компактності та простоті конструкції. Однак тривала експлуатація таких двигунів супроводжується неминучими процесами зносу та деградації, які знижують їх ефективність та термін служби, також на роботу впливає і тривала бездіяльність техніки, що дуже актуально при експлуатації на судах. У даному контексті буде розглянуто процес деградації та зносу на прикладі дизельного генератора, що працює на базі двотактного дизельного мотора ЯАЗ-204* (*-без компресора типу Рутс) з потужністю значно нижчою за паспортну. Цей двигун встановлювали на генераторну, компресорну станції/катери/мотовози/автомобілі, що ускладнює прогнозування його терміну служби. Оцінка зносу, витрати палива та ресурсу двигуна в більшості випадків лежить на плечах механіка та залежить від його досвіду роботи. Використання комбінованої енергетичної установки, яка дуже популярна на нових судах, що об'єднує кілька типів двигунів, не завжди можливе або доречне через високу вартість, складності інтеграції та обмежений простір на судні. Метою дослідження є виявлення основних факторів, що впливають на зношування двигуна, методів діагностики та шляхів продовження його ресурсу.

Фактори деградації. Ключовими факторами, що впливають на деградацію двотактних двигунів, є:

- термічне навантаження. Високі температури в процесі згоряння, сприяють старінню матеріалів, за рахунок теплового розширення та змін у кристалічній структурі металів, деформації та появі мікротріщин. Поршні, випускні клапани та камери згоряння страждають насамперед.

- корозія. Вплив морської води та агресивних середовищ прискорює знос металевих деталей. Корозія може бути електрохімічною або хімічною, викликаючи утворення оксидів та поступове руйнування металів.

- механічний знос. Тертя між поршневими кільцями та циліндром призводить до поступового стирання поверхонь, що знижує компресію та збільшує витрату олії. Особливо інтенсивне зношування при недостатньому змащуванні або використанні низькоякісного палива.

- якість палива. Використання палива з високим вмістом сірки сприяє утворенню сірчистих відкладень, які прискорюють зношування клапанів, поршнів та камер згоряння. Сірка при згорянні утворює сірчисту кислоту, що руйнує металеві поверхні.

Методи діагностики. Сучасні методи діагностики дозволяють виявляти початкові стадії зносу та прогнозувати термін служби двигуна, індикатори, які можуть це показати:

- основні параметри двигуна, включаючи механічний ККД двигуна, потужність двигуна, гвинтова/навантажувальна характеристика;

- аналіз складу моторного мастила;
- контроль температури (тепловий баланс двигуна);
- комп'ютерне моделювання процесів у двигуні.

Аналіз показників двигуна і можливі шляхи продовження ресурсу. Для визначення ступені зносу та загальної оцінки двигуна ми будемо орієнтуватися на його основний параметр – N_e . Випробування рекомендується проводити на режимах відповідних 25%, 50%, 75%, і 100% від номінальної потужності дизеля [1]. Розрахована ефективна потужність двигуна ЯАЗ – 204* наведена на рис.1.

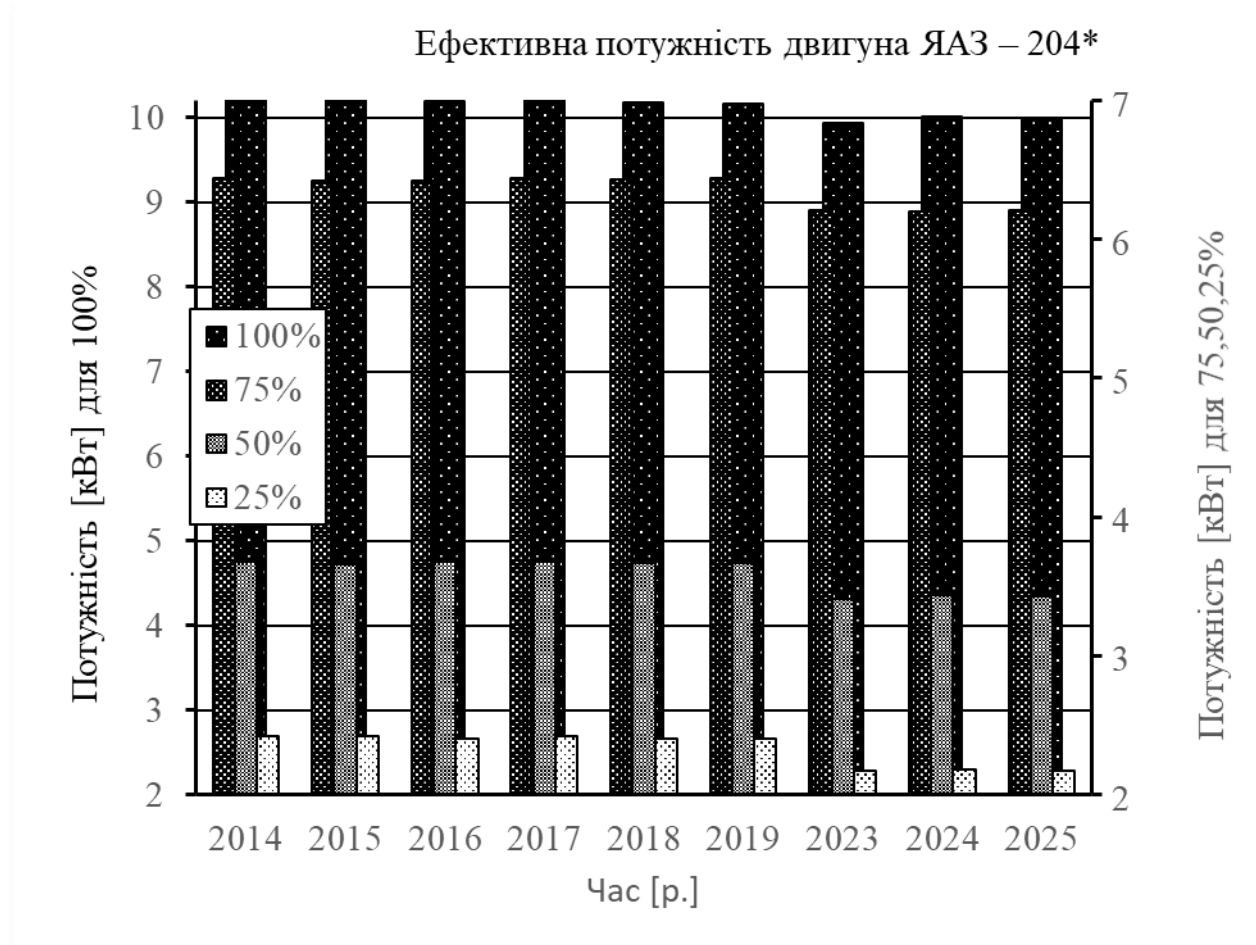


Рис.1. Графік залежності Ефективної потужності N_e [кВт] від часу[р.], для 4 режимів роботи двигуна (100%, 75%, 50% та 25% відповідно)

Для збільшення терміну служби двотактних двигунів застосовуються різні методи:

- використання високоякісних масел з присадками [2];
- застосування сучасних покриттів для зменшення тертя;
- регулярна діагностика та профілактичне обслуговування;
- заміна традиційних сплавів на композитні матеріали з підвищеною стійкістю до зношування;
- перехід на паливо з меншим вмістом сірки та додавання присадок [3].

Висновок. Порівняння двотактних двигунів 1940–1990 років із сучасними двигунами 2000–2020 років показує значний прогрес у галузі матеріалів та те-

хнологій. Двигуни раннього періоду були менш ефективні, мали велику вагу і схильні до інтенсивної корозії через відсутність якісних захисних покриттів і застосування палива з високим вмістом сірки. Сучасні двотактні двигуни оснащуються системами електронного керування подачею палива, мають покращені системи мастила та виконані з композитних матеріалів з високою стійкістю до зносу. Ці покращення значно підвищують термін служби та зменшують негативний вплив експлуатаційних факторів.

Важливо розуміти, що за такого режиму експлуатації двигуна ЯАЗ – 204* (періодичні короткі пуски) можуть виникати й специфічні проблеми – наприклад, недостатнє прогрівання деталей, що призводить до утворення конденсату, або неповне згоряння палива, що також негативно позначається на внутрішніх компонентах двигуна. Використання різного палива від різних виробників також впливає на показники.

Деградація та знос двотактних двигунів внутрішнього згоряння є неминучими процесами при їх експлуатації на судах. Однак застосування сучасних методів діагностики, якісних матеріалів та профілактичного обслуговування дозволяє суттєво продовжити термін служби таких двигунів, показники двигуна можуть знизитися лише на 1–5%, а за погіршення цих умов - зниження на 5–15% або більше.

Майбутні дослідження в цій галузі можуть бути зосереджені на розробці нових матеріалів, присадок, методик та інтелектуальних систем моніторингу для підвищення надійності суднових енергетичних установок.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Суднові двигуни внутрішнього згоряння [Текст]: методичні вказівки для виконання лабораторних робіт/Укл. Е.М. Половинка.-Одеса:НУ «ОМА», 2018.-178 с.,
2. Козицький, С. В. Застосування наночастинок для збільшення ефективності суднових механізмів / С. В. Козицький, С. В. Кіріян // Суднові енергетичні установки. – 2023. – №46. – С.53-66
3. Сагін А.С. Корегування налаштування паливної апаратури високого тиску під час переведення суднових дизелів на паливо з низьким вмістом сірки / А.С. Сагін // Автоматизація суднових технічних засобів: наук.-техн. зб. – 2023. – Вип. 28. – Одеса: НУ "ОМА". – С. 67 – 78. DOI: 10.31653/1819-3293- 2023-1-28-67-78.

Сучасний стан практичного впровадження суднових енергетичних установок на основі органічного циклу Ренкіна

Установки на основі органічного циклу Ренкіна (ОЦР) є перспективними системами, що забезпечують ефективну генерацію електроенергії та підвищує паливну економічність суднової енергетичної установки шляхом утилізації низькопотенційного тепла. На сьогодні спостерігається підвищений інтерес до цих систем не тільки серед науковців, але вже є впроваджені суднові системи на основі ОЦР.

ОЦР – це термодинамічний цикл, який використовується для перетворення низькотемпературної теплоти в механічну роботу з подальшим отриманням електроенергії. Принципово не відрізняється від традиційного циклу Ренкіна, а назва «органічний» показує тільки те, що як робоче тіло використовуються органічні рідини з низькою температурою кипіння (вуглеводні, спирти, гідрофторвуглеводні та деякі інші) замість води. Раціональний вибір робочого тіла дозволяє у системах на основі ОЦР ефективно використовувати тепло низькотемпературних джерел, таких як вторинне тепло промисловості, тепло від геотермальних джерел енергії та від сонячних теплових систем.

У загальному випадку ОЦР складається з чотирьох основних процесів. На першому етапі попередньо стиснене робоче тіло з температурою близькою до навколишнього середовища відбирає теплоту від низькотемпературного джерела тепла у випарнику, при цьому воно нагрівається, випаровується та пар перегрівається. Далі пара розширюється (тиск знижується) та приводить в дію турбіну/детандер з виробленням механічної роботи. Пар низького тиску після турбіни конденсується в конденсаторі за рахунок скидання теплоти навколишньому середовищу. Останній процес, завершуючи цикл – стиснення рідини та її подача у випарник. Очевидно, що завдяки відносно невисокій температурі джерела теплоти термічний ККД ОЦР низький, у порівнянні з ККД класичного циклу Ренкіна на водяній парі. Однак, це не означає недоцільність впровадження систем на основі ОЦР, тому що для суднових енергетичних установок навіть незначне підвищення їх загальної енергоефективності заохочується [1] та призводить к економії палива та зниженню емісії парникових газів.

На сьогодні на судах вже впроваджені декілька таких систем, хоча їх виробництво та застосування все ще не є серійним та широким [2]. Першим судном, на якому впроваджена система на основі ОЦР було m/v Figaro, на якому у 2012 році встановлена установка із заявленою електричною потужністю 500 кВт. За інформацією судновласника, на судні Figaro встановлена перша в історії суднова установка рекуперації відпрацьованого тепла охолоджувальної води від шведського виробника Orson [3]. Ця установка є тестовою та її експлуатація призводить до економії суднового палива у середньому на 5 %.

На 2022 р. технологія на основі ОРЦ була використана принаймні в тринадцяти установках на борту морських суден (включаючи відзначену вище установку на m/v Figaro) [4].

Оскільки установка на основі ОЦР є інтегральною частиною дизельного двигуна, виробники дизельних двигунів починають або розробляти свої технічні рішення, або співпрацювати з виробниками допоміжного суднового обладнання у цьому напрямку. На сьогодні як мінімум три виробники вже розробили та пропонують на ринки модульні системи на основі ОЦР для суднового застосування.

Компанія Orca Energy розробила модульну суднову установку на основі ОЦР [5]. Установка перетворює тепло вихлопних газів (макс. 600 °C), охолоджувальної води (75...109 °C), пари або високотемпературного масла (120...180 °C) в електроенергію з вихідною потужністю до 100 кВт (Efficiency PACK eP M 050.100) або 200 кВт (Efficiency PACK eP M 150.200). Яке робоче тіло використовується у системі виробник не вказує. Системи, що спроектовані Orca Energy встановлені на декількох судах [4, 6].

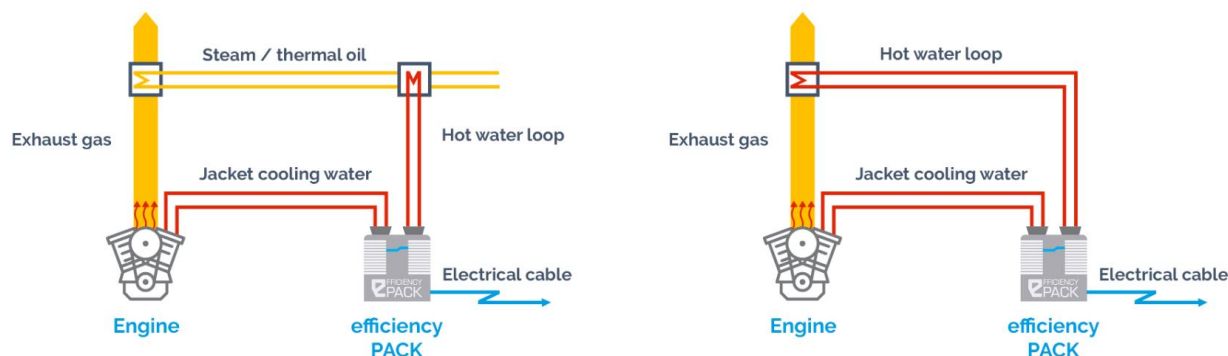


Рис. 1. Схематичне зображення потоків теплоти для живлення модульної системи на основі ОЦР Efficiency PACK eP M 050.100 (150.200) від Orca Energy [5]

Alfa Laval розробила установку E-PowerPack, яка може генерувати електроенергію з утилізацією теплоти широкого спектру джерел тепла від теплоти води охолодження двигуна (температура від 85 °C й вище) до високотемпературних джерел тепла, таких як водяна пара. Один модуль може забезпечити вихідну електричну потужність 200 кВт з можливістю роботи при частковому навантаженні. Відповідно інформації [7], в модульній установці використовується «стандартний органічний холодоагент, який є не токсичним, негорючим і не руйнує озоновий шар», але який саме – не вказано.

Mitsubishi Heavy Industries Marine Machinery & Engine Co., Ltd. Сумісно з Calnetix Technologies, LLC (Cerritos, California, U.S.A) ще у 2015 році розробити модульну установку на основі ОЦР Hydrocurrent™ Organic Rankine Cycle Module 125 EJW [8]. Система була схвалена Nippon Kaiji Kyokai і Lloyd's Register. Вихідна електрична потужність складає до 125 кВт, робоче тіло – R245fa, джерело теплоти – вода з температурою від 80...85 °C. Також установка може використовувати теплоту й з інших джерел, якщо вона не затребувана на

судні. Перша така система була встановлена та почала експлуатуватися к 2016 р. на борту судна Arnold Maersk від Maersk Line [9].

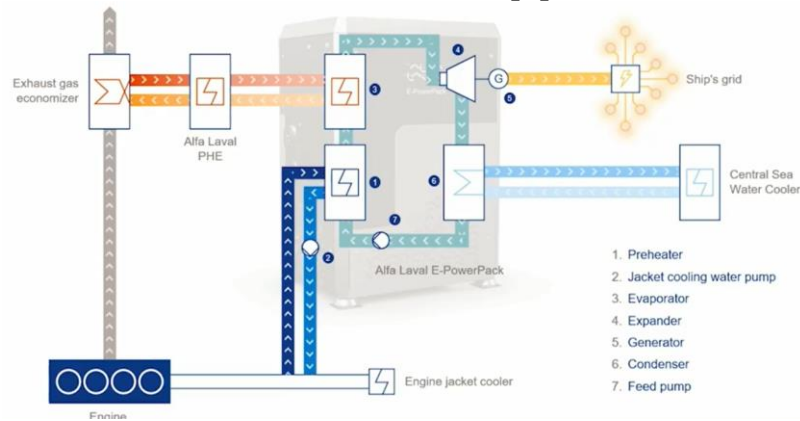


Рис. 2. Принципова схема модульної системи E-PowerPack на основі ОЦР від Alfa Laval [7]

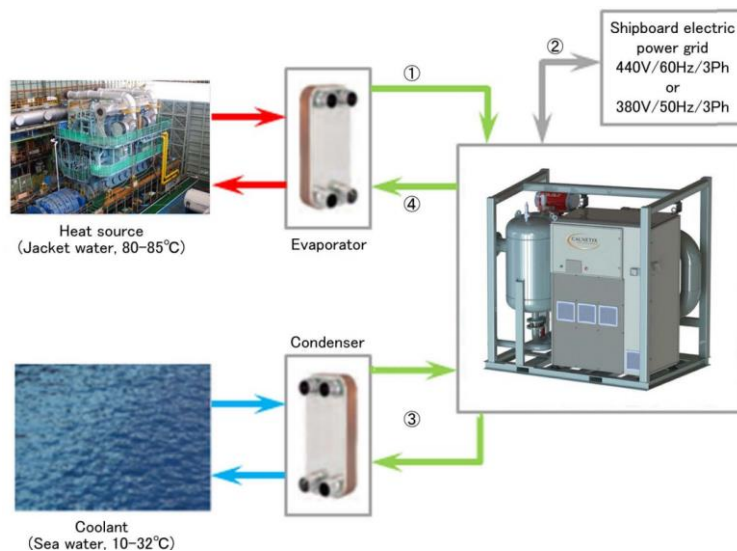


Рис. 3. Принципова схема модульної системи Hydrocurrent™ Organic Rankine Cycle Module від Mitsubishi Heavy Industries Marine Machinery & Engine [8]

Окрім розглянутих вище трьох модульних систем ще декілька компаній спроектували та встановили системи на основі ОЦР на судах [4, 5]. Однак це здебільшого пілотні проєкти, тому поки складно говорити про комерційний рівень цих систем.

Виходячи зі стислого огляду можна зробити висновок про перспективність напряму досліджень, пов'язаного з аналізом схемних рішень, робочих тіл та екологічної доцільності впровадження систем на основі ОЦР на борту різних торговельних або пасажирських суден. З причини великого різноманіття схемних рішень та потужності судових енергетичних установок, температурного потенціалу та кількості вторинної теплоти на судні, режимів експлуатації судна та кліматичних умов, доцільність впровадження систем рекуперації теплоти на основі ОЦР та раціональні режими експлуатації цих систем можуть сильно відрізнятися.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Fourth IMO GHG Study 2020. *International Maritime Organization*. 2020.
2. Lebedevas S., Čepaitis T. Complex use of the main marine diesel engine high-and low-temperature waste heat in the organic rankine cycle. *J. Mar. Sci. Eng.* 2024. Vol. 12(3). 521.
3. Проспект судна M/V Figaro. Wallenius Lines AB. URL: https://walleniuslines.com/wp-content/uploads/2021/12/Figaro_NB4459.pdf (дата звернення: 30.12.2024)
4. Ng C. W. Modelling and simulation of organic Rankine cycle waste heat recovery system with the operational profile of a ship. Doctoral dissertation, Newcastle University. 2022.
5. Solutions–Applications. Efficiency PACK eP M 050.100. <https://www.orcan-energy.com/en/applications-marine.html> (дата звернення: 30.02.2025)
6. Fisher R., Ciappi L., Niknam P., Braimakis K., Karellas S., Frazzica A., Sciacovelli A. Innovative waste heat valorisation technologies for zero-carbon ships– A review. *Appl. Therm. Eng.* 2024. Vol. 253. 123740.
7. Alfa Laval E-PowerPack Efficient power production from waste heat energy on board. URL: <https://www.alfalaval.com/products/heat-transfer/power-generator/e-powerpack/> (дата звернення: 30.02.2025)
8. Hydrocurrent™ Organic Rankine Cycle Module 125 EJW - Compact and High-performance Waste Heat Recovery System Utilizing Low Temperature Heat Source. Mitsubishi Heavy Industries Technical Review. Vol. 52, No. 4. Dec. 2015. <https://www.mhi.co.jp/technology/review/en/index.html>
9. The First ORC Operation Starts on Maersk Line Vessel. <https://www.mhi.com/news/1604131972.html> (дата звернення: 30.02.2025)

Особливості комплектації систем підготовки палива суднових дизелів

В останні роки практично у всіх сучасних суднових дизелях (двох- та чотиритактних, мало- та середньообертових) використовуються палива з в'язкістю 380... 500 сСт.

Для забезпечення якісної підготовки палива та подальшого ефективного використання палива, судна, що знову будуються, комплектуються спеціальними системами підготовки та подачі палива, а паливні системи дизелів діючих суден переобладнаються з урахуванням можливості використання в них палива високої в'язкості.

Систему підготовки палива для суднового дизеля можна як систему, що з кількох окремих модулів, кожен із яких виконує свої функції. Принцип побудови такої системи наведено на рис. 1.

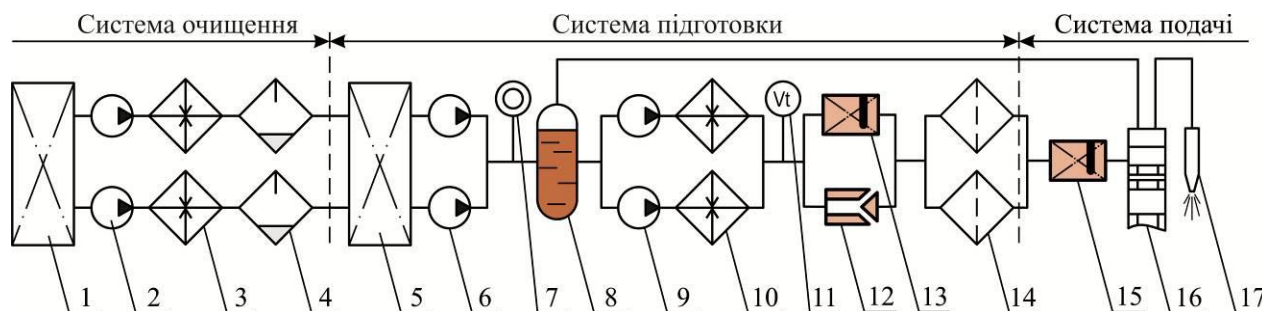


Рис. 1. Модульна схема побудови паливної системи підготовки палива:

- 1 – відстійна цистерна; 2 – насоси, що перекачують паливо; 3 – підігрівачі палива 1-го ступеня; 4 – сепаратори палива; 5 – витратна цистерна; 6 – насоси, що підкачують паливо; 7 – витратомір; 8 – деаераційний резервуар; 9 – циркуляційні насоси; 10 – підігрівачі палива 2-го ступеня; 11 – в'язкозиметр; 12 – гідродинамічний активатор палива; 13 – ультразвукова установка 1-го ступеня; 14 – автоматичний фільтр; 15 – ультразвукова установка 2-го ступеня; 16 – паливний насос високого тиску; 17 – форсунка

Модуль очищення забезпечує необхідний структурний склад палива та використовується як у комплексі з іншими модулями підготовки системи, також і для автономного режиму роботи. В останньому випадку відбувається «внутрішня» циркуляція палива, в результаті якої досягається необхідна якість його очищення. Даний модуль підготовки палива є найенергоємнішим, оскільки включає до свого складу такі елементи, як відстійні та витратні цистерни, насоси, що перекачують паливо, паливні підігрівачі та паливні сепаратори. При цьому саме паливо, перебуваючи в даному модулі, має найгірші у всьому своєму життєвому циклі характеристики – високу в'язкість, механічні домішки, шламові включення. Саме в цьому модулі відбувається максимальне підведення теплової енергії від зовнішніх джерел (парових або електричних підігрівачів) до палива та якісна зміна його структури. Температура палива в цьому модулі змінюється від 20...30 °С (під час його потрапляння до модулю) до

90...100 °C (на виході з модулю); в'язкість зменшується з 450...500 сСт та навидь від 700...750 сСт (для понад важких палив) до 20...50 сСт; вміст механічних домішок знижується до мінімального значення, з палива практично повністю видаляється волога.

Другий модуль (система підготовки) забезпечує остаточну підготовку палива перед його безпосередньою подачею в циліндр дизеля. Основними складовими даного модуля є насоси, що забезпечують підкачування та циркуляцію паливо, підігрівачі палива 2-го ступеня, фільтраційні установки, автоматичні пристрої, що забезпечують контроль суцільності потоку та регулювання в'язкості палива. В даний модуль також входить бустерна установка, за допомогою якої підтримується необхідний тиск у системі, а також деаераційні та дегазаційні резервуари, що очищають паливо від повітряних та газових домішок. Паливо в цей модуль надходить у попередньо підігрітому стані, що знижує витрати енергії на його підготовку. Дані два модулі становлять основу підсистеми низького тиску. Робота даних модулів повинна забезпечити необхідні експлуатаційні параметри палива – відсутність у ньому механічних домішок, розмір яких перевищує зазор у прецизійних парах паливної апаратури високого тиску.

Третій модуль є паливною системою високого тиску і забезпечує подачу палива в циліндр дизеля. Енергія в даному модулі виробляється самим дизелем і передається паливу через кінематичну схему колінчастий вал – розподільний вал – штовхач паливного насоса високого тиску (в разі, коли конструкція дизеля передбачає наявність механічного / гідравлічного приводу), або за допомогою системи common-rail (в разі, коли дизель оснащено електронною системою управління подачею палива). Енергоємність цього процесу відноситься до механічних втрат дизеля і може досягати 5...7 % його потужності. Наприкінці, в даному модулі за рахунок хімічної реакції окислення палива киснем повітря потенційна енергія палива перетворюється на теплову енергію газів і, згодом, на корисну роботу поршня дизеля [1].

Актуальність якісного проведення процесів підготовки палива підвищується під час знаходження суден морського та внутрішнього водного транспорту в особливих екологічних районах. Перш за все до них відносяться спеціальні райони контролю викидів сірки – Sulphur emissions control areas (SECAs). Викиди оксидів сірки SO_x регламентуються масовим вмістом сірки у судновому паливі. З 01.01.2020 р. відповідно до Annex VI MARPOL вміст сірки у паливі не повинен перевищувати 0,1 % за умови експлуатації судна всередині районів SECAs та не більше 0,5 % під час експлуатації судна поза районами SECAs.

Використання палива з вмістом сери понад 0,5 % від маси можливо тільки за умови додаткового очищення випускних газів у спеціальних технічних пристроях (в якості яких зазвичай встановлюються скрубери) [36, 37]. У разі управління екологічною безпекою морських суден за допомогою додаткового очищення випускних газів контролюється співвідношення $SO_2(ppm)/CO_2(\%)$ після скрубера. Ця величина не повинна перевищувати значення 4,1 SO_2/CO_2 під час знаходженні судна в SECAs та значення 21,7 SO_2/CO_2 під час перебу-

вання судна за межами SECAs. Вимоги Annex VI MARPOL щодо контролю викидів оксидів сірки наведені в таблиці 1.

Таблиця 1. Вимоги Додатка VI MARPOL щодо емісії оксидів сірки

Де та коли застосується	Вміст сірки в паливі, %	Співвідношення викидів SO ₂ (ppm)/CO ₂ (%)
За межами SECA або порту ЄС, починаючи з 1 січня 2020 року	0,5	21,7
В SECA або порту ЄС, починаючи з 1 січня 2020 року	0,1	4,3

Додаткова обробка судових важких палив з підвищеним вмістом сірки під час знаходження морських суден в зонах спеціального екологічного контролю сприятиме підвищенню екологічної стійкості судових дизелів щодо викидів. При цьому під терміном «екологічна стійкість» розуміється відносна різниця між максимально можливим та поточним значеннями співвідношення SO₂(ppm)/CO₂(%), яка визначається як

$$E_{CO^+} = \frac{\left(\frac{SO_2}{CO_2}\right)_{\max} - \left(\frac{SO_2}{CO_2}\right)_t}{\left(\frac{SO_2}{CO_2}\right)_{\max}} \cdot 100\%,$$

де $\left(\frac{SO_2}{CO_2}\right)_{\max}$ – максимальне для умов роботи судна (в SECA або поза

SECA) значення відношення $\frac{SO_2}{CO_2}$; $\left(\frac{SO_2}{CO_2}\right)_t$ – відношення $\frac{SO_2}{CO_2}$ в момент часу t [2].

Дослідження, що виконувались на судні класу Bulk Carrier водотоннажністю 73320 тонн енергетичну установку якого складали головний двигун 6S60ME-C MAN-Diesel & Turbo, три допоміжних двигуна 6EY22ALW Yanmar та допоміжний котел Kangrim MB02 (випускні гази яких очищувались від домішок сірки в скрубєрі) визначили, що додаткова обробка палива шляхом ультразвукового опромінювання сприяє зменшенню концентрації сірковмісних складових в випускних газах. Це відображається в зменшенні відношення $\frac{SO_2}{CO_2}$ як у разі експлуатації судна всередині SECA, також під час експлуатації судна поза районами SECA. Діаграма, що відображає отримані результати, наведена на рис. 2.

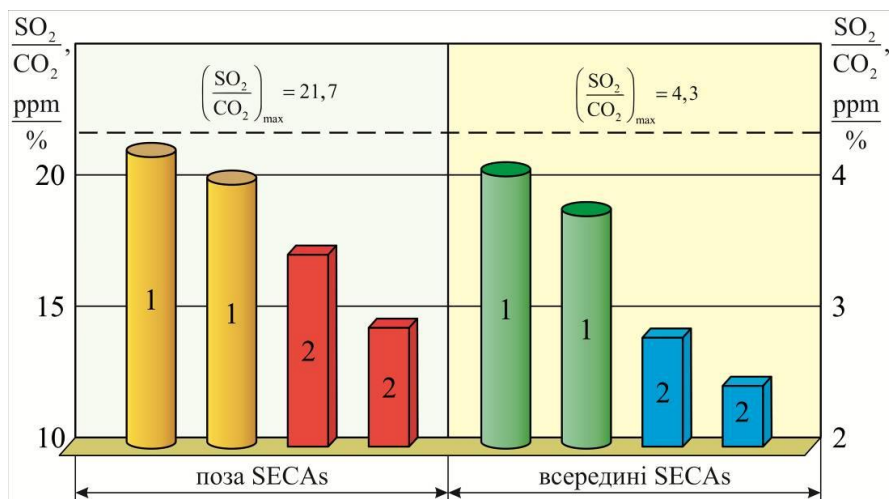


Рис. 2. Діапазон зміни екологічних показників роботи судна класу Bulk Carrier водотоннажністю 73320 тонн за умовою різних способів підготовки палива:

- 1 – без використання додаткового ультразвукового опромінювання;
- 2 – з використанням додаткового ультразвукового опромінювання

Проведені дослідження дозволяють зробити наступні висновки.

1. Модульні схеми побудови суднових систем підготовки палива забезпечують підтримання його експлуатаційних характеристик. При цьому в залежності від фракційного та структурного складу палива, а також в залежності від його густини та в'язкості можливо використання окремих додаткових модулів, які впливають на функціонування підсистем очищення, підготовки та подачі палива.

2. Експериментально підтверджено, що використання додаткових модулів підготовки палива, які засновані на ультразвуковому опромінюванні палива призводить до підвищення екологічної стійкості роботи суднових дизелів. Це відображається в зменшенні головного критерію, що враховується в разі використання палива з підвищеним вмістом сірки та подальшим очищенням випускних газів в скруберах SO_x, а саме відношення SO₂/CO₂.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Солодовніков В.Г., Руснак Д.Ю. Використання ультразвукової обробки палива у паливних системах суднових середньообертових дизелів // Суднові енергетичні установки : науково-технічний збірник. – 2024. – Вип. 48. – Одеса : НУ «ОМА». – С. 126-136. doi: 10.31653/smf48.2024.126-136.
2. Сагін С.В., Руснак Д.Ю. Поліпшення процесу підготовки палив нафтового походження для судових середньообертових дизелів // Водний транспорт. Збірник наукових праць. – 2024. – Вип. 3(41). – С. 109-120. doi.org/10.33298/2226-8553.2024.3.41.13.

Effects of Direct Water Injection on DI Diesel Engine

Combustion

Recent fluctuations in fuel prices have underscored some of the pressures under which the engine industry operates. In many industries, fuel economy is a primary concern, yet health risks from high concentrations of airborne toxins cannot be ignored. Thus, constraints from legislating bodies combine with market forces to push engine manufacturers towards creating engines that simultaneously use less fuel and produce fewer harmful pollutants. Techniques such as split injection, high pressure fuel injection and stratified fuel-water in cylinder injection have been shown effective at reducing pollutants from DI Diesel engines while minimizing fuel consumption.

There are several practical means of inducing water into the combustion chamber. Fumigation, emulsions, parallel injection systems and DW injection are all effective realizations of water injection technology, each with their own set of advantages and drawbacks. In this study, it must be stressed that the fuel and water are separate until just before the actual injection event – DW injection is not an emulsion and does not suffer from the same drawbacks.

DW injection has the advantage over fumigation of having the liquid water close to the flame and away from the wall. Unlike emulsified fuels, DW injection allows the fuel-water percentage to be changed for cold start or different operating

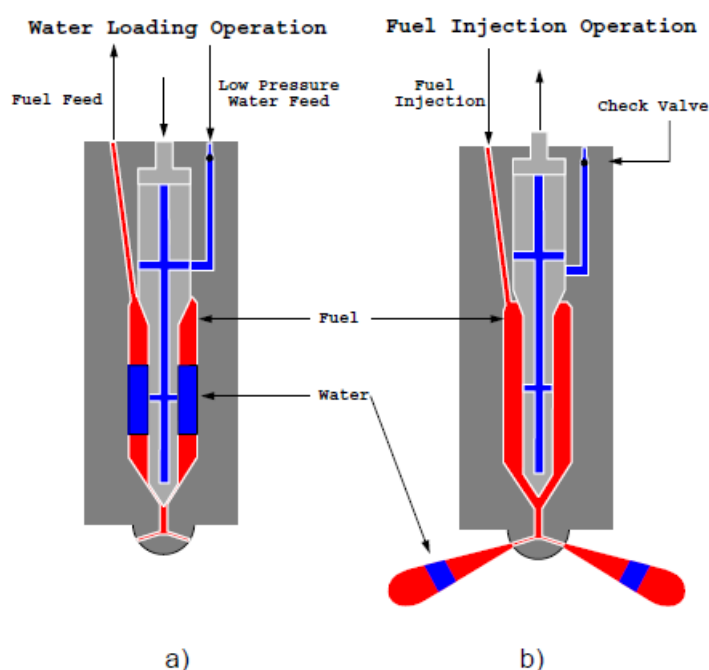


Fig. 1. Operation of a typical Fuel-Water Injection system

ranges. Although the injection system needs to be modified for DW injection, a single injector per cylinder is used so that the overall cost would be less than a parallel injection system. A schematic of a typical dual feed injector is shown below in Fig. 1.

The key to the DW injection system is the dual feed injection nozzle with the corresponding water supply system. Note that the water supply system does not need to support high pressures like the fuel injection system. The water loading event (Fig. 1a) shows the water being pushed first

through a one-way valve, then through the hollow passage in the injector body and eventually into the annular sac region surrounding the central pintle valve. The fuel displaced by the water is returned to the fuel injection pump.

NUMERICAL MODELING

A modified version of the KIVA-3v CFD program, originally developed at Los Alamos National Laboratory, was used for this study. KIVA solves the conservation equations for unsteady, compressible, turbulent reacting flows on finite volume grids. There have been numerous additions and modifications of many sub-models at the ERC and DaimlerChrysler Research that have been validated for engine combustion simulations.

When modeling one multiple hole injector, the fuel and water are injected from the same spatial location and the velocity profile is calculated using the sum of the fuel and water masses. The water mass is added to the fuel mass and the velocity profile accordingly scaled.

An example of a wide distribution is shown in Fig. 2 for parameter values of $\sigma_w = 5.00$ and $x_c = 0.5$ with 45% of the fuel mass was input as water. A velocity distribution for a narrow distribution function ($\sigma_w = 0.05$) is shown in Fig. 3 for the same 45% fuel/water ratio.

SPRAY MODEL VALIDATION

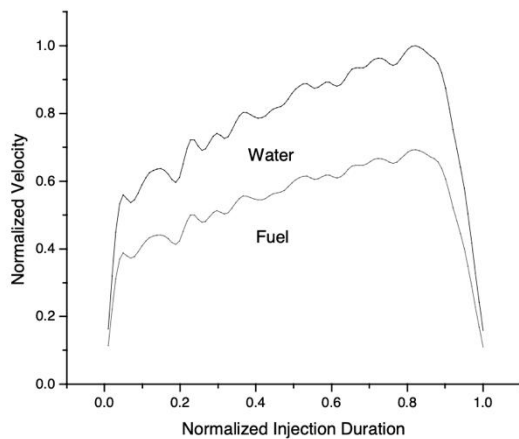


Fig. 2. Distribution of water in the fuel spray for a wide distribution function ($\sigma_w = 5.00$ and $x_c = 0.5$)

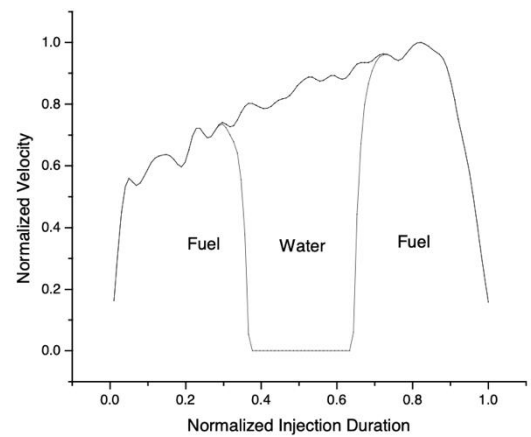


Fig. 3. Distribution of water in the fuel spray for a narrow distribution function ($\sigma_w = 5.00$ and $x_c = 0.5$)

Experiments for Diesel fuel/water injection were performed with a prototype Bosch dual feed injector, where the stratification of the fuel and the water can be controlled. In this study, the volumetric flow rate was kept constant. In each case, 136 mm^3 of liquid was injected into a quiescent chamber filled with Nitrogen at 830 K and 41 bar. The spray was illuminated from below by a laser sheet and vapor penetration was obtained by fluorescence.

Figs 4 and 5 show a comparison of the experimental vapor penetration to the calculated vapor penetration and also show the calculated liquid penetration, all as functions of time. For these calculations, the calculated vapor penetration is very close to the experimentally measured values. For this injector, which produces relatively large drops, the vapor and liquid penetrations were very similar initially, but diverged from each other when the jet penetrated about 4 cm from the nozzle for the fuel only spray.

The presence of water in the fuel spray increases both the liquid and vapor penetration, however the liquid penetration is changed more significantly as shown in Fig. 5. As can be seen from the comparison of calculated spray tip penetrations in Figs 4 and 5, the water lengthens the liquid penetration at 150 ms by approximately 35% when 23% of the injected liquid is water.

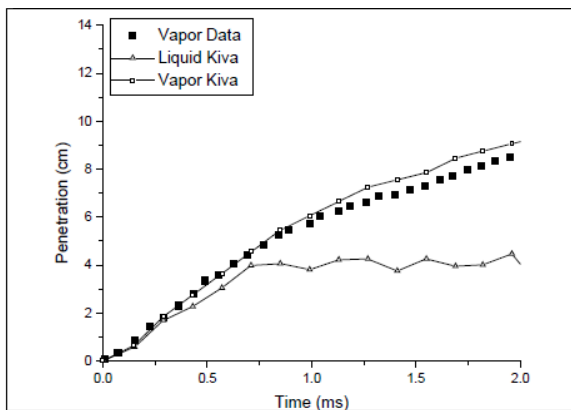


Fig. 4. Comparison of liquid and vapor penetration for the fuel only spray as functions of time with experimental data Fig. 4.

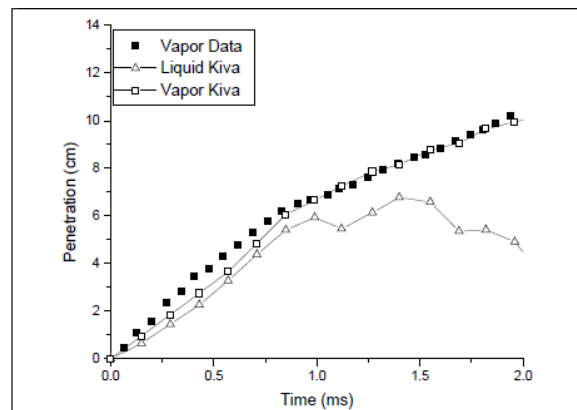


Fig. 5. Comparison of liquid and vapor penetration for the fuel water spray as functions of time with experimental data

To gage the parameters of the second injected liquid (e.g. water), the physical properties of the injected water were selectively changed to equal those of the fuel. The liquid penetration as a function of time of the modified spray is shown in Fig. 6.

When the surface tension of the water is set equal to the fuel, the Weber number of the liquid water increases which shortens the breakup time of the water spray. The effect of the water fades more rapidly when the water breaks up sooner, and approximately 15% of the original liquid penetration distance is recovered at 1.5 ms.

ENGINE RESULTS

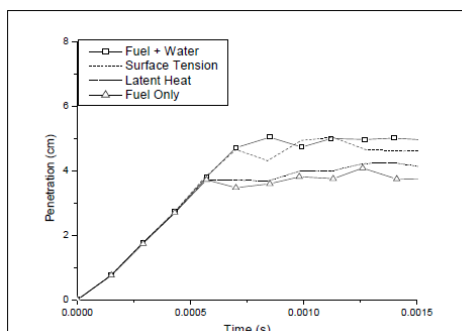


Figure 6: Liquid Penetration vs. Time - Sensitivity to Physical Properties

Fig. 6. Liquid Penetration vs. Time - Sensitivity to Physical Properties

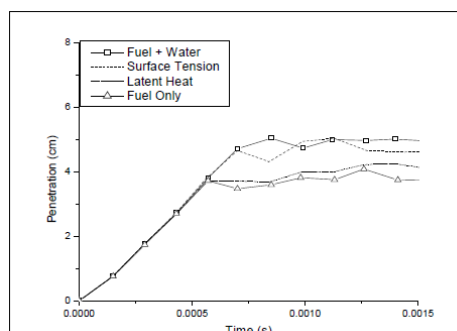


Figure 6: Liquid Penetration vs. Time - Sensitivity to Physical Properties

The combustion models have been validated by a number of studies of

DaimlerChrysler heavy-duty diesel engines.

Specifications and operating

conditions are given in Table 1.

Table 1: Engine Parameters

Parameter	Value (units)
Bore	13.00 (cm)
Stroke	15.00 (cm)
Connecting Rod Length	27.3 (cm)
Displacement	2.00 (Liters)
Compression Ratio	17.25
Engine Speed	1080 (rev/min)
Start of Injection	-2 ATDC

shown in Fig. 8, $x_C = 0.135$ and $\sigma_W = 0.180$ which resulted in an ignition delay of 8 crank angle degrees. For the 86% load case with 45% water, the injection duration increased about 6.5 crank angle degrees.

Fig. 8 shows the agreement of the calculated cylinder pressures to the experimental cylinder averaged pressures for the 44% load condition with 0% and 45% water/fuel ratio. The calculation used water parameters of $x_C = 0.120$ and $\sigma_W = 0.110$ which also displaced a significant portion of fuel from the first part of the injection. The injection duration increased 3 crank angle degrees and the ignition delay

Fig. 7 shows the agreement between measured and computed cylinder averaged pressures and the computed rate of heat release for the 86% load condition for both 0% and 45% water/fuel ratio. The agreement with experimental pressure is very good, as is the agreement with the additional ignition delay due to water. For the 45% water case

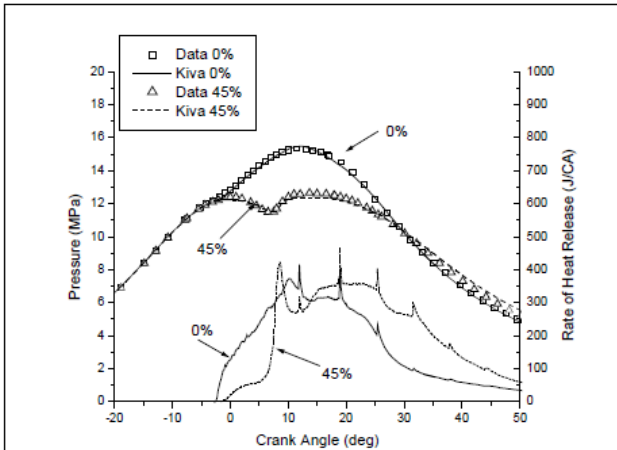


Fig. 7. Comparison of the 86% load simulation with experimental pressure data (top) for 0% and 45% and predicted heat release rate (bottom) for 0% and 45% water/fuel ratio

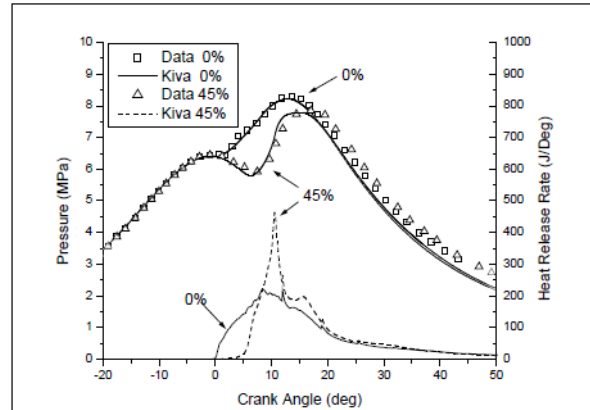


Fig. 8. Comparison of the 44% load simulation with the experimental cylinder pressure (top) and predicted heat release rate (bottom) for 0% and 45% water/fuel ratio

was approximately 6 crank angle degrees with a 45% water/fuel ratio. The peak pressure is delayed about 6 degrees from the fuel only case, however the magnitude of the peak pressure is only 10% lower. The premixed burn is intensified due to the delayed ignition.

Comparison to Engine Emissions and SFC Data

Fig. 9 shows the comparison of the computations with experimental engine out particulate emissions as a function of water percentage. The soot values were normalized by their baseline values for the sake of comparison. The comparison to experimental data shows that soot values at 86% load were underpredicted while the values at 44% load were overpredicted. The shape of the soot curves as a function of water/fuel ratio agrees well with the experiment.

Table 2: Changes in Emissions vs. W/F Ratio

	NOx (%)		SFC (%)	
	Exp.	Comp.	Exp.	Comp.
44% load 30% W/F	-24.1	-21.8	-1.2	-1.9
44% load 45% W/F	-39.4	-50.8	-1.0	-0.9
86% load 30% W/F	-46.1	-60.6	+3.6	+1.8
86% load 45% W/F	-71.1	-85.6	+15.6	+9.1

Fig. 10 shows the SFC vs. NOx tradeoff curve for the 44% and 86% load points. The numerical values are given in Table 2. The agreement with fuel consumption is good for both load points, and the agreement with NOx for the 44% load point is also good. Both NOx and SFC.

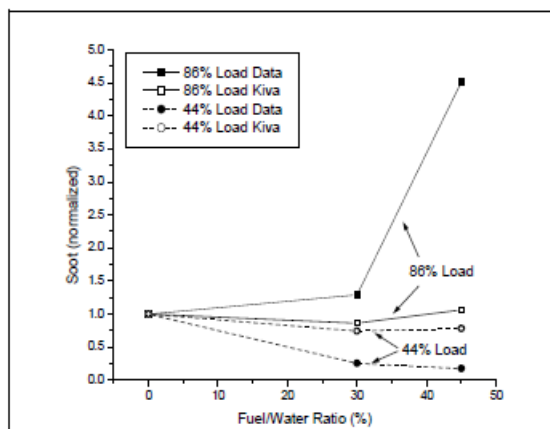


Fig. 9. Soot vs. %Water tradeoff curve for 86% and 44% load points for experiment and simulation

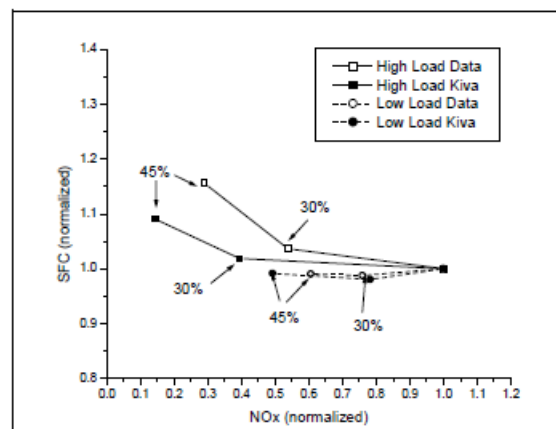


Fig. 10. SFC vs. NOx tradeoff curve for 86% and 44% loads for the computations of the baseline. 30% and 45% fuel-water ratio simulations

CONCLUSION

This report describes the modeling of water injection as a practical NOx reduction technology for DI Diesel engines. The water injection model was verified against experimental high temperature spray data and was used to gain additional insight into multiple liquid spray phenomena. It was shown that the latent heat of

vaporization was the physical property that caused the liquid in a fully mixed spray of fuel and water to penetrate further than a spray of the same volume of fuel alone.

The bomb simulation of a completely mixed fuel-water spray showed that the liquid spray tip penetration increases by approximately 35% due mostly to the high latent heat of the water. Vapor penetration is not changed as much as the liquid penetration, however the fuel penetration along the axis increases with the presence of water due to an increase in the jet momentum.

REFERENCES

1. Amsden A. A., O'Rourke P. J., Butler, T. D. KIVA-II: A Computer Program for Chemically Reactive Flows with Sprays// Los Alamos National Laboratory Report. - No. LA-11560-MS, 1989.
2. Curran H. J., Gaffure P., Pitz W. J., Westbrook, C. K. A Comprehensive Modeling Study of N-Heptane Oxidation // Combustion and Flame. - vol.114, pp.149-177, 1998.
3. Dittrich P., Wirbeleit F., Willand J., Binder, K. Multi- Dimensional Modeling of the Effect of Injection Systems on DI Diesel Engine Combustion and NO-Formation // SAE 982585, 1998

Injection characteristics of diesel and biodiesel fuel blends with common rail injection system

The limited fossil fuel reserves and the ecological aspects encourage the scientists to conduct their search on a new alternative renewable energy resource. The article presents the experimental test results of the fuel injection processes of diesel and biodiesel fuel blends, when using high-pressure common rail injection system.

The injection characteristics were determined using the injection rate measuring instrumentation. The aim of the study was to get insight in the changing behaviour of the injection rate, amount of the fuel injected per cycle, actual injection delay and the duration of the process over the whole variation range of both the injection pressure and the energizing time. The test results showed that the maximum injection rate of diesel – biodiesel fuel blends was lower than that of a neat diesel fuel case. It was observed that density and viscosity of the fuel have a significant effect on the form of injection characteristics. The injection process has significant influence on the combustible mixture formation inside the cylinder of a diesel engine, auto-ignition, combustion, and exhaust emissions.

The ecological aspects, limited fossil fuel reserves, and the increased market price of mineral fuel encouraged the scientists to conduct the research on alternative renewable biofuels to adapt them for diesel engine powering.

Biodiesel generally is being derived from vegetable oils and alcohol in the presence of catalyst, defined as mono-alkyl esters of long chain fatty acids. Until recently, rape oil was the main raw material source widely used to produce biodiesel.

The influence of the biodiesel fuel properties on the injection system characteristics, on the fuel spray formation and its effect on the diesel engine performance and emissions mainly occur due to changes in sophisticated hydrodynamic processes in the high-pressure pump, high-pressure pipe and in the injection nozzle itself. The difference between the spray characteristics of biodiesel and diesel fuels is more pronounced for the highly evaporating sprays compared to those of less-evaporating sprays. This is due to the higher boiling temperature and higher heat of vaporization of biodiesel having in mind that the vaporization properties have a more significant influence on the spray behaviour rather than physical properties of the fuel such as density, viscosity, and surface tension.

Majority of the researchers analysed only the engine performance and exhaust emissions, therefore, there is a lack of more detailed studies on the subject to investigate the potential impact of physical parameters of the fuel on the ongoing processes in the common rail injection system. The purpose of the research was to investigate the injection characteristics of diesel –biodiesel fuel blends in a high-pressure injection system.

The following types of the fuels were used in the experimental studies: rape-seed oil methyl ester (B100), diesel fuel (DF) . Properties of the tested fuels are presented in Table 1.

Table 1
Fuel properties

Parameter	Density at 15 °C, $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$	Kinematic viscosity at 40 °C, $\text{mm}^2\cdot\text{s}^{-1}$
DF	831.70	2.22
B100	884.10	4.60

Fig.1. presents a schematic diagram of the experimental setup. It consists of

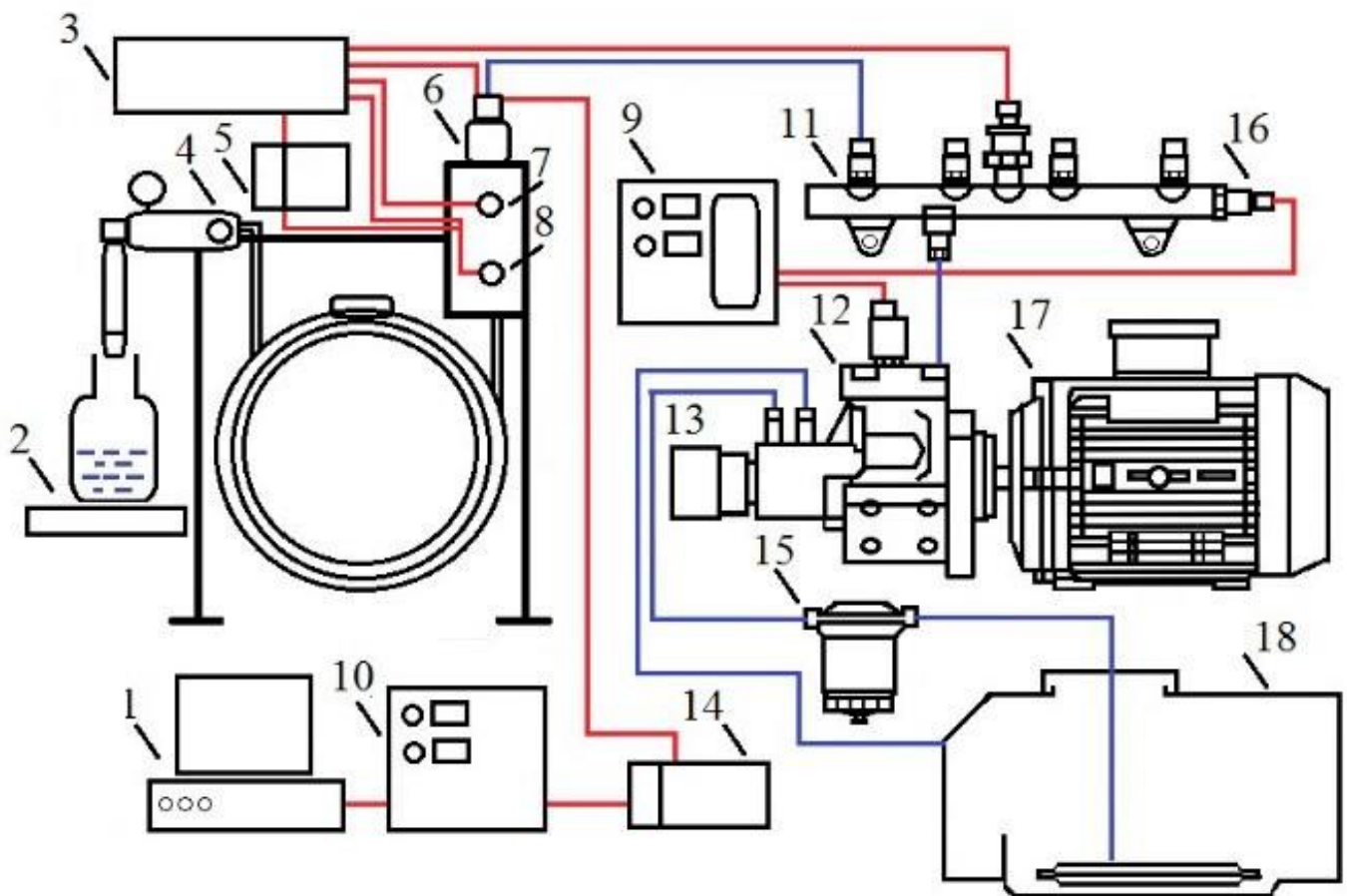


Fig. 1 . Schematic view of fuel injection testing stand:

1 – PC; 2 – electronic scale; 3 – dataacquisition module; 4 – pressure sensor; 5 – charge amplifier-module; 6 – injector; 7 – temperaturesensor; 8 – pressure sensor; 9 – fuel pressure control unit; 10 – injector driver; 11 – common rail; 12 – high-pressure fuel pump; 13 – fuel pressure regulator; 14 – NI 9161 chassis; 15 – fuel filter; 16 – rail pressure sensor; 17 – electric motor; 18 – fuel tank

two parts: the fuel injection system and the injection rate measuring system. The fuel injection system includes a high pressure pump, a common rail, injector and the electronic unit to control the injection pressure. A sixhole injector nozzle was used, and the diameter of each hole was equal on average to 0.24 mm.

The fuel injection rates were measured using the Bosch method. The injection rate measuring system included an adapter for mounting of the injector, measuring tube of 6 m in length, orifice, following tube and a check valve. The injection rate

measuring method was based on measuring a dynamic increase in pressure produced by the fuel injection into the measuring tube filled with fuel.

Results and discussions

In the compression ignition engine, the fuel injection process plays an important role on the in cylinder mixture formation, auto-ignition, combustion process, engine performance parameters and ecology characteristics. Fuel injection characteristics depend on the type of the injection system and fuel properties. Among the main physical properties having the biggest influence on the injection process are viscosity, density, and the bulk modulus. Fig. 2 shows the profiles of volumetric and mass injection rates of the tested diesel and biodiesel fuel blends at various injection pressures and energizing durations.

As it can be seen in the figure (Fig. 2 a, b), the leading front of the injection-rate characteristics was steeper for the fuels possessing lower density and viscosity, when the fuel was injected at the low (25.0 MPa) and the medium (50.0 MPa) pressure. Both maximum volumetric and mass injection rates were 3.8 % and 9.1 % higher for the case of the diesel fuel injected at minimum pressure of 25.0 MPa.

When the injection pressure was increased, the maximum injection rates also increased for all fuel types tested. However, the peaks of the mass and volumetric injection rates for the denser and more viscous biofuel B100 were slightly lower compared to that of diesel fuel tested under the same injection conditions. When the injection pressure increased to the maximum value of 100 MPa, the shape of volumetric injection characteristics for the tested fuels almost did not change and the maximum mass injection rate was about 7.8 % higher for the diesel fuel case. The mass-quantity of biodiesel B100 injected per cycle was 1 % lower due to its higher density and viscosity.

Columns in Fig. 3 show the effect made by biodiesel B100 on the injection delay time and duration measured under different injection pressures.

The injection delay is a time interval between the start of energizing of the injector and the start of fuel injection that was found by analysing the injection rate characteristics. Changes in the injection delay for different injection pressures are shown in Fig. 3, a. The injection delay time was 0.46 ms for diesel fuel and 0.40 ms for biodiesel B100 tested at the injection pressure of 25.0 MPa. The injection delay decreased to 0.40 ms for diesel fuel and to 0.36 ms for B100 fuel due to the injection pressure increase to 50.0 MPa. The injection pressure increased to maximum value of 100 MPa resulted in to the injection delay time reduced to 0.36 ms for diesel fuel and to 0.33 ms for the biodiesel B100 case. The higher density and viscosity of rapeseed oil methyl ester are among the main reasons of

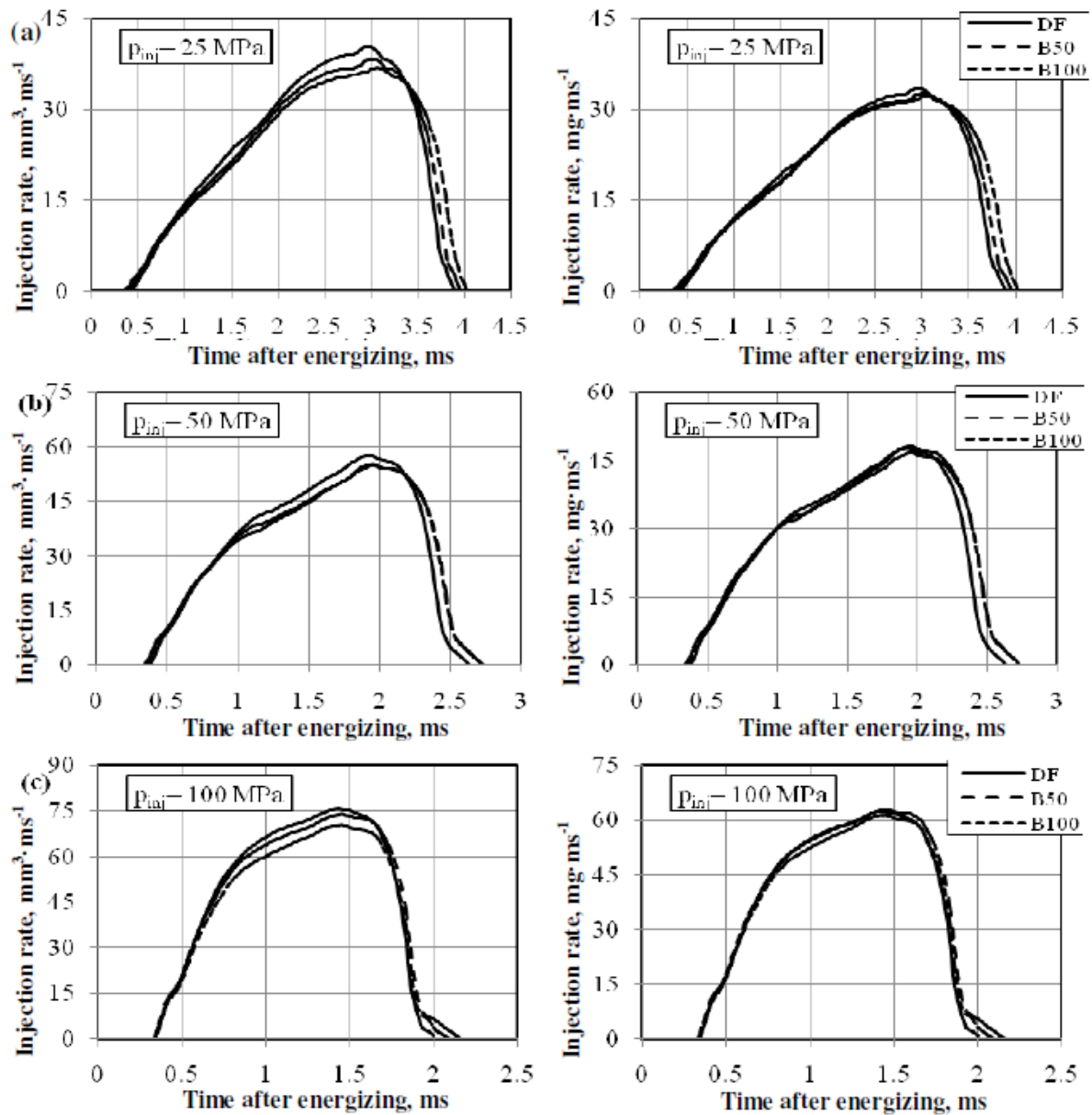


Fig. 2. Effect of injection pressure on injection rate for various fuel types: back pressure 4.0 MPa; a – $t_{en} = 2.6$ ms; b – $t_{en} = 1.5$ ms; c – $t_{en} = 1.0$ ms

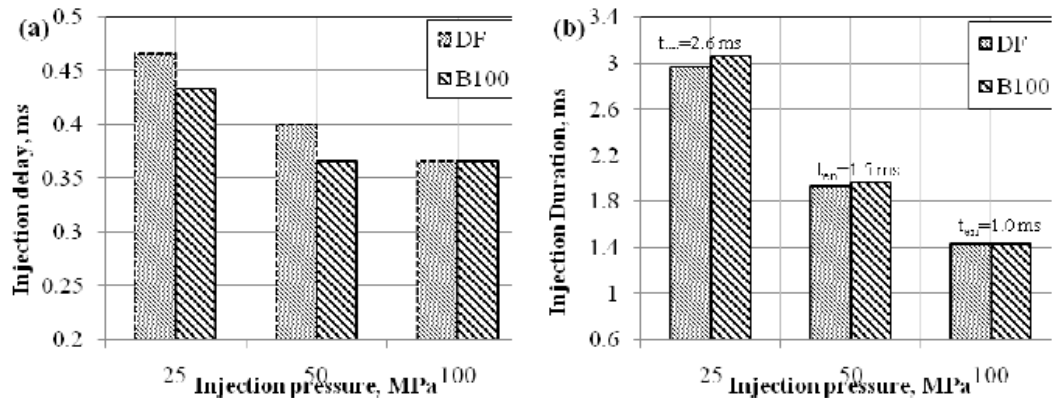


Fig. 3. Effect of fuel injection pressure on injection delay time and injection duration

Having lower fuel B100 flow-rate, which leads to longer injection delay time than that of the diesel fuel.

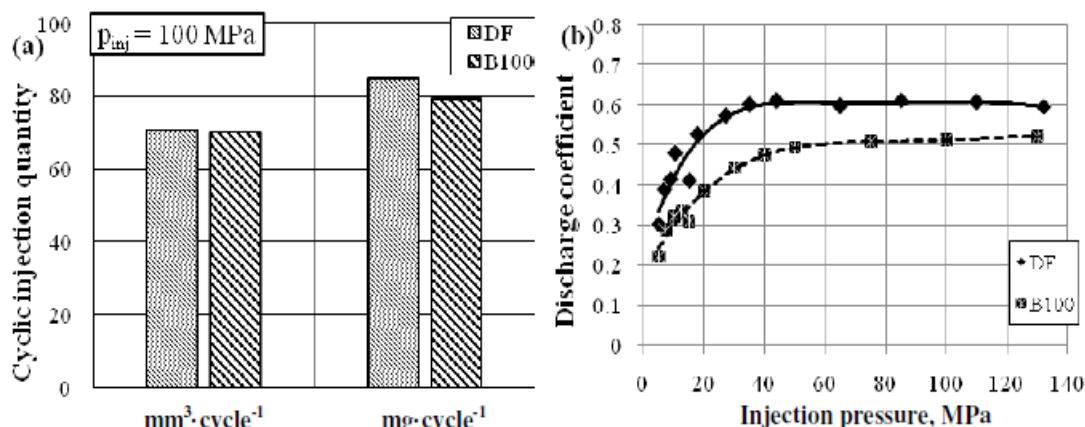


Fig. 4. Dependencies of cyclic injection quantity on fuel used (a) and discharge coefficient on injection pressure of tested fuels (b)

Changes in the injection duration for different injection pressures of the tested fuels are shown in Fig. 3, b. As it can be seen, the injection duration of biodiesel B100 was always somewhat longer than that of the diesel fuel especially under the influence of the injection pressure reduced to 25.0 MPa. In all cases, the actual injection duration was always longer for all fuels tested than the energizing-pulse duration of the injector itself. The injection duration for diesel fuel was 11 %, 26 %, and 40.0 % longer than the duration time of the energizing-pulse for the respective injection pressures of 25.0, 50.0, and 100 MPa. Actual fuel injection duration represents the time interval between the start and the end of injection and it was found by analysing the measured injection rate characteristics.

Fig. 4b shows the dependency of the discharge coefficient on the injection pressure of the tested fuels. The discharge coefficient of diesel fuel is considerably higher than that of biodiesel B100 within a wide variation range of the injection pressure. The discharge coefficient increased up to certain extent for diesel fuel and biodiesel to sustain at almost stable level with further increase of the injection pressure of the fuels. It should be noted that the discharge coefficient for biodiesel B100 was about 18 % lower than that for the normal diesel fuel, when the injection pressure reached the maximum value of 100.0 MPa.

Conclusions

The peak injection rate (by volume and mass) for biodiesel B100 was lower than that of diesel fuel under similar test conditions. The injection rate of diesel fuel differs as having the highest front risings lobe after the start of injection compared to that produced by the injection of neat biodiesel B100.

The actual injection duration time was always longer than the duration of the energizing-pulse of the injector itself. This occurred because the response time of the injector solenoid to the in-coming control signal was quicker than that needed to actuate the fuel injector.

The discharge coefficients for biodiesel B100 were always lower than of diesel fuel, because the density and viscosity of RME were about 6 % and 2 times higher than the respective values of the normal diesel fuel.

ІНЖЕНЕРНІ ТЕХНОЛОГІЇ ЕКОЛОГІЧНОЇ ТА ПРОФЕСІЙНОЇ БЕЗПЕКИ НА МОРІ

УДК 613.68 (045)

Парменова Д.Г., Голікова В.В., Крайнова В.І., Астахов М.В.
Національний університет «Одеська морська академія»

Аналіз сучасних методів управління безпекою праці на морському транспорті

Вступ. Морський транспорт відноситься до галузей підвищеної небезпеки, де персонал стикається з широким спектром шкідливих та небезпечних факторів. Моряки схильні до фізичних небезпек (високий рівень шуму і вібрації, важка фізична праця, роботи на висоті і в замкнутих просторах, несприятливі погодні умови), хімічних впливів (паливо, небезпечні вантажі, вихлопні гази), біологічних ризиків (захворювання в тривалих рейсах) ритмів, піратство). Статистика показує, що рівень смертельного травматизму на морському транспорті майже вп'ятеро вищий, ніж у середньому за іншими галузями [1-4]. За оцінками експертів, до 80-85% морських аварій прямо або опосередковано обумовлені людським фактором – помилками екіпажу, неефективною організацією робіт, втомою та ін. Ці дані наголошують на критичну необхідність ефективного управління безпекою праці на флоті.

Забезпечення безпеки життєдіяльності на суднах має не лише людський вимір, а й значні економічні та екологічні наслідки. Великі аварії на морі (пожежі, затоплення, розливи нафти) призводять до загибелі людей, забруднення навколишнього середовища та великих фінансових втрат. У зв'язку з цим на міжнародному рівні розроблено широку нормативну базу: Міжнародна морська організація (ІМО) і Міжнародна організація праці (ІЛО) прийняли низку конвенцій і кодексів, що регламентують безпеку суден і умови праці моряків. Однак, наявність формальних правил не гарантує відсутності інцидентів, якщо ці правила не підкріплені практичними заходами оцінки ризиків, культурою безпечної поведінки та сучасними технологіями моніторингу [3].

Постановка задачі. Проаналізувати інформацію щодо сучасних методів управління безпекою праці на морському транспорті.

Результати досліджень. Проблеми охорони праці на морському транспорті залишаються актуальними, незважаючи на прогрес у суднобудуванні та регулюванні галузі. Аналіз морських подій показує, що основними чинниками інцидентів є недоліки в управлінні безпекою праці та людські помилки [3]. Операції на суднах суворо регламентовані: діють вимоги Міжнародної конвенції про охорону людського життя на морі (SOLAS), Міжнародного кодексу з управління безпечною експлуатацією суден (ISM Code), Міжнародної конвенції про підготовку і дипломування моряків та несення вахти 1978 року, з поправками (STCW) та ін. Проте практика розслідувань аварій виявляє прогалини між формальним дотриманням правил та реальною безпекою. Так, дослідники відзначають, що хоча основи «культури безпеки» в морській галузі закладено, існують серйозні бар'єри для її впровадження на практиці [4-7]. Часто недоста-

тньо уваги приділяється моніторингу та документуванню потенційно небезпечних ситуацій, зворотний зв'язок щодо подій є обмеженим, а принцип проактивного управління ризиками не реалізовано повною мірою [3].

Водночас морська галузь переживає технологічну трансформацію – впроваджуються системи автоматизації та цифрового контролю, які здатні суттєво підвищити безпеку робіт. З'являються автономні судна, інтелектуальні системи підтримки рішень, передиктивна діагностика обладнання. Ці інновації вимагають аналізу їх ефективності та ризиків, щоб інтегрувати їх у систему управління безпекою праці.

Ефективне управління професійною безпекою починається з ідентифікації та оцінки ризиків. У морській індустрії застосовуються перевірені методики, запозичені із загальної теорії надійності та безпеки, адаптовані до специфіки судноплавства. До ключових інструментів відносяться HAZID, HAZOP та метод Bow-Tie, які доповнюють один одного на різних етапах аналізу ризику.

HAZID (Hazard Identification) – метод виявлення небезпек на ранніх стадіях. За типовим підходом HAZID проводять на етапі проектування судна або планування рейсу, коли докладна інформація ще обмежена. виявленого сценарію фіксуються передбачувані причини (відмова обладнання, людська помилка, зовнішній вплив), можливі наслідки (травми, шкода судну, екологія) та існуючі заходи захисту. Результатом HAZID є реєстр небезпек з пріоритетною оцінкою ризиків за кожною позицією. Перевага HAZID – попереджувальний характер: виявлені проблеми можна усунути ще до реалізації проекту або рейсу, уникнувши великих витрат на виправлення пізніше [8]. Наприклад, HAZID машинного відділення судна може виявити ризик скупчення горючих парів, тоді заздалегідь будуть передбачені датчики витoku та вентиляція.

HAZOP (Hazard and Operability Analysis) – детальний метод аналізу відхилень у функціонуванні систем. Спочатку розроблений для хімічних виробництв, HAZOP широко застосовується і на судах для вивчення технологічних систем – паливних, вантажних, енергетичних та ін. Метод передбачає систематичне розбиття системи на вузли (обладнання, трубопроводи, процеси) та розгляд відхилень параметрів кожного вузла від нормальних режимів. Використовуються спеціальні «опорні слова» – наприклад, «немає потоку», «підвищений тиск», «зворотний» і т.д. – які комбінуються з параметрами процесу (витрата, температура, положення клапана тощо). HAZOP зазвичай проводиться на вже досить опрацьованих системах (наприклад, при введенні нового судна в використання) і дає глибше розуміння того, як збої в роботі обладнання можуть призвести до аварії. Результатом HAZOP є звіт із переліком виявлених відхилень та заходів, необхідних для їхнього контролю [8]. На практиці HAZOP допоміг покращити надійність багатьох судових систем, наприклад, аналіз перевалки нафтового вантажу виявляє ризики переливу, на підставі чого вводяться додаткові сигналізатори міжрубіжного рівня та інструктування екіпажу.

Bow-Tie (діаграма «метелик») – метод візуального синтезу інформації про ризик, що поєднує причини, наслідки та бар'єри безпеки в єдиній схемі. Діаграма bow-tie отримала назву через свою форму, що нагадує метелика або краватку-метелика: в центрі розташовується «вища небажана подія» (Top Event) –

ключовий аварійний інцидент, наприклад, втрата стійкості судна. Між погрозами та центральною подією є превентивні бар'єри – технічні та організаційні заходи, покликані не допустити реалізації загрози (наприклад, для загрози «шторм»: моніторинг погоди, обмеження виходу в море при штормовому попередженні). Аналогічно, між Top Event і наслідками ставляться захисні бар'єри відновлення – засоби пом'якшення наслідків, якщо подія відбулася (наприклад, для події «людина за бортом»: рятувальні жилети, підготовленість екіпажу до рятувальної операції. Додатково діаграма може включати ескалаційні фактори – умови, за яких ефективність бар'єру знижується (наприклад, несправність рятувального обладнання), і заходи проти ескалації.

Висновки: Управління безпекою праці на морському транспорті – складне багатогранне завдання, що потребує поєднання інженерного, організаційного та людського підходів.

Ефективність управління безпекою праці значно підвищиться завдяки застосуванню системності та проактивності. Безпека повинна забезпечуватись системно: від етапу проектування судна та планування рейсу (ідентифікація ризиків HAZID) до щоденних операцій (застосування процедур і моніторингу) та періодичного перегляду на основі досвіду. Проактивні методи оцінки ризику (HAZOP, Bow-Tie) дають можливість передбачати та запобігати інцидентам до їх реалізації, а не лише реагувати постфактум.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу. [На заміну ГН 3.3.5-8.6.6.1-2002; чинний від 2014-05-30]. К.: МОЗ України, 2014. 37 с.
2. Talley, Wayne K. The Safety of Sea Transport: A Crew Injury Perspective // AgEcon Search Journal. – 22 October 2020. – PP. 644-666. DOI: <https://doi.org/10.22004/ag.econ.306082>
3. Мельник О.М., Онищенко О.А., Парменова Д.Г. Методика організації самооцінки ефективності системи управління безпекою судноплавної компанії // Водний транспорт. Збірник наукових праць Державного університету інфраструктури та технологій. – К.: ДУІТ, 2023. – Випуск 1(37). – С.154-160. DOI: <https://doi.org/10.33298/2226-8553.2023.1.37.17>
4. Eski, Özge, and Leyla Tavacioglu. Evaluation of factors influencing maritime dangerous cargo transport accidents-induced crew fatalities and serious injuries// Civil Engineering Journal, Vol 8, No 10 (2022). – PP.2084-2095 DOI: <https://doi.org/10.28991/CEJ-2022-08-10-05>
5. Shafran L. M., Golikova V. V. Seafarer's health savings competencies: goals, professional features, formation and development // Вісник морської медицини. Вересень, 2018, №3. Т.80. – С. 4-12. DOI: <http://dx.doi.org/10.5281/zenodo.144354>
6. Xu, M.; Ma, X.; Zhao, Y.; Qiao, W. A Systematic Literature Review of Maritime Transportation Safety Management// Journal of Marine Science and

Engineering. Vol. 11, no. 12., 6 December 2023. – 2311 p. DOI: <https://doi.org/10.3390/jmse11122311>

7. Голікова В.В., Крайнова В.І, Парменова Д.Г., Синюта К.О. Особливості ергономіки робочого місця майбутніх фахівців водного транспорту // Водний транспорт. Збірник наукових праць Державного університету інфраструктури та технологій. – К.: ДУІТ, 2022. – Випуск 2 (36). – С.218-223. URL: <https://vt.duit.in.ua/index.php/home/article/view/244>

8. Guidance Notes on Risk Assessment Applications for the Marine and Offshore Industries. American Bureau of Shipping. May, 2020. – 79 p.

Колегаєв¹ М.О., Парменова¹ Д.Г., Бондар² С.А.

¹Національний університет «Одеська морська академія»

²Морехідний фаховий коледж ім. О. І. Маринеска
Національного університету «Одеська морська академія»

Роль професійних компетентностей суднових механіків у процедурах портового контролю

Світова спільнота стурбована кількістю аварій на морському транспорті та значними екологічними наслідками для морських акваторій. У зв'язку з цим розроблено низку міжнародних правових актів, які постійно доповнюються й уточнюють вимоги до суднового складу, експлуатації суден і підготовки екіпажів. Особлива роль у цьому процесі належить Міжнародній морській організації (ІМО) та Міжнародній організації праці (МОП), зокрема через Міжнародну конвенцію з охорони людського життя на морі (SOLAS-74), яка визначає основні стандарти безпеки мореплавства та підготовки екіпажів, спрямовані на скорочення кількості аварій і збереження життя людей.

Основна відповідальність за дотримання міжнародних конвенцій щодо безпеки судноплавства покладається на державу прапора судна (Flag State). Проте через те, що багато суден рідко заходять у національні порти своєї держави прапора, а також через труднощі контролю багатонаціональних екіпажів, не всі держави можуть забезпечити належний контроль за виконанням міжнародних стандартів. У зв'язку з цим значна роль у забезпеченні безпеки мореплавства переходить до держави порту, яка має право перевіряти іноземні судна щодо дотримання норм безпеки, захисту навколишнього середовища та належних умов праці екіпажу. Необхідність посилення контролю над суднами з боку держави порту також зумовлюється такими обставинами як старіння світового флоту, скорочення екіпажів, ускладнення технічного обладнання та технології перевезень.

Інспектори контролю держави порту (Port State Control, PSC) під час перевірок виявляють судна, які не відповідають встановленим вимогам, та застосовують відповідні обмежувальні заходи, наприклад затримання судна до усунення виявлених порушень [1].

Ризики технічної експлуатації суден обумовлені не тільки технічним станом флоту або системою управління, прийнятою в судноплавній компанії [2], але й значною мірою залежать від якості початкової підготовки морських фахівців. Більшість аварій морських суден відбуваються внаслідок людського фактора, тобто через помилки чи недостатньо кваліфіковані дії екіпажу. У зв'язку з цим ключового значення набуває належна професійна підготовка персоналу. Висока якість освіти та тренувань майбутніх суднових спеціалістів є важливим фактором запобігання аварій та забезпечення безпеки судноплавства [3].

Успішне проходження процедури контролю державою порту значною мірою залежить від компетентності суднових механіків, адже саме вони забезпечують технічно справний стан судна, надійне функціонування обладнання та

виконання міжнародних вимог під час експлуатації. Таким чином, належна професійна підготовка суднових механіків відповідно до спеціалізованих міжнародних і національних нормативних документів стає вирішальним фактором забезпечення безпеки судноплавства та ефективного проходження портового контролю [3,4].

Метою дослідження є визначення сучасних вимог до компетенцій суднових механіків, які необхідні для ефективного проходження процедури контролю суден у портах державами порту, що своєю чергою сприяє підвищенню рівня безпеки мореплавства, захисту навколишнього середовища та поліпшенню умов праці на борту суден. Для досягнення цієї мети в процесі дослідження було проведено аналіз міжнародних нормативних документів, які регулюють діяльність суднових механіків, а також процедур портового контролю (Port State Control, PSC). Крім того, визначено основні компетенції, які мають бути притаманні судновим механікам для успішного проходження зазначених процедур, виявлено ключові причини затримань суден у портах та встановлено зв'язок між цими затриманнями і рівнем професійної підготовки механіків. Важливою складовою роботи є аналіз сучасних освітніх програм і тренажерних технологій, які забезпечують належну кваліфікацію суднових механіків відповідно до міжнародних вимог і стандартів, що значно підвищує ефективність їхньої роботи та забезпечує високий рівень безпеки судноплавства.

На рисунку 1 [5] відображено глобальний розподіл затримань суден в 2023 році за ініціативами PSC, які реалізуються у рамках різних меморандумів про взаєморозуміння. Найбільша кількість – у рамках Токуо МоУ (100 випадків), що охоплює азійсько-тихоокеанський регіон. З них 75 затримань припадає на Китай, тобто майже 3/4 усіх затримань у цьому регіоні. Paris МоУ (Європа) посідає друге місце — 55 затримань. Indian Ocean МоУ має 23 випадки, що також є значущим показником. Інші регіони мають значно менші показники: по 5–9 затримань або навіть лише 1 випадок.

За статистичними даними Паризького меморандуму про взаєморозуміння щодо контролю державою порту, зображеними на рисунку 2, рівень затримань в останні роки залишається стабільним, у межах 3.1–3.5%, що трохи вище середніх показників попередніх років (від 0.9% до 2.1%).

За результатами перевірок береговою охороною США (United States Coast Guard, USCG) (рис. 3) пасажирські судна мають найвищу частку виявлених недоліків, але їх фактичні затримання незначні. Найбільші ризики затримання мають суховантажні та рефрижераторні судна, а газові, хімічні та нафтові танкери демонструють відносно високий рівень технічного стану.

Зазвичай виявлені недоліки суден стосуються вимог Міжнародного кодексу з управління безпекою (ISM), який в свою чергу створює систему управління безпекою (СУБ), розробленою для будь якої суднохідної компанії та Міжнародного кодексу з охорони суден та портових засобів (ISPS).

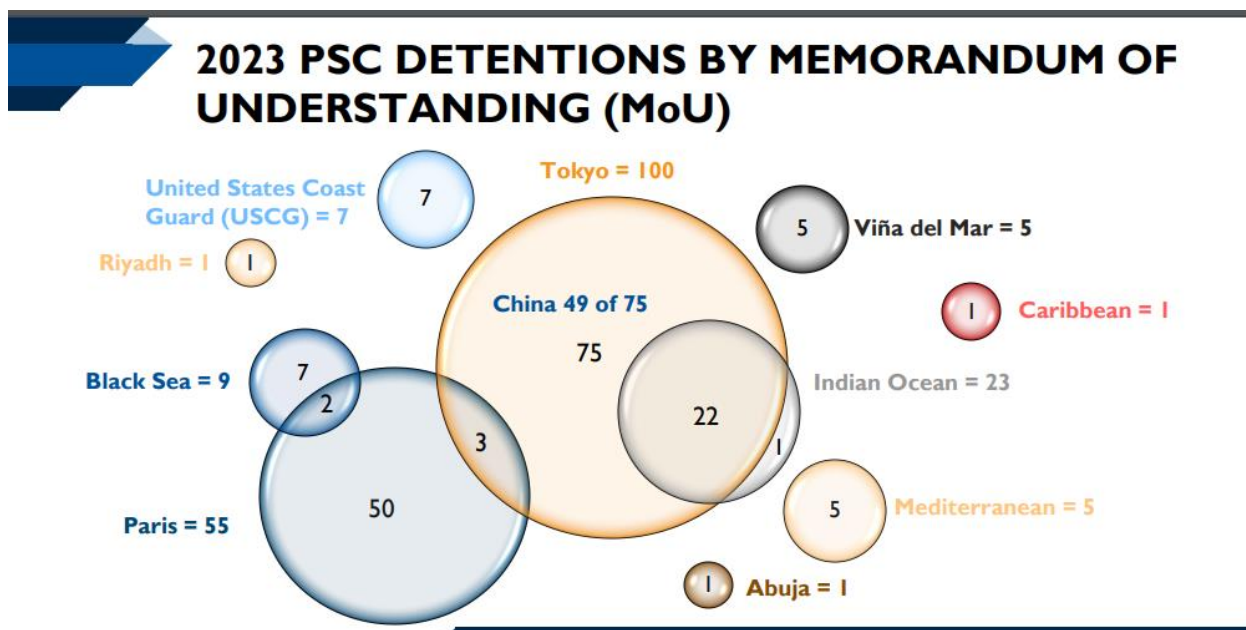


Рисунок 1 – Кількість затримань суден у 2023 році за регіональними Меморандумами про взаєморозуміння (MoU) [5]

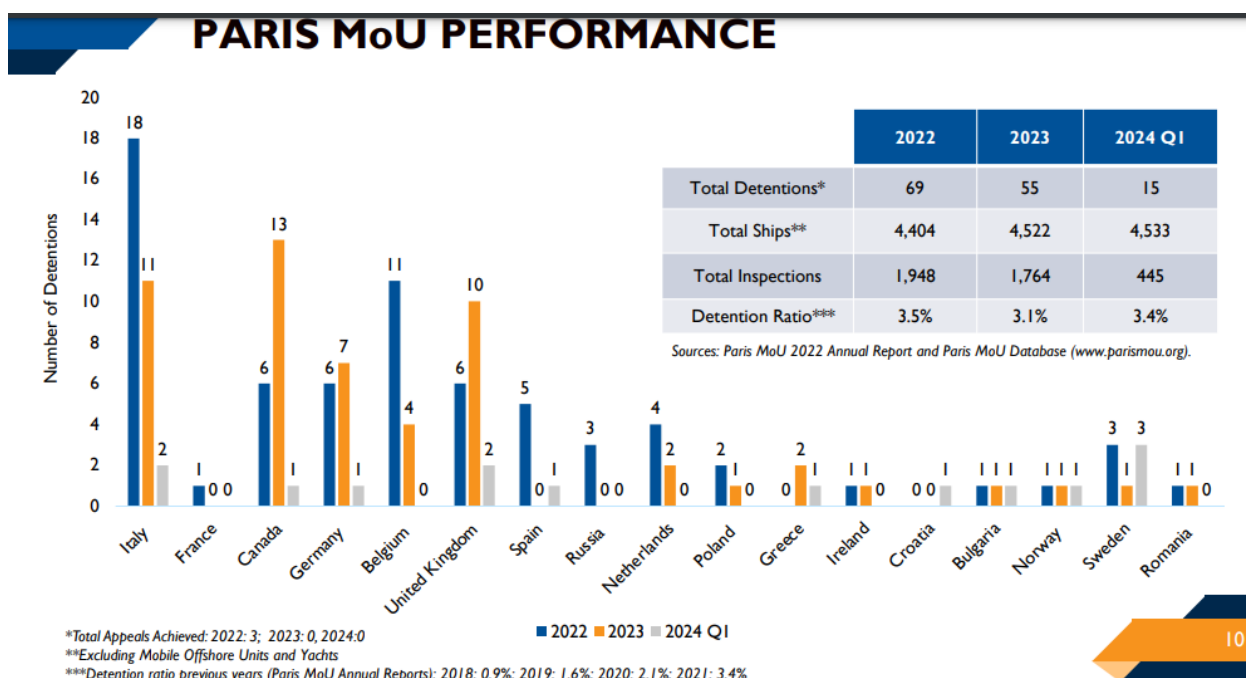


Рисунок 2 – Динаміка затримань суден у рамках Паризького меморандуму про взаєморозуміння (Paris MoU) за 2022–2024 рр. [6]

На відсоток затримання без сумніву впливає: його технічний стан, кваліфікація екіпажів, вік судна, постачання запчастин та короткостроковість стоянок у портах чи на рейдах [8].

Відповідальність за належне розв'язання завдань безпеки мореплавства покладається на весь командний склад судна, включаючи суднових механіків. З урахуванням зростання екологічних вимог та впровадження новітніх технологій на судах, вимоги до підготовки суднових механіків постійно зростають, що

обумовлює необхідність безперервного підвищення обсягу та рівня професійних знань і практичних навичок.

Deficiency and Detention Percentage by Ship Type

Ship Type	Number of Exams	Exams with Deficiencies	Number of Deficiencies	Percent of Exams with Deficiencies	Number of Detentions	Detention %
Bulk Carrier	2,187	462	1,139	21.12%	26	1.18%
Container Ship	1,338	297	705	22.19%	26	1.94%
General Dry Cargo	914	200	458	21.88%	22	2.40%
Passenger Ship	361	195	672	54.01%	2	0.55%
Refrigerated Cargo	87	37	102	42.52%	2	2.29%
Gas Carrier	674	68	137	10.08%	4	0.59%
Chemical Tanker	1,201	163	321	13.57%	6	0.49%
Oil Tanker	988	182	366	18.42%	6	0.60%
Other	528	119	269	22.53%	7	1.32%

Credit: USCG

Рисунок 3 – Частка виявлених недоліків і затримань за типами суден за результатами перевірок береговою охороною США [7]

Забезпечення якісної підготовки ускладнюється потребою виконання нестандартних функцій у змінних експлуатаційних умовах. Проблематика підготовки фахівців і контролю її якості загалом не має відрізнятися від вимог сучасної вищої освіти, однак професійна підготовка суднових механіків має низку особливостей. Це зумовлено необхідністю дотримання специфічних вимог, визначених міжнародними, національними та нормативно-правовими актами [3].

Експлуатаційна перевірка судна включає тестування аварійного обладнання та освітлення, перевірку працездатності систем пожежогасіння, дистанційних приводів зупинки палива, вентиляторів і водонепроникних дверей. Обов'язковими є протипожежні навчання екіпажу та оцінка знання аварійних процедур, що забезпечує готовність судна та екіпажу до надзвичайних ситуацій і відповідність міжнародним стандартам [1].

Отже вимоги від механіків згідно ПДНВ такі що повністю вимагають від них виконання своїх обов'язків, які максимально повинні забезпечувати якісне проходження PSC у портах відвідування різних країн світу.

Судновий механік забезпечує надійну та безпечну експлуатацію суднових машин, механізмів і обладнання, що впливають на безпеку судноплавства. Він несе відповідальність за технічне обслуговування, своєчасне усунення несправностей, енерго- та ресурсозбереження, а також за безпечне несення вахти. Механік координує роботи екіпажу та берегового персоналу з технічного обслуговування й ремонту, контролює споживання палива, подачу електроенергії та пари.

Забезпечується дотримання вимог охорони праці, протипожежної безпеки, охорони довкілля та норм міжнародних конвенцій (СОЛАС, МАРПОЛ, ПДНВ). Вахтовий механік є ключовою ланкою в системі «людина–машина», особливо за умов переходу до обслуговування "за станом" на суднах з великим строком експлуатації.

В умовах зростаючого ризику людського фактору, застосування формалізованої оцінки безпеки (FSA) підтверджує необхідність збереження (а в окремих випадках — посилення) планових графіків технічного обслуговування, особливо щодо критичних систем, відмова яких може призвести до виходу з ладу головної енергетичної установки або значних фінансових витрат.

Компетентність механіка має ґрунтуватися на професійній підготовці, практичному досвіді та розумінні сучасних технічних систем. До обов'язкових знань належать:

- конструкція й принципи дії головної та допоміжних установок;
- суднові системи автоматизації, електротехніка, електроніка;
- експлуатація суднових котлів, генераторів, перетворювачів;
- принципи несення вахти;
- вимоги ІМО, Регістру судноплавства України (або відповідного класифікаційного товариства);
- методи аварійного реагування, пожежогасіння та надання першої допомоги;
- англійська мова на рівні, достатньому для користування технічною документацією.

Згідно з Манільськими поправками до ПДНВ-78, для отримання диплома обов'язковим є практичний досвід несення машинної вахти не менше 6 місяців, а також володіння англійською мовою — що критично важливо в умовах змішаних екіпажів.

Серед виявлених недоліків підготовки — ухвалення рішень командним складом без належного аналізу, без урахування фізичної сутності процесів чи оцінки альтернатив. Сучасна практика та вимоги МКУБ вимагають від фахівця здатності не лише діяти за інструкціями, а й самостійно оцінювати ситуацію, обрати оптимальні рішення та адаптувати їх до умов експлуатації.

Ефективна підготовка майбутніх суднових механіків передбачає ґрунтовне оволодіння алгоритмами дій у нестандартних ситуаціях, які можуть виникнути в машинному відділенні, з урахуванням принципу «виходу в безпечний бік». Лише з набуттям достатнього практичного досвіду зменшується ймовірність помилкових рішень та пов'язаних з ними ризиків.

В останні часи спостерігається, що забезпечення повного 12-місячного практичного стажу в морі стає дедалі складнішим. Одним із рішень є розширення застосування тренажерних технологій та використання навчально-виробничих суден, навіть у каботажному плаванні. Сучасна тренажерна підготовка, особливо у поєднанні з ефективною теоретичною базою, дозволяє імітувати аварійні ситуації, перевіряти рівень знань та формувати стійкі практичні навички [4,9].

Позитивні результати демонструє кадетська програма, що реалізується у співпраці навчальних закладів із морськими компаніями. З метою мінімізації впливу «людського фактору» підготовка повинна постійно вдосконалюватися [8,9]:

- шляхом раціонального використання навчального часу;

оновленням змісту теоретичної підготовки з урахуванням сучасних технологій;

інтеграцією тренажерної підготовки в навчальний процес як основи для комплексного вирішення практичних і загальноосвітніх завдань;

посиленням контролю за проходженням плавальної практики;

формуванням навичок самостійного поповнення знань, особливо за індивідуальними навчальними планами;

використанням переваг дистанційного навчання, актуалізованого у зв'язку з пандемією COVID-19 та воєнним станом, з акцентом на цифрові технології та електронні засоби навчання.

Важливість підготовки фахівців посилюється пріоритетами Національної транспортної стратегії України до 2030 року серед яких, зокрема розвиток ефективної системи досліджень у галузі транспорту та впровадження заходів для підвищення рівня безпеки на морі. У цьому контексті важливого значення набувають створення умов для приєднання України до Паризького меморандуму про взаєморозуміння (Paris MoU), посилення державного контролю за безпекою мореплавства та охороною навколишнього середовища, а також удосконалення підготовки майбутніх фахівців відповідно до вимог конвенції СОЛАС, процедур контролю держави порту (PSC) і формування здатності своєчасно виявляти й усувати технічні недоліки суднового обладнання.

Висновки

Компетентність судових механіків є визначальним чинником технічної безпеки суден та успішного проходження процедур портового контролю (PSC). Високий рівень професійної підготовки екіпажу, зокрема знання вимог міжнародних конвенцій (СОЛАС, МАРПОЛ, ПДНВ), володіння англійською мовою, вміння діяти в аварійних ситуаціях та обслуговувати складні технічні системи, безпосередньо впливає на зниження аварійності та екологічних ризиків. Статистика PSC демонструє зв'язок між затриманнями суден та недостатньою кваліфікацією екіпажу, що актуалізує потребу в удосконаленні системи підготовки.

У сучасних умовах, коли повноцінна морська практика ускладнена, ключовими елементами ефективного навчання стають тренажерна підготовка, симуляція аварійних ситуацій, цифрові технології та співпраця з флотськими компаніями. Водночас професійна освіта повинна відповідати специфічним вимогам галузі та міжнародним стандартам. У Національній транспортній стратегії України до 2030 року передбачено інтеграцію таких підходів, зокрема шляхом приєднання до Paris MoU, що сприятиме підвищенню рівня безпеки судноплавства, охорони довкілля та якості підготовки морських фахівців.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Resolution A.1185(33) – Procedures for Port State Control, 2023 (Adopted on 6 December 2023).

2. Мельник О.М., Онищенко О.А., Парменова Д.Г. Методика організації самооцінки ефективності системи управління безпекою судноплавної компанії // Водний транспорт. Збірник наукових праць Державного університету інфра-

структури та технологій. –К.: ДУІТ, 2023. –Випуск 1(37). – С.154-160. DOI: doi.org/10.33298/2226-8553.2023.1.37.17.

3. Парменова Д.Г., Бондар С.А. Роль людського фактору в безпечній експлуатації суднових енергетичних установок // Матеріали науково-технічної конференції «Морський та річковий флот: експлуатація і ремонт», 20.03.2024 – 21.03.2024.– Одеса: НУ "ОМА", 2024. – С. 181 – 189.

4. Міжнародна конвенція про підготовку і дипломування моряків та несення вахти 1978 року, з поправками.

5. Paris MoU: веб-сайт. URL: <https://www.parismou.org>.

6. Paris MoU Annual Report or Quarterly Report 2024 (Q1): веб сайт Paris MoU. URL: <https://www.parismou.org>.

7. USCG Port State Control Annual Report: веб-сайт United States Coast Guard. URL: <https://www.dco.uscg.mil/Port-State-Control/>.

8. Guidelines on Maritime Education and Training, IMO: <https://www.imo.org/en/OurWork/HumanElement/Pages/Default.aspx>.

9. Кодекс з підготовки і дипломування моряків та несення вахти, з поправками (Додаток до Міжнародної конвенції про підготовку і дипломування моряків та несення вахти 1978 року).

Методи очищення нафтовмісних вод на судах: переваги, недоліки та перспективи розвитку

Проблема очищення нафтовмісних вод на морському транспорті є актуальною у зв'язку зі зростанням вимог до екологічної безпеки судноплавства. Нафтове забруднення справляє значний негативний вплив на морське середовище, завдаючи шкоди водним екосистемам, біорізноманіттю та створюючи довготривалі наслідки для прибережних зон. Це зумовлює необхідність удосконалення систем очищення та контролю за скидами нафтовмісних вод відповідно до міжнародних норм [1].

Метою дослідження є аналіз існуючих технологій очищення нафтовмісних вод на морському транспорті з урахуванням їх ефективності, техніко-економічних характеристик та відповідності міжнародним екологічним вимогам. Особливу увагу приділено визначенню переваг і недоліків окремих методів очищення, а також виявленню перспективних напрямів розвитку технологій для забезпечення екологічної безпеки судноплавства відповідно до стандартів MARPOL [2,3].

Методи очищення нафтовмісних вод класифікуються за принципом дії на механічні, фізико-хімічні, біологічні та мембранні. Механічні методи включають гравітаційні та відцентрові сепаратори, коалесцентні фільтри й забезпечують первинне розділення води й нафтопродуктів. Фізико-хімічні методи (флотація, коагуляція, флокуляція, адсорбція) спрямовані на видалення емульгованих і розчинених домішок. Біологічні методи базуються на здатності мікроорганізмів до біодеградації вуглеводнів (біофільтрація, аеробне й анаеробне очищення). Мембранні технології, зокрема ультрафільтрація, нанофільтрація та зворотний осмос, забезпечують високий ступінь очищення, але потребують стабільних умов експлуатації та значних енерговитрат.

Оцінювання ефективності методів очищення нафтовмісних вод здійснюється за такими ключовими критеріями [2,3,4]: ступінь видалення нафтопродуктів, енергоспоживання, витрати на обслуговування, габарітний розмір обладнання та відповідність міжнародним екологічним вимогам. Аналіз показує, що мембранні й хімічні методи мають високу ефективність очищення, але відзначаються значними енерговитратами та потребують регулярного технічного обслуговування. Фізичні методи, зокрема гравітаційні та коалесцентні, прості у використанні та малозатратні, однак менш ефективні при наявності дрібнодисперсних емульгованих забруднювачів. Біологічні технології є екологічно доцільними, але мають обмежену швидкість очищення та вимагають стабільних умов.

У таблиці нижче наведено порівняння основних методів очищення нафтовмісних вод за критеріями ефективності.

Таблиця 1 – Порівняння основних методів очищення нафтовмісних вод за критеріями ефективності

Метод очищення	Ступінь вида-лення нафти	Енерго-споживання	Витрати на обслугову-вання	Площа, необхідна для встано-влення обладнання	Відповід-ність стан-дартам щодо якості очи-щення
Гравітаційний	Низький	Низьке	Низькі	Низькі	Частково
Коалесцентний	Середній	Низьке	Низькі	Низькі	Висока
Відцентровий	Високий	Високе	Середні	Середні	Висока
Мембранний	Високий	Високе	Високі	Високі	Висока
Адсорбційний	Високий	Низьке	Високі (заміна матеріалу)	Середні	Висока
Коагуляція/ Флокуля-ція	Середній/ Високий	Середнє	Середні	Середні	Висока
Біологічне очищення	Середній	Низьке	Середні	Високі	Висока

Аналіз основних методів очищення нафтовмісних вод свідчить, що кожна технологія має свої переваги та обмеження, які слід враховувати при виборі системи для конкретних умов експлуатації судна. Механічні методи, зокрема гравітаційні та коалесцентні сепаратори, вирізняються простотою конструкції, низькими експлуатаційними витратами та компактністю, однак мають обмежену ефективність при видаленні емульгованих нафтопродуктів і вимагають додаткових етапів очищення для досягнення нормативних показників [4].

Фізико-хімічні методи забезпечують високий ступінь очищення завдяки використанню коагулянтів, флокулянтів або адсорбентів, що дозволяє ефективно видаляти як вільні, так і розчинені вуглеводні. Проте ці методи потребують точного дозування реагентів, контролю за процесом та утилізації шламів, що ускладнює експлуатацію. Біологічні методи є екологічно безпечними та енергоефективними, але характеризуються тривалим часом очищення і чутливістю до змін складу лляльних вод, що обмежує їх застосування на морському транспорті. Мембранні технології, зокрема ультрафільтрація та зворотний осмос, демонструють найвищу ефективність очищення, дозволяючи досягти концентрацій нафтопродуктів <5 ppm, проте потребують значних енерговитрат, частого обслуговування та мають високу вартість реалізації. Таким чином, вибір оптимального методу очищення має базуватись на комплексній оцінці техніко-економічних і екологічних параметрів.

На сьогодні в судновій практиці застосовуються комбіновані технології очищення нафтовмісних вод, що базуються на послідовному використанні механічних, фізико-хімічних і, у деяких випадках, біологічних методів [4,5]. Найбільш розповсюдженими є установки, які поєднують гравітаційне відокремлення з коалесцентною та абсорбційною/адсорбційною фільтрацією (наприклад, системи RWO SKIT, JOWA, Hamworthy, DVZ та інші). Такі установки забезпечують достатню ефективність для відповідності міжнародним стандартам (MARPOL), проте характеризуються високими витратами на обслуговування, складністю конструкцій та потребою в регулярній заміні фільтруючих матеріалів. Високий рівень очищення демонструють також відцен-

трові системи (наприклад, Alfa Laval PureBilge, Westfalia BilgeMaster), однак їх недоліками є висока вартість і енергоємність. Сучасні мембранні установки (наприклад, BMS) мають найвищий ступінь очищення, автоматизоване управління та повну відповідність екологічним нормам, але потребують значних капіталовкладень і ретельного технічного догляду.

Подальший розвиток технологій очищення нафтовмісних вод пов'язаний із впровадженням автоматизованих систем з дистанційним моніторингом, що дозволить в режимі реального часу контролювати параметри очищення та забезпечити адаптивне керування процесами. Перспективним є використання новітніх фільтраційних матеріалів з високою селективністю та ресурсом, що підвищить ефективність коалесцентних і адсорбційних блоків. Енергоефективні мембранні рішення з покращеною селективністю та здатністю до самовідновлення дозволять знизити витрати при збереженні високого ступеня очищення. Також актуальними є нанотехнології та каталітичні системи, які забезпечують глибоке розщеплення вуглеводнів на нетоксичні компоненти, та біотехнологічні підходи, зокрема біоремедіація, як екологічно орієнтовані альтернативи для додаткового очищення або утилізації залишкових забруднювачів. У перспективі можлива інтеграція цих рішень у модульні багатофункціональні установки нового покоління.

Висновки

Очищення нафтовмісних вод на морському транспорті залишається критично важливою складовою забезпечення екологічної безпеки судноплавства. Існуючі технології очищення класифікуються на механічні, фізико-хімічні, біологічні та мембранні методи, кожен із яких має свої технічні особливості, переваги та обмеження. Найвищу ефективність демонструють мембранні та комбіновані системи, що поєднують кілька способів очищення, однак вони потребують значних витрат на обслуговування та технічну підтримку. При цьому фізичні методи є простими та економічними, але недостатньо ефективними при видаленні емульгованих забруднювачів, а біологічні — екологічно безпечними, проте чутливими до зовнішніх факторів.

Подальший розвиток технологій має ґрунтуватися на впровадженні автоматизованих систем з дистанційним моніторингом, використанні інноваційних фільтраційних матеріалів, удосконаленні мембранних рішень із зниженим енергоспоживанням, а також застосуванні нанотехнологій, каталітичних процесів і біоремедіації. Інтеграція таких інноваційних рішень у багатофункціональні модульні установки нового покоління дозволить значно підвищити ефективність очищення, зменшити технічні та енергетичні витрати, а також забезпечити дотримання міжнародних екологічних стандартів у галузі морського транспорту.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. International Maritime Organization: веб-сайт. URL: <https://www.imo.org/en/>
2. MARPOL Consolidated Edition 2022. Articles, Protocols, Annexes and unified interpretations of the International Convention for the Prevention of Pollution

from Ships, 1973, as modified by the 1978 and 1997 Protocols Incorporating all Amendments in Force on 1 November 2022. Seventh Edition, International Maritime Organization. London, 2022. – 401 p.

3. Resolution MEPC.107(49) – Revised Guidelines and Specifications for Pollution Prevention Equipment for Machinery Space Bilges of Ships (Adopted on 18 July 2003), as amended by Resolution MEPC.285(70) (Adopted on 28 October 2016).

4. Aini Amran, N., & Nor Adibah Mustapha, S. Oil–Water Separation Techniques for Bilge Water Treatment. IntechOpen. Submitted: 18 December 2019 Reviewed: 29 January 2020 Published: 26 October 2020. DOI: <https://doi.org/10.5772/intechopen.91409>.

5. Oleg A. Onishchenko, Oleksiy M. Melnyk, Vladimir A. Yarovenko, Nadiia I. Aleksandrovska, Serhii V. Kurdiuk, Dana G. Parmenova, Oleksandr O. Storchak Study of efficiency and advancement of marine engine oil purification and filtration technologies // Vol. 31 No. 4 (2023): Journal of Chemistry and Technologies. – PP. 762-774. DOI: <https://doi.org/10.15421/jchemtech.v31i4.285643>.

Попередження пожеж у морських контейнерах та особливості їх гасіння на судах

Вступ. Проблема запобігання пожежам і вибухам у судах є пріоритетним завданням, яке стоїть перед морською світовою спільнотою. Внаслідок пожеж вантажу за останні 5 років загинуло 64 судна, при цьому контейнерні перевезення в транспортній галузі займають друге місце за обсягом перевезень [3].

У контейнерах перевозять різні вантажі, зокрема небезпечні.

У доповіді пропонується короткий аналіз попередження пожеж та причин їх виникнення у контейнерах при перевезенні на морських судах, наведено основні організаційні заходи, технічні засоби виявлення та гасіння пожежі у контейнерах, викладено загальні принципи боротьби з такими пожежами.

Актуальність теми Значний відсоток пожеж у контейнерах – пожежі на судах-контейнеровозах, де у трюмах та на палубі суден зосереджується величезна кількість контейнерів. За даними Всесвітньої Ради Судноплавства / World Shipping Council (WSC) у 2011, 2012 та 2013 в середньому за рік внаслідок пожеж губилося 733 контейнери [4].

16 серйозних пожеж на контейнеровозах за останні 5 років вказують на проблему з вогнестійкістю [5].

Постановка завдання. Провести короткий аналіз запобігання пожежам контейнерів, його локалізації та особливостям гасіння таких пожеж на судах.

Виклад основного матеріалу.

Вантажні пожежі на контейнеровозах завдають серйозної шкоди судну, ушкоджують та втрачають вантажі, ставлять під загрозу життя екіпажу [3].

Основні причини виникнення пожеж у контейнерах.

Більшість пожеж у морських контейнерах виникають внаслідок перевезення безпечних вантажів, які перевозяться у невідповідних контейнерах. До найбільш небезпечних вантажів, що призводять до займання транспортних контейнерів, відносяться:

- вибухові речовини, включаючи феєрверки;
- гази – наприклад, медичний кисень;
- легкозаймисті рідини; вантажі, здатні до саморозігріву, самозаймання, виділення горючих газів;
- окиснювачі;
- літієві та інші батареї.

Усі ці вантажі можна безпечно транспортувати, якщо вони поміщені у відповідний транспортний контейнер та повідомлено усі відповідні органи про характер вантажу.

За оцінками страховиків, 5% транспортних контейнерів маркуються неправильно, оскільки відправники вантажу намагаються уникнути вищих зборів за відправку небезпечних матеріалів [5].

Є й інші причини виникнення пожеж у контейнерах:

- вантажі, з різними хімічними властивостями, здатні вступати один з одним до хімічних реакцій, які розміщені в одному контейнері;
- порушення цілісності упаковок та ємностей, що містять вибухові, легкозаймисті, реактивні речовини, рідини;
- наявність маслянистих або просочених легкозаймистими рідинами матеріалів;
- неправильне декларування вантажів, їх маркування, пакування та транспортування;
- недотримання правил утримання вантажів у контейнері.

Судна контейнеровози перевозять величезну кількість контейнерів. Чим більше контейнерів на судні, тим вищий ризик їх займання. Крім того, відправники вантажу економлять на фрахтових ставках і заповнюють контейнери великою кількістю різних за характеристикою товаром.

Методи попередження виникнення пожеж в контейнерах:

- *якісне дотримання повсякденної організації судової служби;*
- *суворе дотримання Міжнародного кодексу морського перевезення небезпечних вантажів (IMDG).* Вантажовідправники, які не дотримуються правил, викладених у кодексі, можуть зіткнутися з: відхиленням відвантаження у порту; затримкою; цивільними штрафами; інцидентами із вантажами при перевезенні;
 - *наявність на судні оперативних та оперативно-тактичних планів та карт по боротьбі з пожежею; аварійних карток для суден, що перевозять небезпечні вантажі - Керівництва ABK / EMS Guide Emergency response procedures for ships carrying dangerous goods; Керівництва з надання першої медичної допомоги для використання у разі інцидентів з небезпечними вантажами..*
 - *правильне маркування та наявність необхідних документів* - товари мають різні вимоги до маркування та документації. різні товари мають різні вимоги до маркування та документації. Все залежить від того, ким вони є, куди йдуть, а також правил місця призначення;
 - *постійне поглиблене навчання екіпажу:* навчання, інструктажі та тренування;
 - *відповідна упаковка* – вогнестійкі матеріали та вогнестійкі піддони знижують ризик займання контейнера;
 - *Вантажовідправник повинен надати перевізнику:*
 - свідоцтво / декларацію про те, що вантаж належним чином упакований та маркований, знаходиться у придатному для перевезення стані;
 - у документах, щодо морського перевезення шкідливих речовин, та при маркуванні вантажного місця, вказують правильну технічну назву кожної речовини та позначають словами «забруднювач моря». Фарба маркування має бути стійкою до морської води мінімум 3 місяці;
 - інструкцію за методами та засобами зачистки тари, палуби, інших приміщень при пошкодженні упаковки зі шкідливими речовинами;
 - інструкцію, щодо проведення відбору проб у вантажних трюмах та аналізу лляльних вод трюмів з необхідним обладнанням та препаратами;

— рекомендації щодо гасіння пожежі вантажу, що перевозиться [1,2,6,7].

Основні методи виявлення пожежі у контейнерах:

- стаціонарної системи сигналізації виявлення диму та пожежі (детектори диму; температурні зонди / датчики);
- вахтова та дозорна служба.

Основні засоби гасіння пожежі у контейнерах:

- стаціонарні системи пожежогасіння;
- переносні та пересувні вогнегасники, переносні пінні комплекти.

Основні процедури у разі виникнення та гасіння пожежі в контейнері на палубі судна:

1. Сигнал загально суднової тривоги. По трансляції надається інформація щодо пожежі. Екіпаж виконує обов'язки боротьби з пожежею.

2. Члени групи розвідки перевіряють бирки контейнерів та вантажну декларацію встановлюють якийсь вантаж у контейнері, де пожежа, у сусідніх контейнерах, та які засоби можна застосовувати для гасіння пожежі (застосовують лише дозволені засоби).

3. Озброюються 3-4 рукавні лінії. Подають воду. Палаючий і сусідні контейнери охолоджують дрібно розпилим струменем води. Це обмежує розвиток пожежі. Ствольний тримається на відстані від контейнера, що горить, щоб не отримати опіків парою (утворюється при пожежі).

4. За вантажною декларацією та бирками контейнерів встановили характеристики вантажу та засоби його гасіння. Наприклад, для цього випадку вогнегасна речовина – вода.

5. Пожежні пробивають отвір розміром діаметром 2-3 см у верхній частині однієї зі стінок контейнера, вставляють стовбур в отвір та подають воду (якщо це можна). Ствольний повністю заповнює контейнер водою, навіть якщо в цьому немає потреби.

6. Якщо в контейнері знаходиться вантаж, який може бути пошкоджений водою, через отвір у контейнер вводиться інертний газ {зазвичай вуглекислий газ чи хладон (фреон)}. Спочатку контейнер подають вміст не менше шести переносних вуглекислотних вогнегасників ємністю 6÷8 кг, потім отвір заглушують і вводять додаткову кількість вуглекислого газу щогодини, доки пожежа не буде погашена.

7. Одночасно оглядають приміщення під палубою і за необхідності роблять попередні процедури.

8. Після проведення процедур гасіння потрібно кілька годин контролювати обстановку, при необхідності додатково подавати вогнегасну речовину. Для охолодження зовнішніх поверхонь і запобігання прогоранню контейнера використовують пожежні стволи до тих пір, поки в нього не буде подано необхідну кількість вогнегасної речовини.

Для гасіння пожежі в 40 футовому контейнері необхідно:

- вуглекислотних вогнегасників ОУ-8 – 6 балонів, ОУ-5 – 10 балонів;
- вогнегасників із фреоном ємністю 9 літрів – 2 балони.

Якщо пожежа повністю загашена, відкриття контейнера та його огляд потріб-

но відкласти до приходу в порт. Пожежа вважається локалізованою, якщо вона не вийшла за межі контейнера.

В іншому випадку, коли ознаки пожежі ще присутні і вони не значні, контейнер потрібно розкрити (маючи наготові 2-3 пожежні стовбури).

Контейнер розкривають та оглядають. Якщо виявлено ознаки пожежі, вміст контейнера проливають водою. Цю процедуру можна відкласти до вивантаження контейнера в порту, якщо очевидно, що пожежа повністю загашена [1,2,3,4,5,6,7,8,9.,10,11].

Основні процедури у разі виникнення та гасіння пожежі в контейнері, встановленому в трюмі.

Якщо при початковому огляді у трюмі з контейнерами виявлено наявність великої кількості диму та тепла при видимості менше 15 м, то дії групи розвідки будуть небезпечними та малоефективними. Трюм слід герметизувати та наповнити інертним газом (вуглекислим, фреоном). Процедури локалізації пожежі, запобігання його поширенню, гасіння у трюмі та вентиляція аналогічні діям у вантажному трюмі суховантажних суден об'ємним методом. При розвантаженні контейнера в порту необхідно підготуватися до гасіння пожежі в ньому.

Якщо видимість у трюмі достатня, то процедури гасіння аналогічні гасінню контейнера на палубі з деякими додаванням:

1. Сигнал системи виявлення пожежі вказує на виникнення диму в нижній частині трюму. Сигнал загально суднової тривоги. Екіпаж виконує обов'язки тривоги.

2. При діях у трюмі необхідно обов'язково використовувати пожежне спорядження та ізолюючі дихальні апарати.

3. За сигналом тривоги група розвідки відкриває аварійний вихідний люк та встановлює, що температура не підвищилася, але з'явилася невелика кількість диму. Видимість у трюмі хороша (15 м).

4. Командир групи розвідки дозволяє доступ до трюму. Одночасно озброюються 3-4 рукавні лінії. Два члени екіпажу у захисному одязі з дихальними апаратами, сигнальними тросами та переносними ліхтарями, які знають розміщення контейнерів на судні, входять до трюму.

5. Досягши нижнього рівня, вони бачать невеликий дим, відзначають відсутність високої температури та вирішують просуватися далі. Їм подають пожежний стовбур. Люди, що знаходяться на палубі, готові при необхідності подати додаткові стовбури. Члени групи розвідки, що спустилися в трюм, знаходять контейнер, в якому виникла пожежа. Подають воду. Палаючий і сусідні контейнери охолоджують дрібно розпилим струменем води.

6. Надалі група розвідки діє згідно з пунктами 5 – 6 (дивися процедури гасіння пожежі в контейнері на палубі судна), а потім контейнер, у якому пожежа та сусідні контейнери оглядають для виявлення розпечених ділянок і якщо вони знайдені, контейнер знову заповнюють водою. У трюм подають другий пожежний стовбур для охолодження розпечених поверхонь сусідніх контейнерів. Коли встановлюють, що пожежа згашена, пожежні стовбури видаляють із трюму, трюм закривають.

7. Після проведення процедур гасіння потрібно кілька годин контролювати обстановку, при необхідності додатково подавати вогнегасну речовину.

Не слід намагатися ліквідувати залишки пожежі у контейнерах до прибуття судна до порту. При розвантаженні контейнерів у порту не слід входити до трюму до перевірки наявності кисню у повітрі, оскільки якщо при гасінні пожежі використовували систему заповнення трюму вуглекислим газом, то під час вивантаження контейнерів у трюмі може підтримуватись інертна атмосфера.

Для боротьби з можливим загорянням при розтині контейнерів на причалі мають бути підготовлені водяні стовбури [11].

При гасінні пожеж у контейнерах з небезпечним вантажем необхідно враховувати рекомендації Міжнародного морського кодексу з перевезення небезпечних вантажів (IMDG-CODE), національних правил, керуватись рекомендаціями, зазначеними у «Керівництві аварійними картками» - АВК, а під час займання вантажу – відповідною аварійною картою.

Гасіння речовин, що самозаймаються (рибне борошно, рибні відходи, промаслені ганчірки тощо), повинно проводитися інертними газами, водяною парою і високократною піною. В особливо важких випадках, коли неможливо усунути пожежу за допомогою наявних на судні вогнегасних засобів, слід затопити трюм [1,2,3,4,5,6,7,8,9.,10,11].

Висновок.

1. У транспортній галузі друге місце за обсягом перевезень займають контейнерні перевезення.

2. Значний відсоток пожеж у контейнерах – пожежі на суднах-контейнеровозах, де у трюмах та на палубі суден зосереджується величезна кількість контейнерів.

3. Більшість пожеж у морських контейнерах виникає внаслідок порушень правил Міжнародної конвенції про охорону людського життя на морі, 1974 (SOLAS 1974) з поправками та Міжнародного кодексу морського перевезення небезпечних вантажів (MSC.122(75)) з поправками.

4. Величезне значення в безпечному перевезенні вантажів у контейнерах залежить від: чіткої протипожежної організації на судні, суворого виконання правил перевезення, якісного несення вахти та дозорної служби, правильної упаковки та маркування вантажів, а також подання перевізнику відправником вантажу потрібних документів на вантаж.

5. Постійне поглиблене навчання, інструктажі та тренування членів екіпажу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Міжнародна конвенція про охорону людського життя на морі 1974 з поправками. Частина В – запобігання пожежі та вибуху. Глава VII - Перевезення небезпечних вантажів. Міністерство інфраструктури: веб-сайт. URL : <https://docs.google.com/viewer?embedded=true&url=https://mtu.gov.ua/files/%D0%86MO%20act%208%2007%2018.Docx>.

- 150

Використання штучного інтелекту та дронів у морській безпеці

Сучасні технології стрімко розвиваються і їх впровадження в різні галузі забезпечення безпеки відкриває нові можливості для підвищення ефективності та оперативності реагування. Морська безпека є однією з ключових сфер, де інтеграція штучного інтелекту (ШІ) та безпілотних літальних апаратів (дронів) може значно покращити процеси моніторингу, аналізу даних та прийняття рішень. Ця доповідь розглядає основні напрямки застосування ШІ та дронів у забезпеченні безпеки на морі, їх переваги, виклики та перспективи розвитку.

Штучний інтелект знаходить широке застосування у різних аспектах забезпечення морської безпеки. Це може бути аналіз даних та прогнозування загроз. Алгоритми машинного навчання здатні обробляти великі обсяги даних, що надходять від різних сенсорів, радарів і супутників, що дозволяє виявляти потенційні загрози та аномалії. Інтелектуальні системи допомагають оперативно аналізувати ситуацію під час аварійних або кризових подій, пропонуючи оптимальні варіанти дій. Таку функцію можна визначити як надання допомоги в прийнятті рішень.

Також, використання ШІ дозволяє покращити навігацію, зменшити ризик зіткнень та аварій, аналізуючи інформацію з AIS, ECDIS та інших систем, тобто виконувати оптимізацію маршрутів та проводити моніторинг суден.

Сучасні події у світі підштовхують чисельні галузі до застосування робототехніки, яка швидко розвивається. Окремими напрямками в даному випадку є повітряні та морські дрони.

Дрони можуть стати незамінним інструментом для моніторингу та забезпечення безпеки на морі. Безпілотні літальні апарати здатні забезпечити оперативний огляд великих морських просторів, що дозволить своєчасно виявляти порушення, аварійні ситуації або екологічні загрози; можуть оперативно доставляти зображення та дані про місце події, сприяючи ефективному пошуку та рятуванню загублених суден або людей у небезпеці. Завдяки високоточним сенсорам дрони здатні виявляти витoki пального, забруднення води або інші небезпеки, що впливають на екологічну ситуацію в морських регіонах. Морські дрони можна пристосувати для забору проб забрудненої морської води та повітря для подальшого аналізу.

Таким чином, об'єднання можливостей штучного інтелекту та дронів створює синергію, що зможе значно підвищити рівень безпеки по наступних напрямках:

- Синхронізація даних: дрони, обладнані різноманітними сенсорами, збирають дані, які ШІ аналізує для оперативного прийняття рішень та прогнозування загроз.
- Автономні операції: розробка автономних систем, де дрони самостійно виконують завдання моніторингу і реагують на зміни в реальному часі, є одним із перспективних напрямків розвитку.

- Кібербезпека: забезпечення захисту інформаційних систем, які керують роботою дронів та обробляють дані за допомогою ШІ, є важливим аспектом у протидії кібератакам [1].
- Використання дронів у морській сфері відкриває нові можливості для моніторингу, розвідки та оборони, проте водночас створює низку потенційних загроз, попри численні переваги, інтеграція ШІ та дронів у морську безпеку стикається з низкою викликів:
- Забезпечення надійності обладнання, стабільного зв'язку та точності алгоритмів у складних погодних та морських умовах. Системи управління дронами можуть стати мішенню для кібератак, глушіння сигналів або спуфінгу, що призведе до втрати контролю над дроном і потенційних аварій (наприклад, зіткнень із суднами чи пошкодження морської інфраструктури).
- Дрони можуть бути озброєними і використані для атак на військові судна, порти, нафтопереробні заводи чи інші об'єкти критичної інфраструктури, що збільшує ризик ескалації конфліктів і завдає значних економічних та соціальних збитків.
- У морському середовищі застосування електронної протидії може змусити дрони діяти непередбачувано або відключитися, що створює ризики для безпеки як з боку їхнього використання, так і з боку протидії ними.
- Непередбачувані збої або аварії з участю дронів можуть спричинити забруднення вод, пошкодження морських екосистем або аварійне витікання небезпечних речовин з пошкоджених об'єктів.
- Необхідність розробки єдиних міжнародних стандартів для використання автономних систем у морському просторі. Недосконала нормативна база і відсутність єдиних стандартів для експлуатації дронів у морських умовах ускладнюють контроль за їх використанням, що може призвести до зловживань та порушення безпеки морського простору.
- Використання технологій збору та аналізу даних вимагає ретельного врегулювання з метою захисту прав осіб і збереження конфіденційності інформації.

Отже, незважаючи на значні переваги, застосування дронів у морі вимагає ретельної інтеграції заходів кібербезпеки, удосконалення технічних рішень і формування чітких правових норм для мінімізації ризиків і забезпечення безпеки як військової, так і цивільної сфери [2].

Висновки

Використання штучного інтелекту та дронів у морській безпеці відкриває нові горизонти для оперативного реагування на загрози, оптимізації процесів моніторингу та підвищення ефективності пошуково-рятувальних операцій. Поєднання цих технологій дозволяє створити інтегровані системи, здатні передбачати та нейтралізувати потенційні ризики. Проте, як ми бачимо, подальший розвиток вимагає вирішення технічних, правових та етичних викликів, що забезпечить безпечне та ефективне застосування інновацій у морській галузі.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Когут Ю. І. Штучний інтелект і безпека: практичний посібник – Київ: Консалтингова компанія «СІДІКОН»; ВД Дакор, 2024. – 294 с.
2. "Автономні військові дрони – це вже не фантастика". NATO Review, 28 липня 2017.

СУЧАСНІ ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ В ОСВІТІ ТА ІНШОМОВНА ПІДГОТОВКА СУДНОВИХ ІНЖЕНЕРІВ

УДК 811.111.37

Нікуліна О.Л.

Національний університет «Одеська морська академія»

The Unit Structure of the Textbook “ English for Marine Engineers”

In the following article the scheme of a textbook is given with the examples of tasks that are studied in the classroom. The textbook embraces 12 Units, homogeneous in structure. Each Unit comprises 10-11 pages with the references given in the end, so the whole textbook consists of around 120 pages. All the structure of the unit can be divided into three main parts: pre-reading tasks, the original text from the maritime periodic published sources and after-reading tasks and activities.

In the first part – Pre-reading tasks, a list of the terminological collocations from the Text is given both in English and the Ukrainian translation, so that the cadets will study these terms before starting reading the text of the article. In this way they should be ready to comprehend the plot of the article. This list can also be used during the reading as reference material, e. g.: *dual fuel engine* – *двигун, працюючий на двох видах палива*, *re-liquefaction plant* – *установка повторного зрідження*, *LNG carrier* - *газовоз*, etc. all in all around 30-35 entries to each unit.

In the second part the original text is given from MER (Marine Engineering) journal is given for reading and further discussion. The topics of the articles texts reflect the professional marine engineering themes, e.g.:

STEAM TURBINE PLANT FOR LNG TANKERS

One environmental change for LNG carriers in recent years has been the rapid increase in propulsion plant energy saving, attributed to the increase in the price of crude oil. As a result a number of alternative propulsion systems have emerged including an advanced steam turbine

The text usually covers 2-2,5 pages with figures and graphs.

In the third part – After reading tasks and activities – six to seven exercises are given so that the cadets can check their comprehension of the article and activate the terminology and speaking habits.

Ex.1. Match the words that go together. Here the cadets should match the beginning of the phrase from the left column with its ending in the right column, e.g.1. dual fuel – f) engine, 2. LNG – a)carrier, 3. heavy\ crude - oil, etc.

Ex. II. Fill in the missing words from the list below. All of the sentences are taken from the article, so the cadets may find the missing expressions from the text, or check their memory and do that individually. E.g. 1. One environmental change for _____ in recent years has been the rapid increase in propulsion plant energy saving.- k) LNG carriers, 2. As well as conventional steam turbine ships, the DFE (_____) ship with an electric propulsion motor has been introduced. – d) dual fuel engine, etc.

Ex. III. For questions 1-10 choose the correct answer A,B,C,D. This exercise is typical multiple choice selection, usually suggested in the Blue Book for self-checking. e.g. 1. The brushless AC generator is composed of the following: A. generator and AC exciter. B. AC exciter and rotating rectifier, C. rectifier and sub-exciter, D all of the above.

Ex. IV. Match the words a-p with their definitions 1-16. E.g. emission – smoke or vapor from the funnel that contain unwanted impurities, like sulphur, etc. ; generator – an electric machine that produces alternating current.

Ex.V. questions for group discussion. This communicative exercise helps the cadets to get ready to communicate with each other on the basis of information that they got from the article.

e.g. 1. What has been the environmental change for LNG carriers in recent years?

2. What type of engines are DFE and DRL?

3. What is the idea of the UST?, etc.

Ex.VI. Write a summary of the article using the suggested beginnings of the paragraphs below. e.g. As well as conventional steam turbine ships, the DFE and the DRL ships.

Tsynova M.V., Osmolovskyi A.
National University "Odesa Maritime Academy"

Pirates at sea

Currently, the world community requires solutions to a large number of global problems. One of these problems, which appeared in the IV-III century BC, is piracy.

Beginning my report, first of all, I would like to stop on the concept of piracy itself. The definition of the concept of "piracy" is contained in Article 101 of the UN Convention on the Law of the Sea of 1982. To put it simply, piracy is a crime consisting of the illegal seizure, robbery or sinking of merchant, sea or river vessels, as well as property on board the vessel. In most cases, as practice shows, pirates are not even aimed at seizing cargo, but at seizing crew members for money.

I believe that piracy is a huge threat to the security of both Ukrainian and foreign vessels, their crew members and passengers, and also causes great harm to international relations.

I will not provide statistics on pirate attacks today, because it will not be complete anyway, since this data is formed on the basis of information officially provided by the ship owners. Therefore, their reports are only part of the information about piracy that is committed in real life at sea. First of all, this is due to the fact that ship owners usually try to solve the problem themselves - to pay the pirates a ransom, so as not to disclose the incident and not to lose money that can be received for the transportation of cargo under normal conditions without any incidents.

The main areas of pirate activity are in strategically important sea passages and on the coasts of developing countries

1. The Gulf of Aden and the shore of Somalia is one of the most famous pirate regions. Here, pirates attack large merchant ships, tankers and even warships. One of the reasons for this is the great poverty of the local population. I also want to say that Somali pirates are the most dangerous pirates, because these are groups armed with modern weapons, they use modern satellite navigation and communications. The goal of Somali pirates is to seize a ship and hostages and extort ransom for them.

2. The Gulf of Guinea (West Africa) is an area with a high concentration of oil fields. Pirates here most often attack oil tankers and kidnap the crew for ransom.

3. Southeast Asia (Strait of Malacca, Indonesia, Philippines) - here there are not only organized pirate groups, but also individual criminal gangs that attack fishing and cargo vessels for the crew's valuables, part of the cargo, and the ship's cash register.

4. The Caribbean and Latin America - piracy is not very developed here, but attacks do happen, especially off the coast of Venezuela, Honduras and Haiti. Pirates in this region often attack small merchant ships, tourist yachts and fishing boats.

My thoughts on how to protect a ship from pirates and how to prevent an attack:

- in my opinion, first of all, every sailor should know the regions where pirates operate;

- be attentive. During the passage of dangerous areas, constant surveillance should be organized on the deck. In the best case, armed guards are needed, but this is very expensive;

- at least on board there should be means against pirates: a nozzle, barbed wire, go to the safety room. Also, pick up maximum speed and maneuver.

Actions of the crew upon seeing pirates

- upon seeing pirates, inform the nearest coastal security service, military ships, send an SOS signal;

- block the pirates from getting on the ship in all possible ways;

- each crew member should go promptly but without panic to a safety room.

Summary: piracy is a global problem that requires a comprehensive solution.

REFERENCES

1. https://www.un.org/depts/los/convention_agreements/texts/unclos/unclos_e.pdf
2. <https://uk.m.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D1%96%D1%80%D0%B0%D1%82%D1%81%D1%82%D0%B2%D0%BE>
3. <https://www.smartraveller.gov.au/before-you-go/safety/piracy>
4. <https://maritime-zone.com/ru/news/view/zashhita-sudna-ot-piratov-kak-predotvratit-ataku>
5. <https://www.quora.com/What-are-some-ways-to-defend-against-pirates-if-you-are-in-command-of-a-merchant-ship-and-have-no-weapons-on-board>

Цинова М.В., Кравець Г.Б., Кашуба М.В.
НУ «ОМА», НУ «ОМА», ОНУ ім. І.І. Мечникова

Застосування інтерактивних технологій для розвитку наукових навичок у контексті дистанційного навчання

Інтерактивні технології стають дедалі популярнішими у дистанційному навчанні, забезпечуючи ефективне засвоєння знань, розвиток критичного мислення та активну участь учнів. Вони сприяють взаємодії з навчальним матеріалом і іншими учасниками, що важливо для формування наукових компетенцій. О. Цюняк зазначає, що інтерактивні методи дозволяють індивідуалізувати навчання і розвивати професійні навички майбутніх педагогів, особливо під час пандемії. Використання цифрових технологій, таких як онлайн-платформи та інтерактивні ресурси, допомагає глибше залучати студентів до навчального процесу, що важливо для розвитку їхніх компетенцій. Дослідники О. Zadorina та інші вказують на потенціал штучного інтелекту для кардинальних змін в освітніх підходах і організації навчання.

Отже, інтерактивні технології є ефективним інструментом для формування наукових компетенцій, оскільки сприяють розвитку критичного мислення, творчого підходу до розв'язання наукових завдань і покращують взаємодію між здобувачами освіти та викладачами. Вони не лише поглиблюють розуміння навчального матеріалу, але й допомагають набувати необхідних навичок для успішної кар'єри в науково-педагогічній сфері, готуючи майбутніх фахівців до роботи в умовах постійних змін і технологічних інновацій.

Інтерактивні підходи в освіті сприяють розвитку дослідницьких навичок у здобувачів, дозволяючи їм вивчати науковий метод через експерименти у віртуальних лабораторіях, аналізувати дані, формулювати висновки і ставити наукові запитання. Завдяки цьому вдосконалюється критичне мислення через аналіз інформації, оцінку її вірогідності і виявлення логічних помилок. Комунікаційні та колаборативні навички розвиваються через спільну роботу в онлайн-групах, де студенти розв'язують наукові завдання і презентують результати. Зокрема, інтерактивні технології підвищують цифрову грамотність, навчаючи користуватися інструментами для аналізу даних та роботи з великими обсягами інформації.

Основна педагогічна ідея використання інтерактивних методик навчання полягає в активізації розумової діяльності здобувача освіти для навчання, реалізації базових знань і вдосконаленні освітнього процесу. Така практика сприяє формуванню позитивного ставлення до навчальної дисципліни [2, с. 26]. Інтеграція інтерактивних технологій у дистанційне навчання має значний потенціал для покращення освітнього процесу, але водночас супроводжується певними труднощами.

Якщо зрівнювати традиційний та інтерактивний ракурс викладання, то маємо зазначити, що у сучасному середовищі у період воєнного стану останній ракурс має низку привілеїв. Серед них маємо зазначити такі, як:

1. Традиційне навчання акцентує на передачі знань викладачем, тоді як інтерактивне спрямоване на активну участь здобувачів в освітній діяльності;
2. У традиційному навчанні переважає зовнішня мотивація, а інтерактивне робить акцент на внутрішній мотивації та стимулюванні спільної діяльності;
3. Традиційне навчання базується на репродуктивному засвоєнні, а інтерактивне передбачає самостійний пошук і засвоєння знань;
4. У традиційному навчанні переважають методи усного викладання (лекції, бесіди), тоді як в інтерактивному – рольові ігри, обговорення, мозковий штурм тощо;
5. В інтерактивному навчанні зворотний зв'язок постійний, викладач виступає фасилітатором;
6. Інтерактивні технології підтримують індивідуалізацію навчання, оскільки адаптивні платформи налаштовують складність завдань і темп навчання відповідно до потреб кожного учасника освітнього процесу, що дає змогу створювати персоналізовані освітні траєкторії і підвищує ефективність навчання, що є актуальним особливо в даний період [5].

Слід зазначити, що серед найцікавіших та ефективних методів можна виокремити використання інтернет-мемів, які мають на меті відтворювати вивчене через контекст.

Іншим цікавим методом є **каліграма**, яка стимулює образне мислення й допомагає глибше вивчати тексти. Для розвитку логічного та творчого мислення можна використовувати **кросенси** – асоціативні головоломки, які є чудовою вправою для засвоєння нових знань і навичок. **Інтелект-карти** – ще один ефективний інструмент, що допомагає здобувачам освіти структурувати знання, підкреслюючи важливі моменти навчального матеріалу. Такий метод, як **хмара слів**, також відіграє важливу роль у навчанні, стимулюючи активність учасників освітнього процесу й підвищуючи їхню мотивацію до вивчення матеріалу.

Але слід зазначити, що хоча інтерактивні технології й відкривають широкі можливості для вдосконалення освітнього процесу, їхня інтеграція вимагає розв'язання низки технічних, організаційних і методологічних проблем. Для досягнення максимальної ефективності необхідно забезпечити доступність технологій, підвищити рівень цифрової грамотності всіх учасників освітнього процесу, а також зберігати баланс між новими технологіями та традиційними методами навчання.

Перспективи подальших досліджень вбачаються в ґрунтовному аналізі ефективності окремих інтерактивних технологій у формуванні наукової компетентності, а також розробленні теоретико-практичних моделей підготовки викладачів до їх упровадження.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Ніколенко К. В., Корнейко Ю. М., Добростан О. В. Інтерактивні технології та їхнє застосування в мобільному навчанні: відмінності, виклики та переваги. *Академічні візії*. 2023. № 26. URL: <https://academyvision.org/index.php/av/article/view/790> (дата звернення: 25.09.2024).
2. Єрмоленко А. Інтерактивні технології навчання: електронний навчальний курс. Біла Церква: БІНПО, 2022. 37 с. URL: https://lib.iitta.gov.ua/id/eprint/731177/1/Інтерактивні_технології_навчання_ЕНК.pdf (дата звернення: 25.09.2024).
3. Бортун К. О. Використання інтерактивних дистанційних методів навчання у закладах вищої освіти. *Освіта України в умовах воєнного стану: управління, цифровізація, євроінтеграційні аспекти: матеріали IV Міжнародного наук.-практ. конф. (м. Київ, 25 жовтня 2022 р.)*. Київ, 2022. С. 175–176. URL: <https://kerivnyk.info/2022/10/bortun.html> (дата звернення: 25.09.2024).
4. Бацуровська І. Формування професійних компетентностей під час вивчення фізики у бакалаврів електроенергетичних спеціальностей в умовах дистанційного навчання. *Наукові інновації та передові технології*. 2023. № 5 (19). С. 445–451. DOI: [https://doi.org/10.52058/2786-5274-2023-5\(19\)-445-451](https://doi.org/10.52058/2786-5274-2023-5(19)-445-451).
5. Кобаль В.І., Кравець Г.Б., Цінова М.В. Використання інтерактивних технологій для формування наукових компетенцій в умовах дистанційного навчання. *Педагогічна Академія: наукові записки*, 2024.- № 13 (2024). DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.14306409>.

Ivanov O., Kozak .S.V
National University «Odessa Maritime Academy»

English language Department in Marine ingenering

Use of electricity on the Ship

Electricity on a ship plays a vital role in ensuring the smooth operation of the vessel. It powers the essential systems required for navigation, communication, lighting, and other vital functions onboard. In this essay, we will explore the role of electricity on a ship, the systems that use electricity, the sources of power, and safety measures involved.

The Importance of Electricity on the Ship

Electricity is one of the most essential elements on any modern ship. Ships are equipped with various electrical systems that perform a wide range of tasks, such as powering lights, heating, cooling, communication devices, and navigation tools. Without electricity, many of these functions would not be possible, making it a critical component for the safety and comfort of both the crew and passengers.

There are several areas onboard where electricity is necessary:

1. **Navigation Systems:** These systems include radar, GPS, and other instruments that help guide the ship across the sea. Electricity powers these devices to ensure the ship is moving in the correct direction.
2. **Communication Equipment:** Radios, satellite phones, and other communication tools are powered by electricity. These devices are crucial for maintaining contact with other ships, the shore, and emergency services.
3. **Lighting and Power for Daily Operations:** Lights onboard are powered by electricity, providing safety and comfort for crew members and passengers. Electricity also runs air conditioning, heating systems, and even small appliances like refrigerators.
4. **Pumps and Engines:** Electricity is also used to power pumps that help control water levels, manage sewage systems, and ensure smooth engine operation.
5. **Safety Systems:** On a ship, safety is paramount, and electrical systems help monitor fire alarms, emergency lighting, and evacuation systems. These safety features rely on a consistent and reliable power source.

Sources of Electricity on the Ship

Onboard ships, electricity is generated in a few different ways. Most ships rely on large generators that convert mechanical energy into electrical energy.

1. **Main Generators:** The primary source of electricity on most ships is the main generators. These generators are powered by the ship's main engine or a dedicated engine. The mechanical energy from the engine is used to rotate a generator, which then produces electricity. These generators can produce enough electricity to power the entire ship.
2. **Emergency Generators:** In case the main generators fail, emergency generators are used to provide backup power. These generators are crucial in ensuring that the ship's safety systems continue to function in the event of a power failure.

3. **Batteries:** Ships also use batteries to store electricity for use when needed. Batteries are commonly used to power small systems such as emergency lighting or communication devices during a power outage.

4. **Renewable Energy:** Some ships are now exploring renewable energy sources like solar panels and wind turbines to supplement their electrical needs. These technologies can provide additional power, reducing the reliance on traditional fuel sources.

Electrical Systems on the Ship

The electrical systems on a ship are complex and have many components that work together to ensure everything runs smoothly.

1. **Distribution Boards:** These are the control centers for electricity. They receive the power generated by the main generators and distribute it to various parts of the ship. The distribution boards ensure that the right amount of electricity reaches each part of the ship at the correct voltage.

2. **Switchboards:** Switchboards allow the crew to manage the distribution of electricity. They allow for the turning on and off of different electrical systems, and they play a critical role in maintaining the safety of the electrical systems on board.

3. **Transformers:** Electrical power is often generated at high voltage to minimize energy loss over long distances. Transformers are used to reduce the voltage to a level that is safe and usable by the ship's systems.

4. **Circuit Breakers:** These devices automatically disconnect electrical circuits in the event of an overload or fault, preventing damage to the system and reducing the risk of fire.

5. **Wiring and Cables:** Wires and cables are used to carry electricity throughout the ship. These cables are carefully insulated to protect against short circuits and other hazards.

Safety Measures for Electricity on the Ship

Electricity can be dangerous, so safety is a top priority when working with electrical systems on a ship. There are several safety measures in place to ensure that the systems remain safe to use.

1. **Grounding and Bonding:** Proper grounding and bonding prevent electrical shocks. The electrical systems on the ship are grounded to ensure that in the event of a fault, the electricity will flow safely to the ground, preventing any harm to the crew.

2. **Routine Inspections:** The electrical systems on the ship are regularly inspected to ensure that they are in good working condition. This helps prevent failures that could lead to accidents or power outages.

3. **Fire Prevention:** Since electrical systems can pose a fire risk, fire alarms and fire suppression systems are installed to protect against electrical fires. Crew members are also trained to respond to electrical fires safely.

4. **Proper Training:** Crew members are trained to understand the electrical systems aboard the ship. They are familiar with the location of circuit breakers, emergency power supplies, and how to safely manage the electrical systems.

5. **Redundancy:** As a backup, many ships have redundant systems in place. This means there are duplicate power sources, and if one system fails, the other can take over, ensuring the ship's operations continue smoothly.

Conclusion

Electricity is an indispensable part of modern ships. It powers the systems that are essential for navigation, communication, comfort, and safety. The main sources of electricity on a ship include generators, batteries, and renewable energy. With carefully designed electrical systems, routine safety measures, and well-trained crew members, ships can operate safely and efficiently. Understanding how electricity works on a ship is crucial for ensuring the vessel's successful operation and the safety of everyone aboard.

REFERENCES

1. Brown, P., & Clark, J. Electrical systems in marine vessels: A practical guide. Marine Tech Publications, 2019
2. U.S. Coast Guard. Marine engineering and electrical systems: A guide for safety and maintenance. U.S. Coast Guard Training Manual, 2021
3. Brown, P., & Clark, J. Electrical systems in marine vessels: A practical guide. Marine Tech Publications, 2019
4. Судовое электрооборудование — Education Marine
5. IMO – Электрическая безопасность

Kozak S.V., Ambros A.
National University «Odessa Maritime Academy»

Electro- and radio-navigation instruments

Volume 1. Introduction

Every vessel is equipped with navigation instruments used to follow a designated course, select a route, and monitor its location in the open sea, taking into account changing navigational and hydro-meteorological conditions.

Navigation instruments that operate on electrical energy or are based on radio engineering principles are respectively called electro-navigation or radio-navigation instruments.

Electro-navigation instruments include devices that determine a vessel's course and speed, such as a gyrocompass, autopilot, automatic course plotter, electric log, as well as systems based on hydroacoustics, including noise direction finders, hydro-locators, and echo sounders.

All these navigation instruments are installed in the wheelhouse and on the bridges near it.



Volume 2. Gyrocompass

The most important navigation instrument on a vessel is the compass. A compass is a device designed to determine the ship's compass course and the direction to visible landmarks on land or celestial bodies.

In addition to electro-navigation and radio-navigation instruments, ships are also equipped with magnetic compasses as backup devices. These compasses operate based on the ability of a magnetic needle, freely rotating around a vertical axis, to align with the magnetic meridian at any point on the Earth's surface. However, the steel structures of the ship and the electromagnetic fields generated by its electrical equipment can cause deviations in the compass needle.

The operation of the gyrocompass is based on the principle of a gyroscope — a massive spinning disk (a gyroscope) rotated at high speed (over 10,000 RPM) by an electric motor in a gimbal suspension. The axis of the gyroscope aligns with the true

(geographical) meridian of the Earth. It is unaffected by magnetic masses or electric currents from the ship's equipment.

The primary gyrocompass is installed on the vessel in a special room called the gyro room, located on the main deck (amidships) near the midship frame.



Volume 3. The autopilot

The autopilot is a system that automatically keeps the vessel on the designated course. It can change the ship's course according to a previously set command, ensuring good course stability, reducing yawing in stormy weather, and easing the helmsman's strenuous work.

The autopilot operates in all weather conditions and sea states. Its main components, like any automatic system, are the tracking system, actuator motors, and feedback. These components ensure the automatic activation of the actuator motor when the vessel deviates from the set course and its deactivation when the vessel returns to the designated course.



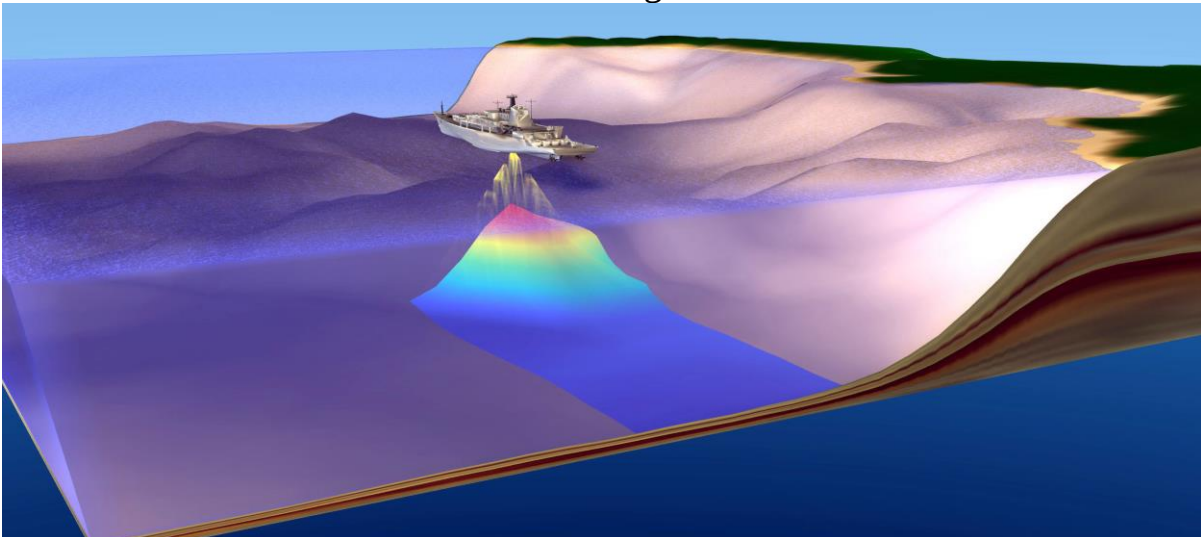
More advanced autopilot systems are electromechanical contactless units with a combined control panel that integrates the automatic tracking and standard control circuits. This system provides three types of steering control: a) standard manual control; b) manual control through the autopilot panel operating in tracking mode; and c) automatic control when the autopilot is operating in automatic mode.

Volume 4. Echo sounder

An echo sounder is an instrument that measures the distance from the ship's bottom to the seabed. It operates on the principle of measuring the time it takes for ultrasonic vibrations of very high frequency to travel from a transducer mounted on the ship's bottom to an obstacle (the seabed), reflect off it, and return to the receiver on the ship. The depth indicator of the echo sounder consists of a rotating disc and a neon lamp.

When vibrations begin, the lamp is positioned at the zero mark on the scale. When the reflected vibrations return, the lamp flashes and illuminates the division, which is rotated to an angle proportional to the distance to the seabed. Echo sounders continuously display the depth and can record it onto a tape. Echo sounders can also map the seabed's topography, detect foreign objects (such as fish shoals or sunken ships), etc.

The signals, reflected from the obstacle as an echo, are received by the receiver. The received echo is amplified in the sonar instruments, and the indicator shows the distance to the obstacle that reflected the signal.



Volume 5. Radio Navigation

Radio navigation is the use of radio engineering principles for vessel navigation. As is known, electromagnetic energy (radio waves) has a large range of propagation from its source. The transmission of radio waves is unaffected by visibility conditions, reflections from obstacles along the path, and so on. All these properties make it highly effective to use radio for vessel navigation.

Radio direction finding is the process of determining the direction to a known transmitting radio station. Using a radio direction finder system connected to a compass, it is possible to determine the vessel's location at sea when shore landmarks are not visible, plot the vessel's course, navigate in narrow areas, and perform other tasks.

A radio rangefinder is a system that determines the distance to known coastal radio stations. Unlike angular radio navigation instruments, a radio rangefinder measures not the angle, but the distance (in pulse systems) or the difference in distance (in phase systems) to two coastal radio stations.

The distance between the vessel (follower) and the coastal (main) radio stations is measured by the phase difference of oscillations at a single frequency using special devices, and is determined by computational devices.

A radar is used to detect objects on the Earth's surface, in the water, and in the air under conditions of limited visibility (such as in darkness or fog), as well as to determine the coordinates of these objects.

Volume 6. Epilogue

Modern navigation systems play a key role in ensuring the safety of shipping. The use of advanced technologies such as radio navigation, echo sounders, radars, and autopilot systems significantly improves the accuracy and efficiency of vessel navigation. These instruments help navigators confidently navigate waterways, even in challenging conditions, ensuring reliability and safety at sea.

Technological advancements in navigation continue to evolve, opening up new possibilities for safer and more efficient use of maritime transport in the future.

Electromechanics play a crucial role in maintaining and ensuring the proper functioning of navigation instruments on ships. Their task is to ensure the reliability and stable operation of systems such as gyrocompasses, radio direction finders, echo sounders, and autopilot systems. Electromechanics perform regular checks and calibrations, fix malfunctions, and conduct preventive maintenance. They also monitor the power supply and wiring, which is critical for the reliable operation of navigation systems, especially in challenging weather conditions or during long voyages.

Without skilled electromechanics, the effective use of these high-tech devices would be impossible, and the safety of navigation would be at risk.

REFERENCES

1. Reeds Vol 15: Electronics, Navigational Aids and Radio Theory for Electrotechnical Officers (Reeds Marine Engineering and Technology Series)
2. Troukhanova N.L., Kravchenko N.A. English of Marine Electrical and Power Engineering for Seamen.
3. Jane Russel. Electronic Navigation Systems.

Marine Engine Parts and Functions

START

The ship's marine engines are considered to be the biggest engines on earth with massive power to propel a heavy loaded ship. There are different parts of the marine engine which helps the engine to rotate the crankshaft and propel the ship from one port to another. Each component plays an important role in powering and running a marine diesel engine but the engine cannot run unless all components are in place and are in working condition. The main engine of a seagoing cargo ships are usually two-stroke internal combustion engines .

The working of the two-stroke engine can be understood from this report for a marine engineer or a professional working on ships it is vital to know

different engine parts and their function to operate and troubleshoot

when needed. You must have seen the engine inside the machinery room of the ship covered and assembled with different other auxiliaries.

INSIDE THE ENGINE ROOM

It out from its installation and only concentrate on the main engine to understand its different parts. Looking at the exterior of the engine it comprises of the following. **AFRAME** - A frame it is a fabricated steel structural element. It stands on the bedplate above the main bearings the a-frame carries the crosshead guides and support the engine entablature also known as the cylinder block . **ENTABLATURE** - Entablature is a part of ships main engine which houses the cylinder liner along with this scavenger space and cooling water spaces. **TURBOCHARGER** - Turbochargers are heat recovery equipment helping to enhance the efficiency of the engine by supplying fresh air they are located near the cylinder block. **CHARGE AIR COOLER** - cooling arrangement for air supplied from the turbocharger before sending it to the combustion chamber. It is usually located below the turbocharger and adjacent to the scavenge space. **SCAVENGE TRUNK** - Scavenge trunk - scavenge trunk is a space where the cooled air from the charge air cooler is supplied for efficient combustion. **CYLINDER** - Cylinder head - It acts as a lid of the combustion chamber and supports the exhaust wall and fuel injectors necessary for operation. **EXHAUST VALVE & FUEL INJECTOR** - Exhaust Vall - The exhaust wall helps to draw out the exhaust gases post the combustion process. **EXHAUST TRUNK** - Exhaust trunk the exhaust drawn out of the exhaust wall is then transferred to the exhaust trunk from where it strikes the turbine blades of the turbocharger for heat recovery. It is located in between the cylinder head and turbocharger unit. So these are the basic components which can be seen from outside of the engine. Now let's dive inside the engine to understand different rotating and moving parts that are involved in the propulsion process that is the movement of the propeller. Liner it provides a durable and heat-resistant combustion chamber preventing combustion products from

escaping into the engine itself. It is located at the top side of the entablature. Piston - piston is used to convert the force of expanding gasses into mechanical energy during the process of combustion. It moves inside the liner and is connected to the cross head by piston rod. **PISTON RINGS** - It seal the piston therefore sealing the combustion chamber preventing gases from leaking into the piston and surrounding areas. **PISTON ROD** - it carries the piston and connects it to the crosshead where the motion transfer takes place. **STUFFING BOX** - the crankcase is separated from the cylinder and scavenge space by a diaphragm plate on a two stroke crosshead engine. The piston rod passes through a stuffing box which is bolted into this diaphragm plate. The stuffing box contains a series of scraper rings and sealing rings to seal and separate these two spaces.

SCRAPPER SEALING

CROSSHEAD - A reciprocating block which usually slides in guides and is the connecting point for piston rod and the connecting rod in a low-speed two-stroke diesel engine. **CONNECTING ROD** - The connecting rod is fitted between the crosshead and the crankshaft. It transmits the firing force and together with the crankshaft convert the reciprocating motion to a rotary motion. **CRANKSHAFT** - It is the main component behind transmitting power to the propeller shaft. The crankshaft on the large modern two-stroke marine diesel engine can weigh over 300 tonnes they are too big to make as a single unit and so are constructed by joining together individual forging. **CAMSHAFT** - The camshaft carries the cams which operates the fuel pumps and exhaust valves. Because this operate once every cycle of the engine, the camshaft on a two-stroke engine rotates at the same speed as the crankshaft. Gear drive - Camshafts are driven either by gears or chains. In the case of gear drive a train of gear wheel is fitted which transmits the drive from the crankshaft to the camshaft.

THE PURPOSE AND NEED FOR AUTONOMOUS ENERGY SYSTEM

Energy systems are evolving toward automation and intelligence. With the rapid growth of solar, wind, batteries, electric vehicles, and smart buildings, managing an increasingly complex grid requires real-time coordination. This shift is driving utilities to adopt a decentralized approach.

The National Renewable Energy Laboratory is developing **Autonomous Energy Systems (AES)** to integrate and manage diverse energy resources through automation. AES replaces centralized management with adaptive, modular controls, scaling to millions of generation points and billions of devices.

Why AES matters:

- Autonomously balances electricity supply and demand in real time.
- Enhances grid resilience by adapting to disturbances and failures.
- Optimizes energy generation, transmission, and distribution for efficiency and cost savings.

- Empowers communities to influence local energy decisions, making power more sustainable and affordable.

AES addresses today's urgent energy challenges while ensuring reliability and sustainability for the future.

EMERGENCY GENERATOR DESING FEATURES

The first consideration when installing an emergency generator is the environment in which it will be placed. Typically, the emergency generator will be stored in an enclosed room that is clean and provides adequate ventilation, as fresh air is essential for combustion. The room will generally be heated, with options for heating the room itself, the jacket water system, or the oil system. In most cases, it is the jacket water system that is heated, ensuring that the engine remains in a constant state of readiness. This is crucial, as starting a cold engine under load can potentially cause damage.

The emergency generator is placed in a separate room to minimize its exposure to surrounding areas. For instance, on a ship, if an emergency generator is installed in the engine room and an incident occurs, such as striking an iceberg that causes the engine room to flood, the generator could become submerged and inoperable. To avoid such scenarios, emergency generators are typically not located in the engine room.

In a power station, the emergency generator is usually housed in a compartment distinct from the main building, the boiler house, or the turbine house, or it may be positioned a distance away (e.g., 50 meters or approximately 150 feet). This ensures that the generator is protected in the event of damage to any of these structures.

On ships, where the environment can constantly change, the installation of emergency generators must take into account the possibility of flooding. For example, emergency generators are not positioned below the waterline at the front of the ship, where they could be affected in the event of flooding. Ships are equipped with a collision bulkhead, a continuous, unbroken barrier that extends from the keel to the top of the vessel. This bulkhead prevents water from spreading to compartments behind it in the event of a collision or impact at the front of the ship, such as with another vessel or iceberg.

Emergency generators must be placed behind the collision bulkhead, above the waterline, to ensure their functionality in case of flooding. Additionally, the generator must be accessible from an open deck, meaning it should not require entry into the vessel to be accessed. This design feature is particularly important in emergency situations, such as fires, where the generator must remain accessible and operable, even if other areas of the ship, like the engine room, are compromised.

REFERENCES:

- 1) <https://youtu.be/IWkdZy3aIAI?si=JhrAGFPJRleucJh4>
- 2) https://youtu.be/8d-liR9-z6g?si=XJ_rdo5di704DqrM
- 3) <https://youtu.be/i1Abti0zBMM?si=fH9h6k0ZXrD73Fmx>

Kozak S.V., Balanchuk S.
National University «Odessa Maritime Academy»

Primary Responsibilities of Marine Electro-Mechanics

Marine electro-mechanics, also known as ship electricians, play a pivotal role in ensuring the safe and efficient operation of a vessel's electrical systems. Their expertise encompasses the maintenance, repair, and oversight of all electrical equipment on board, which is crucial for the vessel's operational integrity and safety. Below is an in-depth overview of their primary responsibilities:

1. Maintenance and Repair of Electrical Equipment

Marine electro-mechanics are responsible for the upkeep of various electrical components, including:

- **Main and Emergency Switchboards:** Regular inspections and maintenance to ensure proper functionality.
- **Generators and Motors:** Routine checks and servicing to guarantee efficient operation.
- **Control Systems and Fuses:** Monitoring and replacing faulty components as needed.

They must also conduct insulation resistance measurements and maintain detailed records to prevent electrical failures.

2. Management of Alarm, Monitoring, and Communication Systems

Ensuring that all alarm systems, monitoring devices, and communication networks are operational is vital for the safety and coordination of the crew. This includes regular testing and prompt repairs to address any issues.

3. Oversight of Welding Equipment Maintaining and controlling electric arc welding equipment is essential for various repair tasks on the vessel. Proper management ensures safety and reliability during welding operations.

4. Inspection of Galley and Pantry Appliances

Regular checks of kitchen appliances and pantry equipment are necessary to ensure they function safely and efficiently, contributing to the overall well-being of the crew.

5. Inventory Management

Keeping an updated inventory of electrical spare parts, tools, and consumables is crucial for timely maintenance and emergency repairs. This proactive approach minimizes downtime and enhances operational efficiency.

6. Documentation and Record-Keeping

Accurate documentation of maintenance activities, repairs, and inspections is essential. Maintaining comprehensive records ensures compliance with safety regulations and facilitates efficient troubleshooting.

7. Assistance in Planning Maintenance Schedules

Collaborating with the Chief Engineer to develop repair lists and planned maintenance schedules ensures that all electrical systems receive timely attention, thereby preventing potential failures.

8. Support in Mechanical Repairs

Providing assistance in mechanical repairs as directed by the Chief Engineer demonstrates the versatility and collaborative spirit required in marine operations.

9. Adherence to Safety Protocols

Strict compliance with safety regulations, including the isolation of electrical equipment before maintenance and the posting of warning notices, is mandatory to prevent accidents and ensure the safety of all personnel on board.

10. Training and Supervision Marine electro-mechanics are often responsible for training junior crew members on the proper use and maintenance of electrical systems, fostering a culture of safety and competence.

Conclusion

The role of a marine electro-mechanic is integral to the smooth and safe operation of a vessel. Their extensive responsibilities require a deep understanding of electrical systems, meticulous attention to detail, and a steadfast commitment to safety protocols. By effectively managing the vessel's electrical infrastructure, they ensure not only the operational efficiency of the ship but also the safety and well-being of the entire crew.

REFERENCES

1 • “Duties of a Marine Electro-Mechanic Onboard a Ship” – Advanced, Odessa. This article provides a detailed overview of the key responsibilities of ship electricians, including maintenance, repairs, and safety protocols. (english-odessa.com)

2 • “Who is a Marine Electro-Mechanic? Job Description, Pros and Cons, Salary, and Reviews” – Professiya.net. This source explains the role of a marine electro-mechanic, their career prospects, and the skills required. (professiya.net)

3 • “Responsibilities of a Ship's Electro-Mechanic” – Studopedia.org. This resource discusses the tasks and duties of marine electro-mechanics in detail, including compliance with safety regulations. (studopedia.org)

Kozak S. V., Hnilichenko R.
National University «Odessa Maritime Academy»

Ferry fuel savings

While the efficiency of ships in general has become a hot topic in recent years, the need to reduce fuel costs is perhaps more urgent in the ferry sector of the marine industry than anywhere else due the operating patterns of these vessels

Ferries often have relatively high installed power, making this segment of maritime transport a direct competitor with other modes of transportation, such as road, rail, and air. Consequently, rising fuel costs can significantly affect profitability and may drive a shift away from maritime travel. This shift would be problematic, as there is a shared need to move both passengers and cargo from congested road and rail networks to more efficient sea routes.

Although oil prices are currently lower than they were last year, they are expected to rise again in the future. As a result, the focus on fuel savings remains strong, and taking advantage of every available cost-reduction strategy is crucial for staying competitive in this highly challenging sector.

Pollution is another key concern. Ferries frequently operate near the coast and dock in densely populated areas, facing considerable public pressure to lower their exhaust emissions. This intensifies the need to reduce power consumption.

Multiple specifications

Ferries typically run on short routes with set itineraries and regular schedules. Their speed is adjusted to match each route, ensuring the desired departure and arrival times are met. The primary factors influencing a ship's power demand are speed and displacement. Conventional ferries usually operate with Froude numbers ranging from 0.25 to 0.35.

The relatively high speeds of displacement-type vessels make hydrodynamic optimization especially crucial. To minimize water resistance, the block coefficient of these vessels should be kept low.

Using lightweight structures is advantageous, as the lightship weight (LWT) constitutes a significant portion of a ferry's total displacement. Optimizing the main dimensions is crucial in the early stages of ferry design. Extending the hull can substantially lower power demand, as demonstrated by the benefits of adding a ducktail to increase the effective waterline length. Other stern modifications, such as trim wedges and interceptors, can also produce excellent results. For fast monohulls and catamarans operating in semi-displacement mode, weight reduction becomes even more critical.

Reducing appendage drag

Ferries typically feature a shallow draft and often use twin screw propulsion. The two shaft lines generate considerable drag, making the design of appendages signifi-

cantly influence power requirements. Alternative setups include pairing a central shaft line in the skeg with either a single pulling thruster to form a contra-rotating propeller (CRP) pair, or twin pulling thrusters positioned on either side of the central propeller. These configurations can improve efficiency by 8-15% compared to traditional twin shaft systems.

Both configurations gain from the decreased resistance achieved by replacing twin shaft lines with a center skeg propeller and pulling thruster. Since appendages in a twin-shaft ferry can account for up to 20% of the vessel's resistance, significant savings can be realized by eliminating open shaft lines.

The CRP concept enhances propulsion efficiency by recovering rotational losses and utilizing the more favorable wake field behind the center skeg. However, a limitation of the CRP setup is the presence of only a single steering mechanism.

The Wing Thruster concept addresses this limitation by using two pulling thrusters, one positioned on each side of the central shaft. This arrangement also enhances propulsion efficiency due to reduced propeller loading and a favorable wake for the central propeller, resulting in high hull efficiency.

Stern arrangement of wing thrusters and contrarotating centre line propellers

The pulling thruster propellers benefit from clean wake fields, allowing the blades to perform near their optimal design conditions during each rotation, which ensures high propeller efficiency.

The next advancement in this approach is to integrate both the CRP and Wing Thruster concepts into a single vessel.

Challenging operational schedules

The optimal implementation of these advanced propulsion solutions involves using combined diesel-electric and diesel-mechanical (CODED) systems. An electric power plant provides high efficiency at low speeds and during maneuvers, while a mechanical booster—the center propeller—engages at cruising speeds, offering minimal transmission losses.

This setup is particularly well-suited for ferries that operate on routes with shallow waters and speed restrictions. These conditions create an operating profile with a wide range of modes, making optimization more complex. Therefore, flexible machinery that performs efficiently across various power output levels is the preferred solution.

Since ferries frequently make port calls, minimizing turnaround time in port enables a significant reduction in cruising speed. Therefore, effective maneuvering and efficient cargo handling are crucial. The freight handling equipment on ferries should be tailored to the cargo mix of the intended route, influencing the choice between a drive-through loading system or a pure stern ramp configuration. In either case, wide ramps and clear, straight lanes are essential for fast turnaround operations.

The requirement for speed also affects the decision to include a lower RoRo hold on a vessel. While this feature boosts the ferry's payload capacity, it slows down port operations. In many instances, investing in port infrastructure is a more advantageous option.

Cargo handling with two-level link spans can be completed much faster than with single-level ramps.

High-power tunnel thrusters provide excellent maneuverability, helping to reduce time spent in port. They are often installed at the stern to offer extra side thrust. When a CRP or Wing Thruster system is used, it not only boosts propulsion efficiency but also improves maneuvering, contributing to shorter turnaround times in port.

Reducing the hotel load

A ferry's payload is divided into two main categories: passenger facilities and RoRo spaces.

The balance between passenger and cargo areas influences the vessel's design and optimization. Since extensive passenger areas lead to high hotel loads, reducing power consumption through energy-efficient lighting, smart HVAC systems, and well-designed galley operations can yield significant energy savings.

The significant fluctuations in propulsion power demand throughout a voyage make frequency-controlled pumps a valuable choice for many auxiliary systems. This is especially relevant for ferries operating in climates much cooler than the maximum temperatures considered when sizing the vessel's systems.

Because ferries navigate diverse routes with varying cargo loads and need to satisfy different passenger expectations, they are designed to meet specific operator requirements. An effective ship designer should customize the entire vessel concept to achieve maximum efficiency in fulfilling its intended purpose.

The efficient cruise ferry

Wärtsilä has developed a cruise ferry concept aimed at maximizing efficiency and minimizing emissions, while also delivering a premium experience for passengers. This ferry, with a gross tonnage of approximately 58,000 tons, features an extended waterline length, resulting in a sleek hull design that reduces resistance.

The ferry's propulsion utilizes the Wing Thruster concept, which reduces power demand. An EnergoPac rudder is positioned behind the center propeller to enhance efficiency further. The machinery features a CODED setup, combining electric drive for the two pulling thrusters and mechanical drive for the center-line propeller. Power is supplied by six Wärtsilä 50DF engines, primarily running on LNG.

This configuration not only significantly reduces emissions but also lowers onboard energy demand. The low temperature of LNG can be utilized to cool the air-conditioning systems, minimizing the need for compressors. Additionally, there is no need for I-IFO tank or trace heating. LNG is particularly suitable for ferries that operate on consistent routes with regular schedules, as organizing bunkering logistics is simpler.

Wind energy is used to further decrease power demand by providing additional thrust. The four Flettner rotors—three integrated into the funnel and one on the for-

ward mast—generate more lift than traditional sails and can operate effectively at small angles of attack, which is crucial for a ferry traveling at relatively high speeds. It is important to note that wind power offers the greatest benefits in areas where the vessel runs at reduced speeds.

Efficiency is boosted even more by incorporating variable speed pumps and fans, along with waste heat recovery (WHR) systems to produce extra electrical power. Compared to a traditional ferry built for the same purpose, estimates suggest that this Wärtsilä ferry concept achieves energy savings of over 30%.

REFERENCES

1. Nick Robins, *Ferry Powerful: A History of the Modern British Diesel Ferry*, 2003. -120p.
2. IMarEST, *PROPULSION*, 2009. -40p.
3. Rafael Lane Befus, *Marine Engineering Applied to Today's Environmentally Conscious Shipping Industry*, 2020. -72p.

**Формування критичного стилю пізнавальної діяльності студентів,
технічного вузу під час вивчення англійської мови.**

У процесі навчання іноземної мови в технічному вузі необхідно формувати не тільки конкретні знання, але особистісні та професійно значущі для випускника пізнавальні вміння, що поєднуються терміном «критичний стиль пізнавальної діяльності», можливість застосування яких дуже важлива не тільки при навчанні іноземної мови.

Критичний стиль пізнавальної діяльності передбачає формування у людини умінь і навичок своєрідного виду діяльності, який отримав у психології та педагогіці назву рефлексивно – оціночної – особливої форми людської діяльності, що має для неї життєво важливе значення. На думку ряду дослідників, поняття «оцінна діяльність» [1, с. 21] можна визначити, як активна взаємодія людини з навколишнім світом, спрямоване на виявлення її якісної неоднорідності з точки зору наявності або відсутності життєво важливих цінностей, а також на вибір з цих цінностей тих, які є для людини найбільш актуальними.

Визначення критичного стилю пізнавальної діяльності та її формування, і розвиток набагато докладніше досліджено у зарубіжній педагогіці, а вітчизняної – навіть термін «критичний стиль пізнавальної діяльності» використовується досить рідко. [2, с.80]

В іноземній літературі дається визначення критичного мислення як «використання таких навичок і стратегій, які збільшують ймовірність отримання бажаного результату», а також визначає три основні характеристики критичного стилю пізнавальної діяльності: виваженість, логічність, ціль.[3, с.46]

Останні кілька десятиліть критичний стиль пізнавальної діяльності став об'єктом вивчення педагогічної науки. У педагогіці критичність мислення, здатність до критичних міркувань, творчість є складовими характеристиками у професійній діяльності сучасного викладача.

Часто особливість критичного стилю пізнавальної діяльності пов'язують зі сформованістю у людини спеціальних когнітивних умінь і навичок та готовністю до активного їх використання у власній діяльності. Необхідно виділити такі якості, що визначають критичний стиль мислення:

1. Націленість на конструктивний діалог з партнерами, здатність відстоювати свою точку зору незалежно від думки оточуючих, знати її несправедливою при пред'явленні опонентом аргументованих контрдоказів.

2. Націленість на самодіагностику щодо сформованості різних умінь і якостей з урахуванням порівняння своїх результатів із заданими стандартами.

3. Відкритість нової інформації та нестандартним способам вирішення поставлених завдань та прийняття рішень.

4. Націленість на неприйняття на віру інформації, що надходить, на її всебічний аналіз і осмислення, на виявлення внутрішніх особливостей і при-

чин того чи іншого характеру перебігу різних явищ, не доступних при безпосередньому сприйнятті, що вимагають глибокого аналізу.

Критично мислячій людині властиві:

- Готовність до планування. «Планування – перший і дуже важливий невидимий крок до критичного мислення».

- Гнучкість мислення. «Гнучка позиція включає готовність розглядати нові варіанти, намагаючись зробити щось інакше, змінювати свою точку зору».

- Наполегливість. «З наполегливістю тісно пов'язана готовність взятися за розв'язання задачі, яка потребує напруження розуму». [4, с.38]

- Готовність виправляти свої помилки. «Думаючи люди, прислухаються до думки оточуючих, прагнуть зрозуміти, у чому вони не мають рації і знайти причини помилки. Такі люди можуть визнати свої стратегії дії неефективними та відкинути їх, обираючи нові та вдосконалюючи своє мислення».[4, с.42]

- Усвідомлення. Воно має на увазі спостереження за власними діями при просуванні до мети. Критично мислячі люди розвивають звичку до самосвідомості власного розумового процесу.

- Пошук компромісних рішень. Критично мислячій людині необхідно мати як добре розвинені комунікативні навички, так і вміння знаходити рішення, які могли б задовольнити більшість.

Багато авторів виділяють як найбільш значущі такі якості критичного стилю пізнавальної діяльності викладача, що працює в різних навчальних закладах:

- всебічний, різноплановий аналіз об'єктів і процесів, що вивчаються, доказовість і обґрунтованість міркувань;

- динамічність поглядів, вміння критично підійти як до власних висновків, так і до різного роду джерел зовнішньої інформації; вміння побачити в об'єкті чи процесі такі його властивості та особливості, які непомітні при поверхневому аналізі;

- усвідомлення викладачем наступності педагогічного знання, яке протистоїть нігілістичному ставленню до досвіду минулого, заперечення цінностей, якими оволоділи попередні покоління;

- прагнення знайти спільність, закономірність, зв'язок або взаємозв'язок фактів і подій, що спостерігаються безпосередньо у власній педагогічній діяльності, у різноманітних наукових, науково - практичних, науково - популярних та інших публікаціях з проблем навчання і виховання, виявити причини того чи іншого їх перебігу.

Отже, навчати студентів критичного мислення означає формування в них даних якостей, тобто. з одного боку, це розвиток навичок критичного стилю пізнавальної діяльності, а з іншого – виховання схильності, до такого виду розумової діяльності.

Розглянемо, як при вивченні студентами іноземної мови формується критичний стиль пізнавальної діяльності. Такі ситуації виникають, коли студентам доводиться визначати різницю у смислових відносинах, які виражені одним і тим самим терміном.

Наприклад: sentence – пропозиція. Can you translate this sentence? sentence-вирок. Він був отриманий sentence of years.

Деякі дієслова можуть виконувати різні функції. Наприклад, дієслово to do:

1. смисловий дієслово-робити, виконувати.

Чи є все,яка може бути для вас?

2. допоміжне дієслово-They do not believe us.

3. посилення значення дії

– Do stay and have a dinner with us.

4. замість іншого дієслова, щоб уникнути повторення цього дієслова He works as much as I do.

Говорячи про можливості формування критичного мислення студентів при навчанні іноземної мови не можна не відзначити наступної важливої обставини: якісне засвоєння англійської мови вимагає і передбачає розміщення акцентів при перекладі деяких виразів, не пов'язаних безпосередньо з контекстом.

Розглянемо ще кілька прикладів, які б сприяли формуванню критичного стилю пізнавальної діяльності студентів:

1. It was not a device.

2. It was no device.

Грамотично в обох випадках все вжито правильно, але невелика різниця в перекладах все-таки є: у першому варіанті ми підкреслюємо, що «це був не прилад» (а щось інше); у другому варіанті ми стверджуємо, що "не було ніякого приладу".

У наступних вправах увага студентів спрямована на різницю у перекладі слів з різними суфіксами або значеннями:

А) To compete – competition – competitive – competence

1. Students will get ... in a wide range of skills.

2. Professional athletes may ... at the Olympic Games.

3. Some US industries are not as ...as in these discussions.

4. Are you thinking of taking part in ... ?

Б) To mean – meaning – means – by means of

1. I know what it means to be alone in a foreign country.

2. The expression has two different meanings in English.

3. Video is an excellent means of bringing living language into classroom.

4. The easiest way of producing hydrogen з води є методи elec trolysis.

В) слова, які часто вживають неправильно (words often con fused)

Good – well

1. Their children are always good when they go out.

2. He speaks Russian very well.

To affect – effect

1. Famous people can affect lives of young people.

2. The effects of pollution can be seen all over the world.

Hard – hardly

1. Tom found the exam very hard, that's why he failed it.

2. It was so hot last night that I hardly slept at all.

To bring - to take

1. Bring me those files, please.

2. Will you take the rubbish out when you leave, please?

У цьому також дуже корисні вправи визначення відповідності чи невідповідності висловлювань: «False» чи «True». Студенти повинні прочитати текст та визначити, які пропозиції є істинними чи хибними.

Write true (T) або no true (F). «This is how you test the properties of the material. You put the material into the multi – test machine. Then the machine does four tests on it. In the first test, a hammer strikes the material with a 50 kg weight. In the second test, two parts of jaws pull the material with a weight of 80 kg. In the third test, a heavy weight of 100 kg presses the material down. In the fourth test, two sharp knives scratch the material with weights of 10 and 20 kg».

1. You should test the multi – test machine.

2. The machine does five tests.

3. A hammer strikes the material with a 50 kg weight.

4. In the second test, two knives scratch the material.

Дані вправи спрямовані на формування у студентів критичного стилю пізнавальної діяльності. Не менш важливим є також формування у студентів умінь висловлювати власні оціночні судження англійською мовою як найважливіший прийом розвитку критичного стилю в процесі активної діяльності. У зв'язку з цим необхідно включити до вивчення навчального матеріалу спеціальну лексику (мовленнєві кліше) оціночної спрямованості, наприклад:

– to my mind – на мою думку...

– in my opinion – на мою думку...

– from the point of view – з погляду...

– as far as I know – наскільки мені відомо...

– as far as I can judge – наскільки я можу судити ...

– for all I know – наскільки я знаю ...

– to agree with – погодитись з ...

– to be wrong – бути неправим.

– I'll start by saying that – почну з того, що ...

- as I see it - на мій погляд ...

– I don't think – я не думаю ...

– as far as I can see – наскільки я розумію ...

– on the one hand – з одного боку ...

– on the other hand – з іншого боку ...

Дані мовні кліше можна використовувати в різних видах навчальної діяльності: міні конференціях, диспутах, презентаціях, рольових іграх, які сприяють формуванню різних компонентів критичного стилю пізнавальної діяльності.

У цьому схема роботи зі студентами така: представлення студенту мовних кліше оціночно – рефлексивної спрямованості; вправи на самостійне використання цих кліше; вправи, що пропонують самостійне вираження студентами своїх оціночних суджень у міні-конференціях, диспутах, семінарах тощо.

Таким чином, критичний стиль пізнавальної діяльності студентів може бути сформований у числі інших навчальних дисциплін на основі іноземної мови як невід'ємної складової підготовки студентів технічного вузу.

Формування критичного стилю пізнавальної діяльності студентів при вивченні іноземної мови передбачає обов'язкове включення студентів до активної діяльності, пов'язаної з необхідністю висловлення ними власних оціночних суджень англійською мовою і, зокрема, на матеріалі міжпредметного змісту та на матеріалі, пов'язаному з майбутньою професійною діяльністю.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Біблер В.С. Діалог культур і проблеми освіти// Наукові записки.1991.- № 2. – С.21-32.
2. Козак С.В. Формування іноземної комунікативної компетенції у майбутніх фахівців морського флоту: дис. ...канд.пед.наук :13.00.02./ С.В.Козак, 2001 – 225 с.
- 3.Левіт М.С. Критичне мислення як чинник формування світогляду особистості // Освіта і педагогічна наука. -2013. -№4 (161). – С. 45-51.
4. Полат Е.С. Сучасні педагогічні і інформаційні технології в системі освіти. – М.: Академія, 2000. – 216 с.

Molodtsova V.
National University "Odesa Maritime Academy"

Mnemonic strategies to aid maritime vocabulary and regulation retention

Mnemonics originates from the Greek word meaning "art of memory". It's been long recognized as an effective tool for memorization. The more structured and associative information is, the easier it's remembered and retained by the brain. Mnemonic methods are widely used in various disciplines, from language learning and law to technical subjects. It helps students to retain and recall new vocabulary, complex concepts and extensive lists, regulations and maintenance checklists, which makes mnemonics valuable educational tool in teaching both General and Specialized English [1].

Considering the specifics of English for Specific Purposes (ESP) teaching, it should be noted that specialized vocabulary acquisition is a time- and effort-consuming process since it covers mastering not only technical terms but also an extensive body of knowledge related to ship structures, engine systems, safety protocols, and international maritime conventions such as SOLAS (International Convention for the Safety of Life at Sea), MARPOL (International Convention for the Prevention of Pollution from Ships), etc. The challenge lies in ample recalling and applying this knowledge accurately, particularly in high-stakes situations such as oral examinations, professional interviews, and at sea.

This is where mnemonics can be particularly relevant and to the point. The use of mnemonic techniques in teaching Maritime English offers several advantages. Apart from building associations with the purpose of better memorizing new vocabulary [2], one of highly effective strategies is the creation of stories that can help long lists and confusing regulations which constitute main part of IMO conventions. For instance, we can imagine a fictional seafarer who experiences different scenarios reflecting MARPOL and SOLAS provisions. This character, undergoing realistic challenges, allows students to associate specific rules with memorable and sometimes hilarious or weird situations. The latter will work as triggers that let students recall the regulations more easily by referring back to the structured story. Research has shown that students who learn through mnemonic storytelling show significantly improved retention compared to those who rely only on rote memorization [3]. And which is even more valuable they are able to recall this information even when they are stressed out during interviews with a future employer. The emotional colouring of the story makes neural connections stronger, which is a proven fact.

Beyond storytelling, other mnemonic techniques such as acronyms, visualization, and association exercises further enhance learning. Acronyms can quickly help recall lists of items, such as the MARPOL annexes (e.g., "Old Heavy Ships Like Sailing in Guarded Areas" for Oil Pollution, Harmful Substances in bulk, Noxious Liquids, Sewage, Garbage, Air pollution). Students can efficiently remember information by logically organizing it with the help of visualization techniques, including mind maps and diagrams.

However, there should be mentioned some limitations of the application of mnemonic techniques in ESP. First, they are not almighty. It's not always possible to create an association to any term. Another potential drawback is the time required to develop effective memorization means. Besides, not all students respond equally well to these methods; some may struggle to create personal associations that are meaningful to them. [2] Additionally, these educational tools aren't as effective in developing speaking skill, so over-reliance on mnemonic strategies may lead students to focus on recall rather than application, which can be a challenge when they are required to adapt their knowledge in dynamic maritime situations.

Nonetheless, the mindful combination of mnemonic techniques with other instructional strategies can significantly enhance learning outcomes. A study conducted among marine engineering students demonstrated the effectiveness of mnemonic-based learning compared to traditional rote memorization. Before introducing mnemonics, a pre-test assessed students' ability to recall MARPOL and SOLAS provisions. After incorporating mnemonic strategies such as storytelling, visualization, and association exercises, students demonstrated great improvement in retention and recall. In professional settings, such as job interviews, students found it much easier to recollect professional information when they linked concepts to the mnemonic associations developed during their training.

To make the integration of mnemonics in teaching Maritime English effective, students should be encouraged to adapt their memory aids according to their learning styles and channels. Further practical activities, like group discussions, role-playing activities, and collaborative exercises can reinforce memory retention and level up their confidence to use it effectively in real-world maritime contexts.

In conclusion, it should be noted that no technique is a panacea. Conscious and individualized approach to enhancing memory retention and engagement in the learning process can significantly improve students' ability to recall complex regulations, technical vocabulary, and industry standards. As maritime regulations continue to evolve, the necessity to memorize and apply critical information will always remain essential to guarantee safe and efficient work at sea.

REFERENCES

1. C.Hill.Aryn.The Effectiveness Of Mnemonic Devices For Esl Vocabulary Retention Doi:[10.5539/Elt.V15n4p6](https://doi.org/10.5539/Elt.V15n4p6)
2. Natalia A. Baranenkova, Liudmyla K. Svetenok. Mnemonic Techniques Of Learning A Foreign Language In Higher Education <https://doi.org/10.28925/2312-5829.2016.1.18>
3. Molodtsova V. Use Of Mnemonics In Learning English.//Матеріали Науково-Технічної Конференції На Тему «Морський Та Річковий Флот: Експлуатація Та Ремонт». 18.03.2020 – 19.03.2020 – С. 265

Bezditko A., Hrinchuk H.
National University "Odesa Maritime Academy"

Artificial Intelligence in Maritime Industry: Revolutionizing Automation and Navigation

Artificial intelligence (AI) is significantly transforming the maritime industry, unlocking new prospects for unmanned automation in shipping. Its application spans innovative aspects such as route optimization, fuel cost reduction, emission control, and enhanced safety during navigation. For instance, Performance Routing algorithms can instantly improve fleet sustainability and achieve significant economic benefits from day one of implementation. These technologies influence all aspects of modern seafaring.

Machine learning techniques, including transfer learning, are used to develop models that can quickly analyze complex situations. This approach enables vessel identification and classification, big data analysis, and effective decision-making. Deep neural networks (DNNs) play a crucial role in this technology by providing high-performance mathematical modeling and training multiple hidden layers. They are applied in pattern recognition, collision avoidance, and maritime risk management.

In the shipping industry, researchers have developed an algorithm for responding to hazardous waves and route planning. Singapore Management University, in collaboration with Fujitsu and A*STAR's Institute of High-Performance Computing (IHPC), conducted studies on AI-based vessel traffic management in Singapore's ports and the Singapore and Malacca Straits. Their research led to real-data-driven technologies that enhance congestion forecasting and collision detection. The goal is to create a next-generation maritime traffic coordination system, akin to air traffic control.

Singapore's Tuas Port has an ambitious plan to become fully automated by 2040 using the Next-Generation Vessel Traffic Management System (NGVTMS), developed by the Maritime and Port Authority of Singapore. AI was first integrated into the shipping industry in 2018, when Sea Machines Robotics and AP Moller-Maersk deployed a computer vision and LiDAR (laser scanning technology) system on a container ship to enhance and modernize transit operations.

According to a 2019 McKinsey global study, AI adoption in standard business processes increased by 25% compared to the previous year. This is particularly evident in logistics, where AI significantly enhances the maritime sector by automating routine tasks and improving operational efficiency.

The popularity of AI is increasing. Global studies show that its use in logistics improves transportation efficiency, reduces costs, and enhances productivity. By integrating AI with publicly available programs such as OpenAI and ChatGPT, navigation officers gain a real-time assistant capable of analyzing situations and providing operational responses.

AI enhances operational planning, route forecasting, fuel consumption optimization, and minimizes human error—the primary cause of ship collisions. Despite

challenges such as skill shortages and regulatory barriers, AI is becoming a key component of industry modernization. Technological advancements and the implementation of custom AI systems offer a transformative potential for improving maritime safety and efficiency.

AI is redefining the maritime industry, driving the development of autonomous shipping technologies that change the approach to navigation. One of the key benefits is route optimization, which significantly reduces fuel costs and emissions. Additionally, AI-based technologies, such as deep neural networks, enhance maritime safety by enabling automatic vessel recognition, collision risk analysis, and scenario prediction.

Autonomous vessels are becoming a reality, thanks to AI systems capable of analyzing massive datasets in real time. These systems reduce human error, assist navigation officers in risk management, and support more precise decision-making. In marine condition forecasting, AI-powered algorithms can now predict hazardous wave formations and optimize port and canal traffic management.

Integrated energy monitoring and management systems are also gaining popularity, allowing ships to operate more efficiently and increase their energy efficiency.

Conclusion

AI has the potential to revolutionize maritime shipping, offering safer, more efficient, and environmentally friendly solutions. Despite existing challenges, such as skill gaps and regulatory obstacles, its adoption is accelerating. The future of the maritime industry is closely linked to the advancement of intelligent systems, which will help reduce human error, improve navigation accuracy and safety, and optimize all aspects of shipping operations.

LIST OF REFERENCES

1. Kalynychnenko Ivan, Boguslavskyi Yevhenii. *Utilization of Artificial Intelligence in Unmanned Ships for Obstacle Detection During Navigation*. International Science Journal of Engineering & Agriculture. Vol. 3, No. 3, 2024, pp. 92-103. doi: 10.46299/j.isjea.20240303.09.
2. Avramenko Ruslan Olehovich, Levkivska Aurika Leonidivna. *Unmanned Cargo Ships as an Innovative Component of Maritime Transport*. UNIVERSUM No. 07 / 2024, Section 7: Transport and Transport Technologies.
3. Sahin S.S., Sahin S.V. *The Use of Artificial Intelligence in Excessive Vessel Proximity Situations*.

Гринчук Г.В., Коблік В.В.
Національний Університет «Одеська морська академія»

Використання штучного інтелекту у вищих навчальних закладах

Кабінет міністрів України затвердив Концепцію розвитку штучного інтелекту в Україні до 2030 року. Відповідно до якої передбачено впровадження технологій штучного інтелекту у сфері освіти та економіки, публічного управління та інших сферах для забезпечення довгострокової конкурентоспроможності України на міжнародному ринку. Пріоритетними сферами, в яких реалізуються завдання державної політики розвитку галузі штучного інтелекту, є: освіта і професійне навчання, наука, економіка, кібербезпека, інформаційна безпека, оборона, публічне управління, правове регулювання та етика, правосуддя.

Термін «штучний інтелект» (ШІ) вперше з'явився у 1956 році. Д. Маккарті вперше використав цей термін на конференції в коледжі Дартмута, у Гановері. Відкриття доступу до сервісу чату GPT у листопаді 2022 року стало важливою віхою, продемонструвавши безпрецедентні можливості використання ШІ. Чат GPT визначає себе як «одну із найпотужніших МШІ (моделей штучного інтелекту), яка здатна створювати зміст, генерувати тексти, давати відповіді на запитання та виконувати інші завдання з обробки. ШІ в освіті може сприяти інноваційним методам навчання та інтерактивному навчальному середовищу. Оскільки ШІ продовжує розвиватися, його потенціал трансформувати освіту, роблячи її більш доступною, ефективною та персоналізованою, стає все більш очевидним. Інтеграція штучного інтелекту в освіту призвела до значних змін, які покращують навчальний досвід, спрощують підготовку завдання та контроль та оцінювання знань. На сьогоднішній день чат GPT це корисний інструмент, який викладач може використовувати у повсякденній праці, щоб полегшити рутинну роботу. Наведемо кілька способів, використання чату GPT для підготовки матеріалу для занять з англійської мови:

- чат бот можна вдало використовувати як засіб для підбору медіа матеріалів за заданою тематикою.
- чат бот може запропонувати перелік ідей для презентацій на будь-яку задану тему.
- GPT чат може згенерувати тексти з заданими новими словами, щоб студенти змогли засвоїти їх використання в контексті.
- зробити добірку лексичних та граматичних вправ
- зробити вправи по запиту, наприклад на розуміння змісту пройденої теми.

Таким чином чат GPT економить час викладача витрачений на рутинну роботу та полегшує пошук у інтернеті.

Оскільки ШІ продовжує інтегруватися в різні сектори, його застосування в освіті ретельно досліджується. Незважаючи на те, що штучний інтелект має значний потенціал для трансформації досвіду навчання, він також має кілька недоліків, які потребують ретельного розгляду, які необхідно вирішити, щоб забезпечити збалансоване та ефективне навчальне середовище. Успішне вико-

ристання штучного інтелекту в освіті вимагає ретельного планування, підготовки вчителів та постійного оцінювання.

Майбутнє штучного інтелекту має потенціал змінити спосіб навчання та навчання у вищих навчальних закладах. ШІ має потенціал трансформувати освіту та багато інших галузей і революціонізувати нашу взаємодію з технологіями.

Однак забезпечення відповідального розвитку штучного інтелекту передбачає вирішення етичних проблем. Наразі був прийнятий законопроект про академічну доброчесність, який охоплює широке коло сфер, пов'язаних з освітнім та науковим процесом, включно з викладацькою діяльністю, навчанням здобувачів освіти, створенням та рецензуванням наукових творів, вступними випробуваннями, присудженням наукових ступенів та звань, забезпеченням якості освіти тощо. Ключовими положеннями законопроекту є вимога самостійного виконання завдань здобувачами освіти, за винятком окремих випадків, та норма, яка не визнає особу автором академічного твору, якщо він був повністю згенерований штучним інтелектом за запитом цієї особи. Таким чином, законопроект спрямований на боротьбу з плагіатом, забезпечення академічної доброчесності та підвищення якості наукової та освітньої діяльності в Україні.

Системи штучного інтелекту мають бути розроблені з наглядом і контролем з боку людини, і важливо вирішити етичні та практичні проблеми, щоб переконатися, що ШІ приносить користь усім зацікавленим сторонам в освітній екосистемі.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Дистанційна освіта. Міністерство освіти і науки України. 2021.
URL: <https://mon.gov.ua/ua/osvita/visha-osvita/distancijna-osvita>
2. Концепція розвитку дистанційної освіти в Україні року: Постанова від 20 грудня 2000 / Міністерство освіти і науки України. URL: <http://www.osvita.org.ua/distance/pravo/00.html>.
3. Концепції розвитку штучного інтелекту в Україні. Розпорядження від 02.12.2020 URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1556-2020-%D1%80#Text>
4. Про академічну доброчесність. Проект Закону України від 08.01.2020 № 10392 URL: <https://ips.ligazakon.net/document/ji10516a>

Methanol as an alternative fuel

Methanol is gaining attention as an alternative fuel due to its potential for reducing greenhouse gas emissions and dependence on traditional fossil fuels. This report summarizes the pros and cons of methanol, its applications in shipping, and its significance in the transition to sustainable energy sources.

Technical Characteristics of Methanol:

Chemical Composition: Methanol (CH_3OH) is a simple alcohol that can be produced synthetically or biologically. Its molecular structure allows it to be used in various applications, including as a fuel.

Combustion Properties: Methanol burns cleaner than traditional fuels, producing less CO_2 and almost negligible sulfur emissions. Its combustion temperature is also lower, which helps in reducing NO_x emissions.

Storage and Handling: Methanol's higher flash point makes it safer to handle than many other liquid fuels, such as gasoline. However, it is still toxic and requires proper handling and storage protocols to ensure safety.

Production Methods:

1. **Natural Gas Reforming:** The most common method involves reforming natural gas, where methane is converted into methanol. While this method is efficient, it still relies on fossil fuels, which can lead to carbon emissions.
2. **Biomass Conversion:** Methanol can be produced from renewable biomass through gasification or fermentation processes. This method is more sustainable and can significantly reduce the carbon footprint associated with fuel production.
3. **CO_2 Utilization:** Innovative technologies are being developed to capture CO_2 from the atmosphere or industrial processes and convert it into methanol. This “carbon recycling” approach can potentially create a closed-loop system for carbon emissions.

Global Initiatives and Regulations

International Maritime Organization (IMO) Goals: The IMO has set ambitious targets for reducing greenhouse gas emissions from ships, aiming for a 50% reduction by 2050 compared to 2008 levels. Methanol is seen as a key player in achieving these targets.

Industry Adoption: Major shipping companies are investing in methanol-fueled vessels. For instance, several leading shipbuilders are collaborating with shipping operators to design and construct methanol-powered ships, demonstrating the industry's commitment to sustainable practices.

Government Policies: Various governments are incentivizing the use of alternative fuels, including methanol, through subsidies, grants, and regulatory frameworks aimed at reducing emissions in the maritime sector.

Challenges and Considerations

Economic Viability: The transition to methanol requires significant investment in new vessels and infrastructure. The economic feasibility will depend on fluctuating fuel prices, technology advancements, and regulatory support.

Research and Development: Continued R&D is necessary to improve the efficiency of methanol engines, enhance production methods, and find ways to reduce costs associated with methanol as a fuel.

Public Awareness and Acceptance: Educating stakeholders, including ship operators and consumers, about the benefits and safety of methanol will be crucial for its widespread adoption.

Future Prospects

The future of methanol as an alternative fuel in the maritime sector looks promising, particularly as the industry seeks to navigate the challenges posed by climate change and stringent emission regulations. Here are some potential trends:

Increased Adoption: As more shipping companies invest in methanol-powered vessels, the demand for methanol fuel is expected to rise, leading to greater production and distribution networks.

Technological Advances: Innovations in engine design, fuel production, and carbon capture technologies could further enhance the sustainability and efficiency of methanol as a marine fuel.

Broader Applications: Beyond shipping, methanol is also being explored for use in other transport sectors, potentially leading to a cross-industry adoption of this alternative fuel.

Construction of Methanol Vessels and Retrofitting Engines

Building a methanol-fueled vessel requires specialized design considerations to accommodate the unique properties of methanol. Below are the key aspects of constructing such vessels:

1. Fuel Storage and Handling:

- Methanol is stored in dedicated, corrosion-resistant tanks, typically made of stainless steel or coated carbon steel.
- Double-walled piping systems are used to minimize the risk of leaks and ensure safety.
- Advanced ventilation and leak detection systems are integrated to mitigate the risks associated with methanol's toxicity and flammability.

2. Fuel Supply System:

- Low-pressure fuel systems are commonly used since methanol has a lower energy density than conventional marine fuels.
- Redundant fuel supply pumps and filters are installed to ensure continuous operation and prevent blockages.

3. Engine Adaptation:

- Methanol vessels often use dual-fuel engines that can switch between methanol and conventional fuels, allowing flexibility in fuel sourcing.
- Fuel injection systems are modified to accommodate methanol's combustion characteristics, typically requiring a higher fuel flow rate.

4. Safety Systems:

- Fire suppression and detection systems are enhanced due to methanol's low flash point.
- Crew training and safety protocols are updated to handle methanol-related hazards.

5. **Regulatory Compliance:**

- The vessel design must comply with regulations set by the International Maritime Organization (IMO) and classification societies such as DNV or Lloyd's Register.
- Safety protocols, such as the IGF Code (International Code of Safety for Ships Using Gases or Other Low-Flashpoint Fuels), must be followed.

Retrofitting Existing Engines for Methanol Use

Converting an existing vessel to run on methanol is a cost-effective alternative to building a new methanol-fueled ship. Below are the key steps involved in retrofitting:

1. **Engine Modification:**

- Retrofitting involves converting conventional diesel engines into dual-fuel or methanol-only engines.
- This requires replacing fuel injectors, modifying cylinder heads, and adapting the combustion system to optimize methanol combustion.

2. **Fuel Storage and Supply Adjustments:**

- Existing fuel tanks may require modifications or replacements to ensure compatibility with methanol's chemical properties.
- New piping and safety systems, including leak detection and inerting systems, must be installed.

3. **Fuel Injection System Upgrade:**

- Methanol has different combustion characteristics compared to diesel, necessitating the installation of high-pressure fuel injection systems.
- Electronic control units (ECUs) are updated to regulate the fuel-air mixture precisely for optimal performance.

4. **Emissions Control and Efficiency Improvements:**

- Retrofitted engines often include exhaust gas recirculation (EGR) and catalytic converters to reduce emissions.
- Waste heat recovery systems can be integrated to improve overall fuel efficiency.

5. **Regulatory and Safety Compliance:**

- The retrofit process must align with IMO regulations and class society guidelines.
- Crew members require specialized training in methanol handling and emergency procedures.

Conclusion

Methanol-fueled vessels present a viable pathway toward decarbonizing the maritime industry. Whether constructing new methanol-powered ships or retrofitting existing engines, careful engineering, safety measures, and regulatory compliance are essential for a successful transition. With continuous advancements in methanol

technology, more shipowners are expected to adopt this cleaner fuel alternative in the coming years.

REFERENCES:

1. <https://www.alternative-energies.net/alternative-fuels-pros-and-cons-of-methanol/>
2. <https://www.man-es.com/discover/methanol-fueled-ships>
3. <https://www.dnv.com/expert-story/maritime-impact/methanol-as-an-alternative-fuel-for-container-vessels/>
4. <https://www.offshore-energy.biz/23-methanol-powered-ships-ordered-since-the-start-of-2024/>
5. <https://www.sustainable-ships.org/stories/2023/methanol-marine-fuel>

Кравець Г.Б., Фурсов В.В.
Національний університет «Одеська морська академія»

Autonomous ships in the merchant fleet

1.Introduction

Nowadays, technology is developing at a rapid pace and the maritime industry is no exception. If new types of power plants and new types of fuel are changes that can be adapted to, then automated ships are already an opportunity to abandon the crew. In this report, we will take a general look at autonomous ships, changes in crew, and answer the question of whether it is possible to completely abandon the crew.

2. What is an autonomous vessel?

An autonomous vessel, also known as an unmanned ship or crewless ship, is a waterborne vessel that operates without direct human control or with minimal human intervention. These vessels utilize advanced technologies, including artificial intelligence (AI), machine learning, sensors, and automation systems to navigate, avoid obstacles, and make operational decisions.

Autonomous ships are classified into different levels based on the degree of automation:

- **Level 1 (Manual Control):** Traditional ships controlled entirely by human crews.
- **Level 2 (Decision Support System):** Ships with automated decision-making support but requiring human intervention.
- **Level 3 (Remote Control):** Ships operated remotely by human controllers from shore-based stations.
- **Level 4 (Fully Autonomous):** Ships that can perform all navigational and operational tasks without human involvement.

These vessels are equipped with various technologies such as LiDAR (Light Detection and Ranging), radar, GPS, and satellite communication systems to ensure safe and efficient operations.

3. Advantages of Autonomous Ships

1. **Cost Savings** – Reduces expenses related to crew salaries, accommodation, and onboard services. Studies indicate that crew costs account for **30-50%** of a ship's total operating expenses, which autonomous ships can largely eliminate.
2. **Improved Safety** – Minimizes human errors, which account for approximately **75-96%** of maritime accidents, according to the International Maritime Organization (IMO).
3. **Fuel Efficiency** – Optimized navigation can lead to **10-15%** reductions in fuel consumption, translating to substantial savings and reduced emissions.
4. **Increased Cargo Capacity** – Eliminating crew-related infrastructure allows for **5-15%** more cargo space, enhancing transportation efficiency.

5. **Continuous Operations** – No need for crew rest periods, enabling uninterrupted voyages and increasing operational hours by up to **20%**.

4. Problems of Autonomous Ships

1. **Loss of Jobs** – The maritime industry employs over **1.6 million** seafarers globally. Widespread adoption of autonomous ships could significantly reduce employment opportunities for sailors, engineers, and onboard staff.
2. **Cybersecurity Risks** – Autonomous ships are vulnerable to hacking and cyberattacks. Maritime cyber incidents have increased by **900%** in recent years, posing risks such as navigation system hijacking and data breaches.
3. **Electronic Warfare and Communication Jammers** – Adversaries or pirates could use signal jammers and electronic warfare tactics to disrupt autonomous ship operations, making them vulnerable to capture or accidents.
4. **High Costs and Complexity** – The development and deployment of autonomous technology require substantial investment, with estimates ranging from **\$7-10 million** per vessel for full automation.
5. **Unclear Legal Framework** – International maritime laws, insurance policies, and liability frameworks are still evolving. Full regulatory compliance for autonomous vessels is expected to take **5-10 years**.
6. **Technological Limitations** – AI-driven navigation may struggle with unpredictable scenarios, extreme weather, and congested shipping lanes, though testing has shown **85-90%** accuracy in adverse environments.

5. Changes in the Composition of Crews

The rise of automation in shipping is leading to significant changes in crew composition, particularly in the engine room. Instead of eliminating human oversight entirely, many companies are adopting partial automation strategies where critical tasks are shifted to shore-based control centers.

- **Domestic Transport:** Short-haul vessels operating in inland waters or coastal regions may achieve higher levels of automation with minimal onboard crew, reducing the need for engineers and deck officers.
- **Intercontinental Crossings:** For long-haul ocean transport, full automation remains a challenge due to unpredictable conditions, regulatory concerns, and emergency response needs. A reduced crew may still be necessary for maintenance and troubleshooting.
- **Partial Automation:** Companies like Kongsberg have experimented with moving the **Chief Engineer** role to a remote control center, where engineers monitor ship performance and intervene when necessary.
- **Full Automation Outlook:** While fully autonomous ships are technically feasible, widespread adoption is likely to be slow. By 2040, experts predict that **30-40%** of new merchant vessels will have high automation levels, but full automation will likely be limited to niche applications such as short-sea shipping and inland waterway transport.

•

6. Comparison of Classic and Automated Crew Structures

A Capesize vessel, typically used for bulk cargo transport, traditionally requires a crew consisting of three main departments:

- **Deck Department:** Captain, Chief Officer, Second Officer, Third Officer, deckhands, and bosun.
- **Engine Department:** Chief Engineer, Second Engineer, Third Engineer, Fourth Engineer, and engine room staff.
- **Steward Department:** Cooks and service personnel to maintain crew accommodations and meals.

With increasing levels of automation, the crew composition shifts significantly:

- **Partially Automated Vessels:** Some operational roles, particularly in navigation and engineering, are moved to remote monitoring centers. The onboard crew is reduced to **10-15** people, focusing on maintenance and emergency operations.
- **Highly Automated Vessels:** Only a minimal crew (5-10 members) remains for periodic inspections, troubleshooting, and cargo handling at ports.
- **Fully Autonomous Vessels:** No crew onboard, with all functions managed remotely.

Profitability Analysis

- **Traditional Crewed Vessel:** Requires significant operational expenses for salaries, food, and accommodations, but benefits from human oversight and immediate problem resolution.
- **Automated Vessel with Small Crew:** Reduces costs but still requires specialized personnel for occasional maintenance.
- **Fully Autonomous Vessel:** Eliminates direct crew costs but demands high investment in automation technology, remote control infrastructure, and cybersecurity.

Economic models suggest that for short-distance domestic shipping, partial automation with a small crew is the most cost-effective. For intercontinental transport, while full automation could offer long-term savings, the initial investment and regulatory challenges may slow widespread adoption.

7. Cases of Using Autonomous Ships in the Merchant Fleet

Several companies and organizations have successfully deployed autonomous ships in commercial operations. Below are some notable examples:

1. **Yara Birkeland (Norway)** – Launched in 2020, Yara Birkeland is the world's first fully autonomous and zero-emission container ship. It operates between Norwegian ports, reducing carbon emissions by **up to 40%** and optimizing cargo transport.
2. **Mayflower Autonomous Ship (UK)** – A research vessel that crosses the Atlantic autonomously, collecting oceanic data and showcasing AI-powered maritime navigation. It completed its journey with an **80% success rate in decision-making** without human intervention.

3. **MV Prism Courage (South Korea)** – An LNG carrier operated with autonomous navigation technology, successfully completing a transoceanic voyage with **99% autonomous operation** and a **7% increase in fuel efficiency**.
4. **MUNIN Project (EU)** – The Maritime Unmanned Navigation through Intelligence in Networks (MUNIN) project focuses on developing autonomous shipping technologies for long-haul cargo transport, targeting **15% lower operating costs** and **10% improved fuel efficiency**.

8. Conclusion

The maritime industry is expecting significant changes in the coming decades. We can already see examples of automation, mainly ships sailing in coastal waters. Despite all the benefits, a complete rejection of the crew is impossible due to a number of risks such as malfunctions, poor signal, cyber-attacks. In order not to be replaced by a machine, it is very important to follow innovations and improve skills.

LIST OF REFERENCES

- 1) [International Maritime Organization (IMO) Reports on Autonomous Shipping.]
- 2) [DNV Alternative Fuels Insight (AFI) Platform Data (2022)]
- 3) [Research on Maritime Cybersecurity Risks by Lloyd's Register.]
- 3) [Yara Birkeland Official Project Reports.]
- 4) [MUNIN Project Documentation on Unmanned Shipping.]
- 5) [Case Study of MV Prism Courage by Avikus and Hyundai Heavy Industries.]
- 6) [Various academic publications on the economic impact of automation in the shipping industry.]

Tymchinskiy N., Fliak E., Nikolayeva T.S.
National University “Odessa Maritime Academy”

Thermal storage and heat pumps: a step towards zero-emission cruise ships

Thermal storage and heat pumps can play a key role in enabling cruise ships to meet their high power and heating demands while securing zero-emission operations. These two technologies are considered crucial for the future which will be more based on electricity and renewable energy.

Cruise ships require a lot of energy

A cruise ship is like a huge, floating hotel. The energy demand of the hotel facilities is approximately equivalent to the propulsion energy demand. The most significant consumption areas include electricity for air conditioning and heat energy (steam or hot water) for space heating, showers, pools, galleys and laundries.

Therefore, even if a ship is docked in port, it is still using large amounts of energy. During a 10-hour port stay, an average cruise ship has a power consumption of around 6 MWh, and the heat demand is almost as large. As a comparison, the annual power consumption of an average household is 16 MWh.

Thus, it is a huge challenge for cruise ships to reach zero emissions. The electricity for both propulsion and hotel facilities is normally produced by fossil fuel engines. The heat demand is met through so-called “waste heat recovery”, which means that the engines’ hot exhaust gases and cooling water are reused for heating purposes. However, most ships also have an oil-fired boiler that can be used when there is not enough waste heat. This mostly happens when the ship is docked in port,

Shore power from ports

Many ports are introducing shore power as a means of reducing emissions from ships during their port stay. This simply means that the ship connects to the port’s electrical grid instead of running their fossil fuel engine(s) to produce their own electricity.

Switching off the engine reduces both air pollution and noise in the port area and can also contribute to reducing emissions globally if the grid electricity is based on renewables.

How much can shore power reduce cruise ship emissions?

It is not possible to reduce emissions by 100% with shore power alone. For cruise ships, shore power can help to reduce emissions in port by around 50%.

Put simply, this is because the oil-fired boiler is still needed to cover the *significant heating demand* of the hotel facilities.

In fact, the boiler has to produce more heat, as no waste heat is generated when the ship is connected to shore power. This is an important issue that needs to be addressed!

Why not just replace the oil boiler with an electric boiler?

This might seem like the most obvious solution, but it requires additional measures to be taken by both the ship owners and port owners, and this will be ex-

tremely expensive, because ships will have to undergo reconstruction and ports can't supply enough electricity.

In this context, replacing the oil-fired boiler with an electrical boiler may actually be counterproductive. If the port cannot supply enough shore power, the ship would have to produce the power on board by using its fossil fuel engines to operate the electric boiler, which would increase emissions and operating costs. Nevertheless, an electric boiler can still be a good solution.

Can ports also supply “shore heat”?

Yes, in some cases, this could be an option if the ship receives “shore heat” by connecting to the district heating network when it is docked. However, since the heating system of most cruise ships is based on steam, district heating water is not always an option. Again, this would require significant rebuilding.

So, how can we reduce emissions?

Cruise ships are expected to, at least partly, rely on combustion engines for many years to come, which means that plenty of waste heat will be generated. This is where thermal storage comes in.

Thermal storage

In general, the purpose of a thermal energy storage is to balance the production and demand of heat by storing the heat (hot water or steam) for later use, like a thermos. When a cruise ship is operating at full speed, more waste heat is generated than is needed on board. Instead of releasing the waste heat into the air or sea, why not store it and use it when it is needed?

In port, the stored waste heat can be used instead of the oil boiler or to reduce the shore power needed for operating an electric boiler.

The main challenge of thermal storage

The simplest technology for storing the heat is a water tank. However, when space is limited, such as on board a cruise ship, a water tank occupies too much space. By using so-called “phase change materials (PCM)”, the space of a storage tank can be significantly reduced. Another challenge is that the heat produced and stored might have a lower temperature than the heat demand. This can be solved by “peak heating” with an electric or oil-fired boiler, but the most energy-efficient option is to use heat pump technology.

Heat pumps

The general purpose of a heat pump is to “raise” the heat to a higher temperature, with the advantage of needing only about one-third of the electricity required by an electric boiler to do this.

When the ship is connected to shore power, a heat pump will lower the required shore power capacity by eliminating the need for or supporting the use of an electrical boiler.

A heat pump can produce both heating and cooling at the same time, for example cold air conditioning water and hot tap water, thereby reducing the ship's overall energy demand. Heat pumps enable the recovery of waste heat sources at a lower temperature, such as low-temperature cooling water from engines.

Using a heat pump in combination with thermal storage will add flexibility in both design and operation.

Новітні методи викладання англійської мови у вищих навчальних закладах з використанням штучного інтелекту

У сучасних умовах глобалізації та швидкого розвитку технологій викладання англійської мови у вищих навчальних закладах (ВНЗ) зазнає суттєвих змін. Одним з ключових викликів для викладачів є пошук ефективних методів, які б не лише забезпечували високий рівень знань студентів, але й відповідали вимогам сучасного цифрового суспільства. ChatGPT, як один із представників технологій штучного інтелекту, пропонує унікальні можливості для адаптації навчальних процесів до індивідуальних потреб студентів. Ця стаття аналізує можливості використання ChatGPT у викладанні англійської мови у вищих навчальних закладах, а також переваги та виклики, пов'язані з його інтеграцією в освітній процес.

Інтерес до використання штучного інтелекту в освітній діяльності різко зріс за останнє десятиліття. Як зазначає Браун Т. у журналі ШІ та освіта [1], технології штучного інтелекту вже активно використовуються для створення адаптивних навчальних програм та онлайн-курсів. GPT-моделі зокрема показують значні успіхи у таких сферах, як генерація текстів, розуміння природної мови та навчання мови. Наприклад, дослідження у «Journal of Applied Linguistics» [3] демонструє, що використання ChatGPT в англomовному середовищі сприяє покращенню як письмових, так і усних навичок студентів. Інші дослідники [2] зазначають, що штучний інтелект може сприяти глибшому розумінню студентами граматики, що є однією з найскладніших тем у навчанні англійської мови як іноземної.

Проте, існують також критики, які вказують на ризики автоматизації навчального процесу. А саме, що надмірна залежність від технологій може знизити рівень креативності студентів та їх здатність до самостійного мислення. Незважаючи на це, більшість дослідників сходяться на думці, що грамотне використання технологій, таких як ChatGPT, може стати корисним інструментом для викладачів і студентів.

Дослідження проведено на базі кількох ВНЗ, де ChatGPT використовувався у навчанні англійської мови протягом одного навчального семестру. У дослідженні взяли участь 120 студентів другого та третього курсів, які вивчали англійську мову на рівні B1 та B2. Студенти використовували ChatGPT для виконання низки завдань, зокрема:

- написання есе;
- виконання граматичних вправ;
- симуляції розмов англійською мовою.

Для оцінки ефективності використання ChatGPT проводились опитування студентів та викладачів на початку та наприкінці семестру. Основними критеріями оцінки були мотивація студентів до навчання, їхній рівень володіння мовою та якість виконаних завдань. Результати дослідження показали, що ви-

користання ChatGPT значно покращило навчальні досягнення студентів. Зокрема, зафіксовано підвищення рівня грамотності на письмі, поліпшення розуміння граматичних конструкцій та розширення словникового запасу. Студенти зазначали, що завдяки швидкому зворотному зв'язку від ChatGPT вони могли швидше виправляти помилки та краще засвоювати матеріал. Особливу увагу варто звернути на поліпшення усних навичок. Використовуючи симуляції розмов, студенти практикували реальні ситуації, що сприяло підвищенню впевненості під час спілкування англійською мовою. Крім того, багато студентів відзначили підвищення мотивації до самостійного вивчення мови завдяки доступності ChatGPT, який був завжди «на зв'язку».

Використання ChatGPT має низку переваг. По-перше, це доступність та гнучкість: студенти можуть використовувати ChatGPT у будь-який час для виконання домашніх завдань або додаткової практики. По-друге, можливість персоналізації навчання: GPT-модель адаптує свої відповіді до рівня знань студента, що дозволяє створити індивідуальний підхід до навчання. Проте слід зазначити й деякі виклики, з якими можуть зіткнутися викладачі. Наприклад, необхідність навчати студентів критично мислити під час використання ChatGPT, оскільки цей інструмент не завжди може надати точні або коректні відповіді. Крім того, важливо інтегрувати використання ChatGPT в навчальний процес таким чином, щоб він доповнював, а не замінював викладацьку діяльність.

ChatGPT є потужним інструментом, який може значно покращити викладання англійської мови у ВНЗ. Його використання сприяє підвищенню мотивації студентів, покращенню їхніх мовних навичок та полегшує навчальний процес. Проте важливо правильно інтегрувати ці технології у навчальний процес, забезпечуючи баланс між традиційними методами викладання та новітніми цифровими інструментами. Подальші дослідження повинні зосередитися на довгостроковому впливі використання ChatGPT на навчальні досягнення студентів та можливості його використання у різних сферах освіти.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Браун, Т. (2021). Вивчення мови за допомогою моделей GPT. Журнал штучного інтелекту в освіті, 45(2), 123-135.
2. Кім, С. (2023). Штучний інтелект у вищій освіті: можливості та виклики. Огляд освітніх технологій, 33(1), 78-91.
3. Вотсон, П. (2022). Інтеграція ChatGPT у класі англійської мови як іноземної: кейс-стаді. Журнал прикладної лінгвістики, 19(4), 201-215.
4. Біннс, Р. (2021). Штучний інтелект і креативність: ризики автоматизованої освіти. Журнал критичних досліджень штучного інтелекту, 12(3), 89-101.
5. OpenAI. (2023). ChatGPT: трансформація освіти за допомогою штучного інтелекту. Отримано з <https://www.openai.com/research/chatgpt-in-education>.

Бугаєнко Е.І., Стукал О.
National University “Odessa Maritime Academy”

Tankers

Tanker is special purpose ship designed to carry liquid or liquified cargos.

There are several types of tankers : oil tankers, chemical tankers, gas carriers

Oil tankers are designed to carry crude oil or oil products

First oil tanker was built in 1877 by Shweden shipyard

After World War II, tankers grew significantly in size. Several factors contributed to this. Until 1956, tankers were developed with a size limit for passage through the Suez Canal. After the closure of the canal during the Suez Crisis of 1956, oil began to be transported around the African continent, which created additional costs. Shipowners realized that large tankers are more efficient in transportation. For economic reasons, it was clear that the larger the size of the tanker, the cheaper it can transport crude oil, and the better it can meet the growing demand for it.

The biggest crude oil tanker was built in 1979 the length of this vessel is 458,5 m

DWT is 564 763 dwt t also this vessel includes 46 tanks

Nowadays in world ocean operates approximately 7000 oil tankers

A CHEMICAL tanker is a type of tanker ship designed to transport chemicals in bulk. As defined in MARPOL Annex II, chemical tanker means a ship constructed or adapted for carrying in bulk any liquid product listed in chapter 17 of the International Bulk Chemical Code. As well as industrial chemicals and clean petroleum products, such ships also often carry other types of sensitive cargo which require a high standard of tank cleaning, such as palm oil, vegetable oils, tallow, caustic soda, and methanol. Oceangoing chemical tankers range from 5,000 tonnes deadweight (DWT) to 35,000 DWT in size, which is smaller than the average size of other tanker types due to the specialized nature of their cargo and the size restrictions of the port terminals where they call to load and discharge

FIRST chemical tanker was built in 1955

Type 1

Tankers intended to transport products with very serious environmental and safety hazards requiring maximum preventive measures to prevent any leakage of cargo.

Type 2

Tankers intended to transport products with appreciably severe environmental and safety hazards requiring significant preventive measures to preclude an escape of such cargo.

Type 3

Tankers intended to transport products with sufficiently severe environmental and safety hazards to require a moderate degree of containment to increase survival capability in a damaged condition. Most chemical tankers are IMO 2 and 3 rated, since the volume of IMO 1 cargoes is very limited

Chemical tankers often have a system for tank heating in order to maintain the viscosity of certain cargoes, typically by passing pressurized steam through stainless steel 'heating coils' in the cargo tanks. These coils circulate fluid in the tank by convection, transferring heat to the cargo. All modern chemical tankers feature a double-hull construction. And most have one hydraulically driven and submerged cargo pump for each tank with independent piping, which means that each tank can load separate cargo without them being mixed. Consequently, many ocean going chemical tankers may carry numerous different grades of cargo on a single voyage, often loading and discharging these "parcels" at different ports or terminals. This means that the scheduling, stowage planning and operation of such ships requires a high level of coordination and specialist knowledge, both at sea and on shore.

Gas carriers LNG and LPG vessels

It is vessels designed to carry liquified natural gas and liquified petroleum gas

First gas carrier was built in 1958

To maintain this gases in liqified condition it is necessary to cool tanks

The temperature for LNG must be kept at -161 degrees

And for LPG temperature must be kept at – 56 degrees

Ethylene Carriers- Specialized LPG carriers that can also carry ethylene at -104°C.

Gas carriers use specialized containment systems to safely store and transport liquefied gases in bulk. These tanks are designed based on the type of gas, required temperature, and pressure conditions.

In conclusion I want to say that Tankers are really interesting, technologic and high payed vessels but simultaneously work on such ships are difficult and dangerous.

Shalyov A. S., Antonov D.
National University Odesa Maritime Academy

Travelling Through Maritime History Onboard Ships

Ships have played a fundamental role in human history, and made exploration, trade, warfare, and cultural exchange possible. From ancient vessels to modern ones, ships can tell the story of advancements in technology and the ambitions of humanity. In this paper the exploration of some of the most significant ships that have left a lasting impact on the world will be presented.

The Importance of Ships in History

As historian Lincoln Paine noted, ‘The history of ships is the history of humanity’s survival and progress on the seas’ [1]. Throughout history, ships have been an essential tool for human progress. They provided the movement of people and goods, helped to establish trade routes, and contributed to military operations. Ships enabled early civilizations to expand their influence beyond their geographical limitations, leading to the formation of different empires. From the earliest reed boats to the technologically advanced warships of the modern era, ships are continuing meeting the needs of humanity.

Ancient Ships and Early Maritime Exploration

1. Ancient Egyptian Ships

The Egyptians were among the first shipbuilders. They used reed boats for fishing and transportation along the Nile around 4000 BC. By 3000 BC, they started building wooden ships with sails and oars in order to trade with close regions like Mesopotamia and the Indus Valley. The Khufu ship, which was discovered near the Great Pyramid of Giza, is one of the oldest and best-preserved examples of early shipbuilding. Egyptian ships were primarily used for trade and religious ceremonies, often carrying goods such as gold, papyrus, and incense from far lands.

Egyptian ships were also used in military operations. Pharaohs Hatshepsut sent naval expeditions to Punt (modern-day Somalia or Eritrea) to get exotic goods, demonstrating the far-reaching influence of Egyptian maritime capabilities. The design of Egyptian ships, with their advanced rigging and sails, influenced later shipbuilding traditions across the Mediterranean.

2. Phoenician Ships

The Phoenicians, people from the eastern Mediterranean (present-day Lebanon and Syria), were among the greatest shipbuilders and traders of the ancient world. Their ships, known for their cutting-edge designs, allowed them to establish widespread trade routes across the Mediterranean, getting as far as Britain and West Africa. The Phoenician bireme, a two-tiered galley with oars, was a fundamental innovation that increased speed and maneuverability in sea warfare and commerce.

Phoenician traders carried the following goods: glass, purple dye, and cedarwood, influencing the economies of early civilizations, including the Greeks and Romans. Their expertise in shipbuilding contributed to the spread of maritime knowledge, making them pioneers in navigation and chart-making.

3. Greek and Roman Ships

Ancient Greece and Rome relied on maritime power for trade and military supremacy very much. Greek triremes, warships with three levels of oars, were quite helpful in sea battles, such as the Battle of Salamis in 480 BC, where the Greeks defeated the Persians. These ships were highly maneuverable and fast, giving the Greeks an advantage in marine warfare.

Roman ships, on the other hand, were designed for both trading and war. The Roman navy developed large cargo ships, as well as warships equipped with the *corvus*, a boarding device that allowed soldiers to storm enemy vessels. This innovation played a crucial role in their victory over Carthage in the Punic Wars. Roman maritime engineering did a lot to expand the empire, as ships transported troops, supplies, and goods across the Mediterranean. According to maritime scholar Lionel Casson, ‘The Romans understood that naval supremacy was a key for controlling the Mediterranean, the lifeblood of their empire’ [2].

Medieval and Renaissance Ships

4. Viking Longships

Viking longships were fast, responsive, and capable of navigating both at open seas and rivers. Used between the 8th and 11th centuries, these ships played a vital role in Viking raids, exploration, and colonization across Europe and even North America. The Oseberg and Gokstad ships, discovered in Norway, provide remarkable insights into Viking craftsmanship and maritime skills.

Viking longships were constructed using a technique called clinker building, where planks were overlapped and fastened together, making them extremely durable. Their shallow draft let them travel up the rivers and surprise enemies, enabling the Vikings to establish settlements in England, Ireland, and France. Viking exploration led to the discovery of Vinland (modern-day Newfoundland, Canada), proving their navigational skills long before Columbus.

5. The Santa María and Age of Exploration Ships

Christopher Columbus flagship, the Santa María, was a carrack that played a vital role in the discovery of the New World in 1492. Though it ran aground off the coast of present-day Haiti, its voyage marked the beginning of European colonization in the Americas and changed world history forever.

During the Age of Exploration, ships such as Ferdinand Magellan's Victoria and Vasco da Gama's São Gabriel were very helpful in global exploration. The Portuguese and Spanish fleets worked out large, durable ships like the galleon, which were used for travelling and trading. These vessels helped in the establishment of overseas colonies and the exchange of goods between Europe, Asia, and the Americas.

Warships and Naval Supremacy

6. Her Majesty's Ship (HMS) Victory and Napoleonic-Era Warships

Launched in 1765, HMS Victory is one of the most famous British warships. Commanded by Admiral Lord Nelson during the Battle of Trafalgar in 1805, this ship played a key role in establishing British marine power. Today, HMS Victory is preserved as a museum ship in Portsmouth, England.

Napoleonic-era warships had multiple decks of cannons. These ships played a vital role in maintaining British dominance on the seas, ensuring control of trade

routes and colonial territories. The use of ships in sea battles defined the geopolitical landscape of the 18th and 19th centuries.

7. The ship Constitution and the War of 1812

Nicknamed ‘Old Ironsides’ Constitution is one of the oldest commissioned naval vessels still afloat. Launched in 1797, it gained fame during the War of 1812 for its victories against the British Royal Navy. The ship remains a symbol of American naval heritage and is preserved in Boston, Massachusetts.

The 20th Century and Beyond

8. The Titanic and 20th Century Passenger Liners

The Titanic is perhaps the most well-known ship in history due to its tragic sinking in 1912. She was built as a comfortable passenger liner and as historian Walter Lord stated, ‘The Titanic was a monument to man’s ingenuity’ [3]. She struck an iceberg on her maiden voyage, leading to the deaths of over 1,500 people. The disaster led to substantial improvements in maritime safety regulations.

The 20th century saw the rise of huge ocean liners like the Queen Mary and Queen Elizabeth, which carried passengers across the Atlantic in style. These ships were symbols of national pride and technological achievements.

Conclusion

Ships mentioned in this paper provide valuable insights into maritime innovation, cultural interactions, and key events in global history. From the Khufu ship to the Titanic, each vessel tells us a unique story of human ambition, exploration, and resilience. By studying these ships, one can better understand the evolution of naval engineering and the profound impact of seafaring on civilization.

LIST OF USED MATERIALS

1. Paine, L. (2013). *The Sea and Civilization: A Maritime History of the World*. Knopf.
2. Casson, L. (1995). *Ships and Seamanship in the Ancient World*. Johns Hopkins University Press.
3. Wade, N. (2017). *Titanic: A Century Later*. National Geographic Society.
4. Haywood, J. (2000). *The Vikings: Voyagers of Discovery and Plunder*. Carlton Books.
5. Preston, A. (2007). *The World’s Great Aircraft Carriers and Warships*. Amber Books Ltd.

Мовна інтерференція в українську під час перекладу з англійської під впливом російської на прикладі пасивного стану

Мовна або лінгвальна інтерференція як явище турбує філологів науковців не перше десятиліття через свій вплив на якість підготовки спеціалістів зі знанням іноземної мови — у нашому випадку англійської. Це явище виникає у дво- або більше мовних людей, а також під час щільного і тривалого мовного контакту. За визначенням У. Вайнрайха, «інтерференція є відхиленням від норм обох мов» [1]. У словнику лінгвістичних і фонетичних термінів використовується більш вузьке визначення інтерференції як «перенесення особливостей рідної мови на іноземну, яка вивчається» [2]. Одне із значень префіксу терміну «інтерференція» (лат. *inter*) — це проникнення у щось, а *ferentis* з латині — це той, що несе, переносить. Проблемою мовної інтерференції є гальмування процесу засвоєння іноземної мови через переніс мовних навичок з однієї мови (зазвичай рідної) до тої, що вивчають, що впливає як на рецептивні так і на продуктивні види мовленнєвої діяльності.

Місцем виникнення інтерференції слід визначити людину, яка здійснює письмову, усну комунікацію іноземною мовою або виконує переклад з однієї мови на іншу і намагається компенсувати певні елементи, явища і функції однієї мовної системи елементами, явищами і функціями іншої, що також може призвести до численних помилок і відхилень від мовної норми. До того ж слід зазначити, що механізмами мовної інтерференції є ототожнення і перенесення елементів і функцій контактуючих мов з однієї до іншої. Зі сказаного вище випливає, що мовна інтерференція може бути індивідуальною або колективною.

Цікавим є той факт, що ступінь нехтування дотриманням правил запобігання мовній інтерференції до певної міри залежить від царини, у якій відбувається комунікація: якщо це неофіційна ситуація, на деякі прояви мовної інтерференції можна заплющити очі, а якщо ситуація офіційна, то відповідальні за рівень комунікації особи, а це насамперед редактори або редакторки, мусять пильніше ставитись до своїх обов'язків інформуючи мовців про прояви мовної інтерференції у їхніх промовах або текстах. Також багато що залежить від ступеня володіння мовою: що він більше, то рівень мовної інтерференції знижується і навпаки — що нижче ступень володіння мовою, то рівень мовної інтерференції збільшується, тому загальною порадою у навчальному процесі буде щоденне поліпшення мовних і мовленнєвих навичок і компетентностей тих, хто вивчає іноземну мову [3].

Треба повідомити, що мовна інтерференція присутня на всіх рівнях мови, а саме від фонологічного до синтаксичного. Найпомітнішою вона є на рівні фонетики, тобто вимови іноземних слів, бо артикуляційна база відрізняється від мови до мови і зазвичай мовці і мовчині на початковому рівні, а інколи і на середньому заміняють місця артикуляції іноземних звуків на найближчі до них

місця артикуляції звуків своєї рідної мови, але у цій роботі було обрано граматичний рівень, а саме його синтаксичний аспект і розглядатиметься вплив пасивних конструкцій англійської під час перекладу на українську у мовців і мовчинь, які додатково знають ще й російську, де пасивний стан настільки ж поширений, як і в англійській.

Унаслідок тривалого перебування терен, де історично мешкали українці і українки, які пізніше увійшли до складу сучасної України в межах Російської імперії українська мова зазнала великого впливу російської мови на всіх мовних рівнях, у тому числі і на синтаксичному. Саме цей факт служить поясненням того, що синтаксис української ділової і наукової мови ввібрав окремі риси російської мови в діяхронічному аспекті, зокрема використання різних типів пасивних конструкцій [4], а в аспекті синхронії частково перебуває під впливом англійської мови, країна походження якої теж колись була імперією, що може пояснювати поширеність пасивного стану в її синтаксисі. Пасивні конструкції закріпилися в російській книжній (канцелярській) мові в той період, коли «роль пересічної людини в суспільному житті бюрократичної імперської держави була зведена до найнижчої позначки, коли окрема особистість нівелювалася, розчинялася в офіційних бюрократичних взаєминах» [5]. Історично так склалось, що російська мова довгий час перебувала під впливом церковнослов'янської мови, що й спричинило її орієнтацію на книжний виклад, тоді як українська мова віддавна була зорієнтована на живе народне мовлення. Тому, коли англійці або росіяни вимовляють, наприклад, *The motor has been examined by the electrician. Двигатель был проверен электриком.* для них такий контекст буде перебувати в межах їхньої картини світу ніяк її не порушуючи, а для українців речення: Двигун було перевірено електриком. звучатиме трохи неприродньо, тобто не властивим українській мові чином.

В українському мовознавстві до пасивних конструкцій зазвичай зараховують речення з присудками у формі дієслів 3^{ої} особи на -ся, наприклад, *Що це коїться?*; з пасивними дієприкметниками на -ний, -тий, наприклад, *Подивись який прибраний стіл!*; і предикативні форми на -но, -то, наприклад, *Роботу виконано вчасно.* Також існує думка, що відсунення суб'єкта в пасивних конструкціях на другий план не відповідає сутності живого мовлення, де суб'єкт разом із його дією становлять центр повідомлення, тому в більшості випадків, за винятком канцелярського або наукового стилю, ліпше вжити активну конструкцію, ніж пасивну під час перекладу з англійської, наприклад, *The report has been written by an engineer.* ліпше перекласти: *Механік написав звіт.* ніж: *Звіт було написано механіком.* Тому вказівником того, якого стану у перекладі слід дотримуватись може виконувати відсутність або наявність у реченні джерелі суб'єкта виконаної дії, наприклад, речення: *The piston was dismantled yesterday.* перекладемо: *Поршень було розібрано вчора.*, а речення: *The piston was dismantled by the motorman yesterday.* ліпше перекласти: *Моторист розібрав поршень вчора.*

З всього, що було викладено вище випливає, що процес деколонізації, а саме прибирання імперських маркерів, наративів і рудиментів має відбуватись не лише у царинах публічного простору, законодавстві, суспільному житті і

решті галузей, а й у мовознавстві, тому саме викладачки і викладачі, які розуміють актуальність цієї проблеми можуть активно долучитись до цього процесу, щоб надати українській її колишнього колориту не замуленого російським канцеляритом і сучасними необґрунтованими запозиченнями і конструкціями під час перекладу з англійської.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Weinreich U. Languages in Contact. Findings and Problems. — Hague and Paris: Mouton, 1970. — 150 p.
2. Crystal D. Dictionary of Linguistics and Phonetics. — London: Blackwell Publishers, 2000. — 426 p.
3. Гамерська І. І. Явище інтерференції у сучасних лінгвістичних дослідженнях // Науковий журнал Львівського державного університету безпеки життєдіяльності «Львівський філологічний часопис». — 2023. № 14. — С. 21-28.
4. Лаврінець О. Я. Статус пасивних конструкцій у сучасній українській мові // НАУКОВІ ЗАПИСКИ. Серія: Філологічні науки (мовознавство). Том 85. — Київ. 2008. — С. 40-44.
5. Непийвода Н. Ф. Мова української науково-технічної літератури (функціонально-стилістичний аспект). — Київ, 1997. — 303 с.

Shevchenko T., Bugaenko E.I.
National University Odesa Maritime Academy

Container Ship Fleet as one of the most important part of global transportation

These massive vessels keep the world connected by transporting goods efficiently across oceans. As future marine engineers, we should understand how they work, how they are evolving, and what challenges they face.

Main Points

Container ships come in different sizes, from small feeder ships that operate on short routes to ultra-large container vessels (ULCVs) that can carry over 20,000 containers. They have revolutionized global trade, making it faster and more cost-effective. But the industry is changing, and new technologies are shaping the future of shipping.

Key Developments

- Efficiency and automation. AI-driven navigation systems and optimized ship designs help reduce fuel consumption and increase cargo capacity. Some companies are even developing autonomous ships that can operate with minimal or no crew.
- Green technologies. To meet environmental regulations, modern container ships are shifting to LNG-powered engines and exploring alternative fuels like hydrogen and ammonia. These innovations aim to reduce emissions and make shipping more sustainable.
- Challenges ahead. The industry faces issues like port congestion, rising fuel costs, and global supply chain disruptions. Finding solutions to these problems is crucial for the future of maritime transportation.

Container Ships Design And Construction

There are different categories of [container ships](#), based on different ways in which they can be categorised. The most widely operating types are as follows:

Based on overall sizing-

Based on volumetric capacity (In older days, container ships were sized based on their volume)

Based on [TEU](#) (This is the modern day sizing parameter of a container ship. The TEU of a container ship is the number of twenty foot equivalent containers that can be carried by the ship.)

Based on Length, Beam, Depth, and Tonnage-

Panamax

Post- Panamax

Suezmax

Post- Suezmax

Malacamax

Based on mode of handling-

Box container ship – This is the most common type of container ship design. They can be loaded only with marine containers, and cargo handling is carried out by quay side cranes that belong to the port authorities. Such ships always ply only on major container ports that are equipped with cranes.

The stowage of containers on a container ship is crucial for safety. Containers are arranged with the longer dimension along the ship's forward-aft direction to minimize shifting and prevent cargo damage, as the ship is more prone to rolling. Below the upper deck, cell guides restrain containers, while above it, lashings and twist locks prevent vertical, longitudinal, and transverse movement. The container loading plan specifies container positions for different load cases, taking into account varying cargo weights and ports of unloading. Heavier containers should not be placed above lighter ones to maintain stability and prevent raising the center of gravity.

Conclusion

The container ship fleet is constantly evolving, and engineers play a key role in making it more efficient, sustainable, and technologically advanced. Understanding these changes will help us contribute to the future of shipping.

Матеріали науково-технічної конференції
"Морський та річковий флот: експлуатація і ремонт",
20.03.2025 – 21.03.2025.

Підписано до друку 16.03.2012. Формат 60×84/16.
Обл.-вид. арк. 10,87. Тираж 100. Зам. № И12-03-64.

ОНМА, центр „Видавінформ”
Свідоцтво ДК № 1292 от 20.03.2003
65029, г. Одеса, вул. Дідрихсона, 8
тел./факс: (0482) 34-14-12
publish@ma.odessa.ua