

**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»
19.03.2026 – 20.03.2026**

Одеса – 2026

Матеріали науково-технічної конференції «Морський та річковий флот: експлуатація і ремонт», 19.03.2026 – 20.03.2026.– Одеса: НУ "ОМА", 2026. – 322 с.

Матеріали публікуються згідно з поданими авторами оригіналами.

ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ КОМІТЕТ

Голова:

Захарченко В. М. – д.т.н., професор, в.о. ректора Національного університету «Одеська морська академія (НУОМА), проректор з науково-педагогічної роботи.

Заступники голови:

Ворохобін І.І.- д.т.н., професор, проректор з учбової роботи НУОМА;

Міюсов М. В – д.т.н., професор, радник ректора НУОМА;

Колегаєв М. О. – к.т.н., професор, директор навчально-наукового інституту інженерії (ННІ) НУОМА;

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

Сандлер А.К.– к.т.н., доцент, начальник НДЧ НУОМА;

Члени оргкомітету:

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

Веретеннік О.М. – д.т.н., професор кафедри суднових енергетичних установок НУОМА;

Голіков В. А. – д.т.н., професор, завідувач кафедри технічної експлуатації флоту НУОМА;

Горб С. І. – д.т.н., професор, завідувач кафедри теорії автоматичного керування та обчислювальної техніки НУОМА;

Журавльов Ю.І. – к.т.н., доцент кафедри інженерної механіки і судноремонту НУОМА;

Кіріс О. В.– к.т.н., професор кафедри суднових енергетичних установок НУОМА;

Козицький С. В. – д.ф.–м.н., професор кафедри інженерної механіки і судноремонту НУОМА;

Малахов О.В. – д.ф.– м.н., професор кафедри суднових допоміжних установок і холодильної техніки НУОМА;

Нікольський В. В. – д.т.н., професор кафедри технічної експлуатації флоту НУОМА;

Цинова М.В.– к.ф.н., доцент, завідувач кафедри англійської мови в морській інженерії НУОМА;

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

Онищенко О.А. - д.т.н., професор кафедри управління судном НУОМА;

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 НУОМА;

Сагін С.В. – д.т.н., професор, завідувач кафедри суднових енергетичних установок НУОМА;

Харченко Р.Ю. – к.т.н., доцент, завідувач відділом аспірантури та докторантури НУОМА;

Хлієва О. Я. – д.т.н., професор, завідувач кафедри суднових допоміжних установок і холодильної техніки НУОМА.

ТЕМАТИКА КОНФЕРЕНЦІЇ:

Секція 1. Експлуатація і ремонт транспортних засобів морського та річного флоту;

Секція 2. Двигуни та енергетичні установки;

Секція 3. Інженерні технології екологічної та професійної безпеки на морі;

Секція 4. Сучасні інформаційні технології в освіті та іншомовна підготовка суднових інженерів.

ЗМІСТ

ЕКСПЛУАТАЦІЯ І РЕМОНТ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ МОРСЬКОГО ТА РІЧНОГО ФЛОТУ	9
Голіков В. А. Сандлер А. К. Данилов К. С. Автоматизована акустична форсунка для систем придушення пилу.....	9
Корбан В. Х., Шумілова К. В. Метод кругової поляризації електромагнітного випромінювання для очищення вихлопних газів суднових енергетичних установок.....	16
Шумілова К. В., Шумілов Д.І. Тенденції цифровізації в ракурсі управління технологічними процесами складних систем морського судна.....	21
Дрозд О. В. Новітні технології відновлення роботоспроможності суднових вантажних кранів.....	26
Корх М.В. Підвищення ефективності експлуатації морських суден та суден внутрішнього плавання засобами інженерно-графічної підготовки	31
Колегаєв М.О., Богач В.М. Перспективи розвитку лубрикаторних систем суднових дизелів.....	37
Козицький С. В., Корнієвич С. Г. Використання полімерних композиційних матеріалів для забезпечення актуальних потреб у сучасних матеріалах на судні	45
Козицький С. В., Корнієвич С. Г. Використання наночасточок при створенні нових полімерних композитних матеріалів в морській галузі.	51
Латиш О.М., Довиденко Ю.М. Використання наноматеріалів для підвищення зносостійкості і довговічності деталей машин і механізмів.	58
Огурцов Д.В., Козьмініх М.А., Шестопапов К.О. Особливості застосування живильних насосів у суднових системах утилізації скидної теплоти на основі органічного циклу Ренкіна.....	65
Zhuravlov Yu.I., Obertiur K.L. Improving the efficiency of hardening the working surfaces of ship technical equipment (STE) parts restored by surfacing.	69
ДВИГУНИ ТА ЕНЕРГЕТИЧНІ УСТАНОВКИ.....	76
Аболешкін С.Є., Кардашев Д.Л. Порівняння амплітуд гармонік збурювальних моментів суднових дизелів при використанні спрощених теоретичних та дійсних індикаторних діаграм.....	76
Будашко В.В., Чуйко Я.І. Підвищення енергоефективності суден за рахунок впровадження розподільних мереж постійного струму та гібридних технологій	82
Браженко Л.Р., Половинка Е.М. Analyse of marine diesel engine performance	91
Дулдієр О.П. Необхідні умови для оцінки якості горіння по кольору полум'я.....	97

Заблоцький Ю.В. Забезпечення вимог міжнародної програми Green Logistics під час експлуатації суден морського транспорту	103
Константинов О.І., Александровська Н.І., Глек Я.О, Хлієва О.Я. Енергетична ефективність суднової ORC-установки потужністю 300 кВт при утилізації теплоти охолодження двигуна Wärtsilä 12V46F	109
Разінкін Р.О. Використання імітаційного статистичного аналізу даних під час діагностування технічного стану дизелів суден морського транспорту.....	113
Сагін С.В., Куропятник О.А. Забезпечення вимог MARPOL щодо емісії оксидів сірки шляхом використання палива, яке складають гідровані рослинні мастила	120
Сагін А.С. Управління фазами впорскування під час тимчасового використання в суднових дизелів палива з низьким вмістом сірки	126
Сальников В.О. , Половинка Е.М. Analysis of a crdi diesel engine powered by ternary fuel blends (diesel, biodiesel, and pentanol) doped with alumina nano-additives	132
Стукаленко О.М. Використання постійного опору фрикціона у здвоєному підвісі суднового вантажопідйомного пристрою	137
Черемісін В.І., Ігнатенко О.А. Термодинамічна оцінка резервів підвищення економічності двигунів внутрішнього згорання з випуском газів, що відпрацювали в атмосферу.....	142

ІНЖЕНЕРНІ ТЕХНОЛОГІЇ ЕКОЛОГІЧНОЇ ТА ПРОФЕСІЙНОЇ

БЕЗПЕКИ НА МОРІ.....	148
Парменова Д. Г., Колегаєв М. О., Бондар С. А. Актуалізація підготовки моряків у контексті розвитку міжнародних морських стандартів	148
Парменова Д. Г., Бондар С. А. Формування та оцінювання професійних компетентностей морських фахівців.....	155
Парменова Д.Г., Кулешов І.М. Цифрові інструменти декарбонізації морського транспорту	160
Голікова В.В., Крайнова В.І. Ментальний стан екіпажу як критичний фактор експлуатаційної надійності судна	166
Олійник В.В. Організація порятунку людей із повітряних подушок затоплених кораблів та суден.....	171
Мамкічев М.А. Навчання екіпажу використанню колективних рятувальних засобів під час залишення судна у надзвичайних ситуаціях	176
Мамкічев М.А. Загальні принципи спуску на воду рятувальної шлюпки вільного падіння (Free-Fall Lifeboat)	184
Розлуцький О.М. Аналіз способів управління безпекою мореплавання на сучасному етапі	190

СУЧАСНІ ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ В ОСВІТІ ТА ІНШОМОВНА ПІДГОТОВКА СУДНОВИХ ІНЖЕНЕРІВ	196
Цинова М.В., Степанов М.О. Practical Recommendations for Engine Cadets at Their First Voyage	196
Tsynova M. V., Belinskyi D.L., Biriukov M.S. Review of modern vessel technologies	198
Цинова М.В., Кравец Г.Б. Трансформаційна роль інтерактивних технологій у підвищенні рівня володіння морською технічною англійською	202
Бугаєнко Т.І. Useful Aspects of Using Digital Tools in the Educational Process	208
Molodtsova V., Lopulenko A. Protection of ships and crew from piracy in modern shipping conditions.....	213
Molodtsova V., Volokolupov V. Conflict Resolution on Board a Vessel. The Role of Modern Information Technologies in the Education of Ship Engineers	216
Kozak S. V., Hnilichenko R. D. Cylinder Lubrication Systems for Marine Engine	220
Kozak S.V., Antonov D. Electric Propulsion System	224
Kozak.S.V., Balanchuk S. Tasks of an Electro-technical Officer on a Ship .	227
Kozak S. V., Adzhiyan A. Sustainability in maritime shipping and reduction of emissions	230
Kozak S.V., Ivanov O. Ship Propulsion System	233
Козак С.В. Розвиток професійних навичок, знань та вмінь студентів у вивченні англійської мови з використанням сучасних методів та рейтингових оцінювань.....	236
Kozak S. V., Prodanov Y. O. Ballast Water Treatment Systems on Modern Ships.....	245
Kozak.S.V., Ambros A. Construction of a ship`s electric motor.....	247
Hrynychuk H., Uzun A. Nuclear-powered merchant ships: an unattainable dream or the near future?.....	250
Соломко М. Ю., Кравець Г. Б. Air Lubricating Systems : their perspective and challenges.....	257
Опришко М. О. Інфографіка як складова частина навчального процесу	260
Кравец Г.Б., Дудніченко С.В. MAN B&W ME-GA Engines Dual Fuel Concept	265
Гринчук Г.В., Коблік В.В. Використання сервісу Google Forms для контролю рівня знань здобувачів вищої освіти в умовах дистанційного та змішаного навчання	270
Koblik V.V., Kanyesvky S. Research on emergency operating modes of a ship`s air start compressor electric drive by using a digital twin model	274
Koblik V.V., Motuzko A. Devices and equipment of modern LNG vessels.	277

Molodtsova V. Educational games in reducing communication barriers among marine engineers.....	284
Кравець Г.Б., Крижановський М. Fire drills on board	290
Ніколаєва Т.С. Використання інноваційних технологій у процесі викладання морської англійської мови.....	295
Nikolayeva T. S., Honcharuk O. Advanced Marine Temperature Sensors... ..	300
Nikolayeva T.S., Zakharchuk V., Boshtan V. The era of ship modernization to increase efficiency	302
Kyryyenko M., Shalyov A.. Exhaust gas cleaning systems (egcs) in modern shipbuilding	305
Shalyov A Preparing for english for speakers of other languages exam	308
Yefymenko Y., Hrynychuk H., Khliyeva O. Energy performance analysis of the reliquefaction plant and fuel gas supply system of an LPG carrier	311
Nikulina O. L English Proverbs of Nautical Origin.....	317

ЕКСПЛУАТАЦІЯ І РЕМОНТ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ МОРСЬКОГО ТА РІЧНОГО ФЛОТУ

УДК 677:628.517.2

Голіков В. А. Сандлер А. К. Данилов К. С.
Національний університет "Одеська морська академія"

Автоматизована акустична форсунка для систем придушення пилу

Постановка проблеми. Для поліпшення якості розпилення, при мінімально можливих економічних витратах енергії, потрібні принципово нові підходи до впливу на рідину, що розпилюється. Одним із інноваційних методів є використання акустичного та вихрового розпилення.

В акустичних форсунках (рис. 1) звукові коливання виникають в результаті обтікання камери резонатора надзвуковим потоком повітря, що призводить до ефективного дроблення рідини.

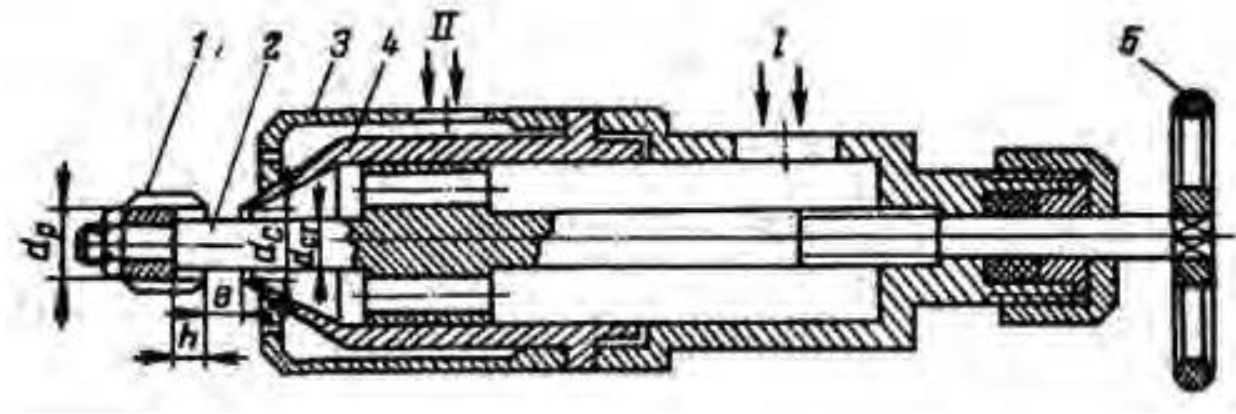


Рис. 1. Схема акустичної форсунки: 1 – резонатор; 2 – стрижень; 3 – втулка; 4 – сопло; 5 – маховик. I – повітря; II – рідина

Існує дві теорії, що пояснюють механізм виникнення коливань. Перша з них, яка ґрунтується на релаксаційному механізмі коливань стрибка ущільнення, стверджує, що взаємодія постійного газового потоку зі зворотним потоком, що періодично виникає, (зумовленим спустошенням резонатора) викликає пульсацію газу в області між резонатором і стрибком ущільнення.

Теорія Ліня надає розуміння процесів, що відбуваються в струмені рідини під впливом зовнішніх коливань. Зокрема, з неї випливає, що при впливі на струмись зовнішніми коливаннями певної форми:

$$w(x_1, t) = w_0(x) + w_1(x) \sin \omega t.$$

Прикордонний шар завтовшки S у височастотному діапазоні

$$\omega \gg \frac{2\nu}{S}$$

коливається за законом

$$u(x_1, y_1, t) = w_1(x) \left\{ \sin \omega t - \left[\exp\left(\frac{-y}{S_0}\right) \sin\left(\omega t \frac{-y}{S_0}\right) \right] \right\},$$

де $S = \sqrt{\frac{2\nu}{w}}$; y – відстань від стінки; ν – коефіцієнт в'язкості [1].

На рис. 2, а представлена залежність медіанного діаметра крапель d_m від продуктивності форсунки та тиску стисненого повітря. З аналізу графічної залежності видно, що за фіксованої продуктивності форсунки, підвищення тиску повітря викликає зменшення медіанного діаметра крапель. Це пов'язане зі збільшенням питомої витрати енергоносія та зростанням акустичної енергії, що генерується випромінювачем.

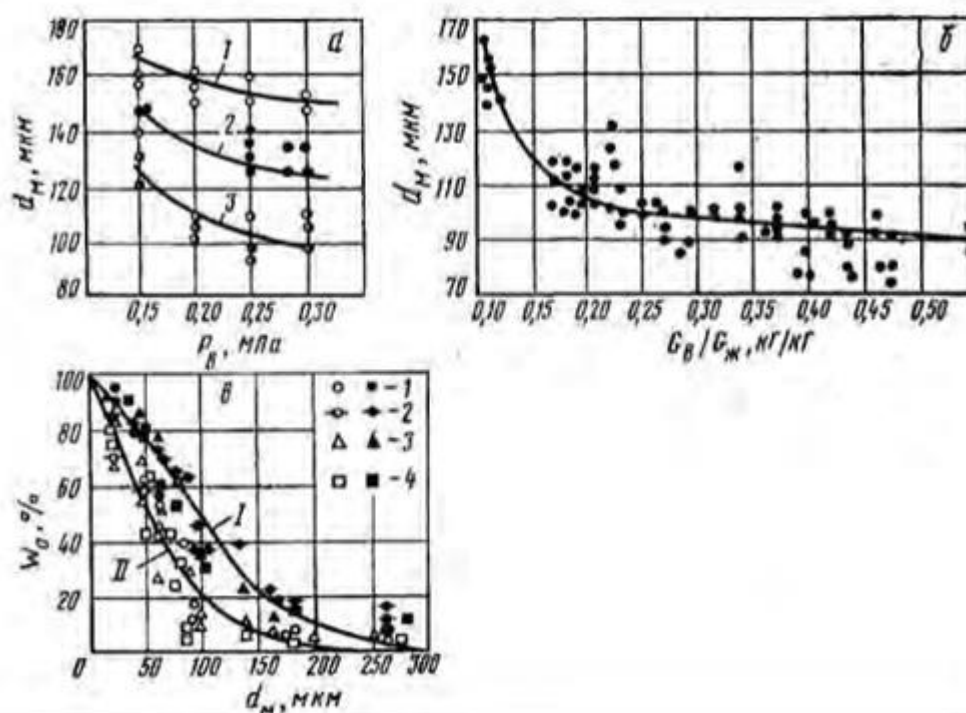


Рис. 2. Зміна медіанного діаметра крапель d_m :

a – залежність d_m від продуктивності форсунки та тиску повітря; 1 – $G_J = 660$ л/г; 2 – 330 л/г; 3 – 250 л/г; *b* – залежність d_m от G_B/G_J ;

в – з залежність d_m від акустичної потужності: 1 – $P_B = 0,15$ МПа; 2 – 0,20; 3 – 0,25; 4 – 0,30; I – діаметр резонатора $d_p = 15$ мм, $l = 10$ мм, $h = 6$ мм, $G_J = 187$ кг/ч, акустична потужність $W_a = 30 \dots 120$ Вт; II $d_p = 15$ мм, $l = 6$ мм, $h = 4$ мм, $G_J = 187$ кг/ч, $W_a = 260 \dots 450$ Вт [1]

Отже, ультразвукові коливання, які взаємодіють з резонатором, дозволяють досягти більш високу дисперсність розпилювання [2 - 4]

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У той же час аналіз існуючих акустичних форсунок показав наступне. Можливості більшості використовуваних пристроїв не дозволяють реалізувати ефективно розпилювання за умови перемінного тиску у гідравлічній системі [5, 6]. Це підтверджує аналіз існуючих конструкцій.

Найбільш відомим є акустичний розпилювач-форсунка, що містить корпус із розміщеним усередині генератором акустичних коливань у вигляді сопла й

резонатора. Сопло та резонатор виконані у вигляді концентричних кільцевих щілин, розташованих у площині, перпендикулярній осі корпусу. Кільце з конічною поверхнею, пов'язане з корпусом, і розпилювач, що служить для утворення рідинної плівки, що перекидає вихід з генератора, і закріплений у корпусі за допомогою порожнього стрижня зі шнековим завіхрювачем на кінці й буртиком для розміщення кільцевого майданчика, на який надходить рідина з розпилювача [7].

Недоліки пристрою полягають у такому:

форсунка не забезпечує високому ступеня розпилу;

форсунка налаштована на один тиск рідини і при застосуванні у системах з іншим тиском робочої рідини потребує перебудови та переналаштування;

конструкція форсунки є надто матеріалоемною та коштовною.

Найбільш близьким за технічною сутністю та результатом, що досягається, до задач розпилювання є акустична форсунка, що містить корпус із розміщеним усередині генератором акустичних коливань у вигляді сопла й кільцевого об'ємного резонатора у вигляді чашки з конічною поверхнею запресованої на стрижні з обтічником. У хвостовій частині якого розташовані перфоровані диски, між якими розміщений порожній конічний розсікач повітря, трубок для підведення повітря й рідини та втулки з верхніми нижнім фланцями [8].

Недоліки пристрою полягають у такому:

форсунка не забезпечує високого ступеня розпилу;

форсунка налаштована на один тиск рідини і при застосуванні у системах з іншим тиском робочої рідини потребує перебудови та переналаштування.

Постановка завдання. Схемотехнічних рішень в області акустичних форсунок, які повною мірою є адаптивними до гідравлічних систем з варіативним тиском робочої рідини, практично не існує. Таким чином, розробка та дослідження акустичної форсунки, яка спроможна функціонувати у широкому діапазоні тиску та забезпечує високу ступень розпилу, є актуальним науково-технічним завданням.

Виклад основного матеріалу дослідження. Аналіз конструкцій відомих акустичних форсунок дозволив конкретизувати вимоги і синтезувати нове схемотехнічне рішення пристрою.

Модернізована акустична форсунка складається з корпусу, з розміщеним всередині генератором звукових коливань ультразвукового частотного діапазону, виконаним у вигляді сопла, що складається з конфузора і отвору для підведення повітря, трубки для підведення рідини через коаксіально розташовану кільцеву порожнину до сопла, жорстко закріпленої у корпусі втулки з верхнім і нижнім фланцями. Також до складу форсунки входять, стрижень з обтічником та перфорованими дисками, які розташовані в його хвостовій частині, розсікач та співвісні конічний та циліндричний отвори на внутрішній поверхні втулки.

Відмінність запропонованої форсунки полягає у тому, що стрижень одним кінцем, через важіль, сполучений з силовою мембраною, яка сприймає робочий тиск у системі, а іншим кінцем сполучений з пелюстковою мембраною, між якою та корпусом встановлене опорне кільце зі стойками.

Конструкція пояснюється кресленням (рис. 3), де зображений корпус 1 з розміщеним усередині генератором звукових коливань ультразвукового частотного діапазону, виконаним у вигляді сопла 3. Сопло складається з конфузора 15 і циліндричного отвору 16 для підведення повітря, що направляє в кільцевий об'ємний резонатор 5.

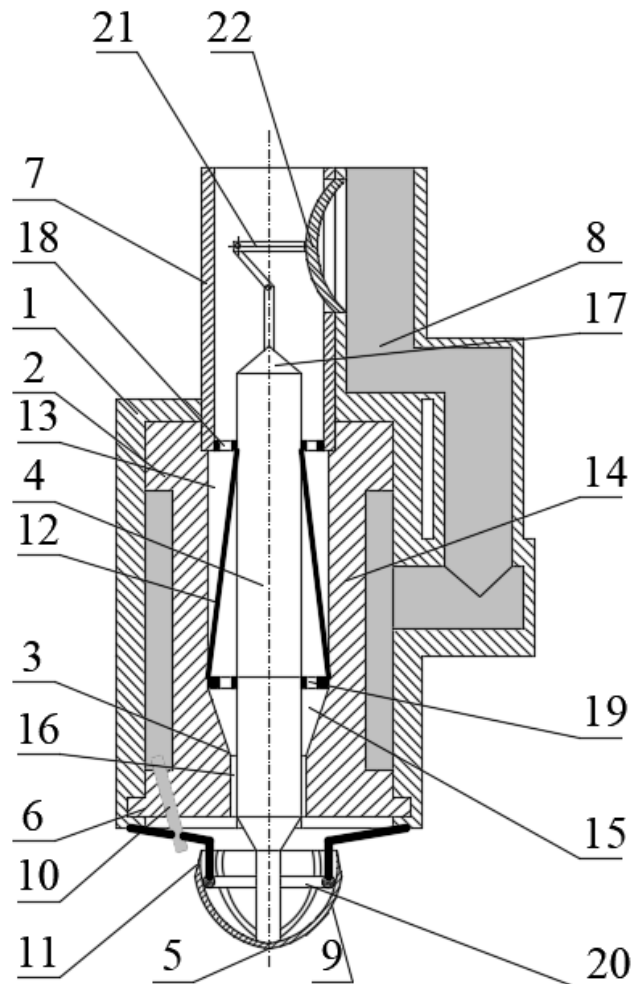


Рис. 3. Акустична форсунка: 1 – корпус; 2 – верхній фланець; 3 – сопло; 4 – стрижень; 5 – об'ємний резонатор; 6 – приймач випромінювання; 7 – трубка для підведення повітря; 8 – трубка для підведення рідини; 9 – пелюсткова мембрана; 10 – сопло; 11 – робоча поверхня пелюсткової мембрани; 12 – розсікач повітря; 13 – отвір; 14 – втулка; 15 – конфузор; 16 – циліндричний отвір; 17 – обтічник; 18, 19 – перфоровані диски; 20 – опорне кільце зі стойками; 21 – важелі; 22 – силова мембрана

Корпус 1 виконаний у вигляді вертикально розташованої циліндричної втулки, у верхній частині якої розташована трубка 7 для підведення повітря, а перпендикулярно її осі розташована трубка 8 для підведення рідини через коаксіально розташовану кільцеву порожнину 20 до сопла 10. Усередині корпусу 1, співвісно йому, жорстко закріплена втулка 14 із фланцями: верхнім 2 і нижнім 6, причому нижній фланець 6 жорстко зафіксований у проточці, виконаної в корпусі 1.

Кільцевий об'ємний резонатор 5, виконаний у вигляді пелюсткової мембрани 9 з робочою поверхнею 11. Пелюсткова мембрана знаходиться у постійному контакті з опорним кільцем 20 зі стойками, які закріплені на корпусі.

Пелюсткова мембрана 9 у центральній точці жорстко зафіксована на стрижні 4, який міститься у отворі 13, з обтічником 17. У хвостовій частині обтічника розташовані перфоровані диски 18 і 19, між якими розміщений розсікач 12 повітря. Стрижень 4 у свою чергу через важелі 21 сполучений із силовою мембраною 22, яка сприймає робочий тиск у системі. У нижньому фланці 6 розташоване сопло 10 під кутом до осі резонатора 5. На внутрішній поверхні втулки 14 виконані співвісні конічний 15 і циліндричний 16 отвори для підведення повітря.

Акустична форсунка працює в такий спосіб. Повітря, подається по трубці 7, де зустрічає на своєму шляху резонатор 5. У результаті проходження робочої рідини крізь резонатор 5, в останньому виникають пульсації тиску, що створюють акустичні коливання, частота яких залежить від параметрів резонатора. Акустичні коливання робочої рідини сприяють більш тонкому розпилюванню рідини, що подається через трубку 8 у сопла 10, звідки вона попадає на коло, що перебуває в середній частині робочої поверхні 11 резонатора 5, потім дробиться під впливом акустичних коливань повітря на дрібні краплі, у результаті чого утворюється факел розпиленого розчину з повітрям, кореневий кут якого визначається величиною кута нахилу конічної поверхні 11 резонатора 5.

При зміні тиску у системі, силова мембрана 22 за допомогою важелів 21 та стрижня 4 змінює вигин пелюсткової мембрани 9. Ти самим змінюються акустичні умови подрібнення розпиленого розчину робочої рідини з повітрям.

Для визначення величини вигину мембрани, з достатньою точністю доцільно використовувати емпіричну залежність та її графічне відображення (рис. 4) [9]:

$$u(r) = -0,0128372 + 0,0861019 \frac{(10-r)(50-r)}{2(10+r)},$$

де r – радіус мембрани.

Висновки. Оновлена конструкція форсунки дозволить досягти технічного результату, який полягає у такому:

форсунка може забезпечувати ефективне розпилювання у широкому діапазоні тисків робочої рідини;

можливо застосовувати різні сполуки робочої рідини з невідомими заздалегідь фізико-механічними властивостями;

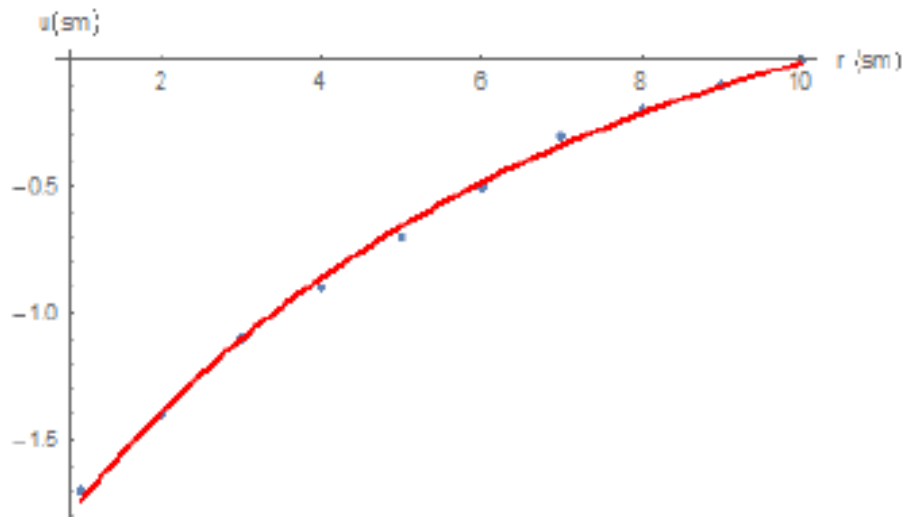


Рис. 4. Залежність вигину мембрани від радіусу

застосовані мембранні елементи, які серійно виробляються промисловістю; є резерви зниження металоємності за рахунок використання мембран з композитних матеріалів.

Пристрій є простим у виготовленні та застосуванні, бо для його створення застосовуються освоєні промисловістю компоненти та елементи. Техніко-економічні показники значно вище аналогів, тому що забезпечується більш ефективно розпилювання робочої рідини у широкому діапазоні тиску.

А якщо застосувати мембрани зі змінною товщиною то можливо досягти вирівнювання напруги у мембрані [10]. Крім того, до конструкції форсунки нескладно інтегрувати вимірювальні пристрою контролю параметрів робочої рідини [11 - 13]. Поряд з системами придушення пилу форсунка може бути застосована для боротьби з пожежами [14].

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Булаев, В. А., Булаев, И. В., Шмырев, Д. В. Исследование акустических форсунок. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/issledovaniya-akusticheskikh-forsunok>.
2. Милтон, Д. Х., Лич, Р. М. Судовые паровые котлы. URL: <https://www.twirpx.com/file/1467202>.
3. Ashraf Ali Basheer, Singh Sunil Kumar. Effect of nozzle configuration on performance of a spray dryer // Journal of Chemical Technology and Metallurgy. –2024. – № 59(1). – pp.119 – 128. DOI: 10.59957/jctm.v59.i1.2024.14.
4. Голиков, В. А., Анфиногентов, В. В. Расчетная схема определения геометрических и гидродинамических характеристик водяных струй моечных машинок танкеров // Судовые энергетические установки.–Одесса: ОНМА, 2011. – Вып. 28 – С. 53 - 60.
5. Голиков, В. А., Анфиногентов, В. В. [Определение рационального режима процесса мойки грузового отсека танкера](#) // Проблемы техники. – 2011. – № 2. – С. 87 – 95.

6. Патент України № 43925. МПК F24F3/14,6/12,6/14. Розпилювальна осьова форсунка / В. А. Голіков; заявник та володар патенту Одеська державна морська академія. – 98010106. – заявл. 08.01.1998; опубл. 15.01.2002, бюл. № 1. – 2 с.
7. Патент 2342596 С1. МПК F23D 11/34. Акустическая форсунка. Заявители и патентообладатели Кочетов, О. С., Голубева, М. В, Колаева, Л. В., Боброва Е. О., Духанина Е. В. Дорушенкова О. Ю. Костылева А. В. – 2007123308/06. – заявл. 22.06.2007; опубл. 27.12.2008, бюл. № 11. – 3 с.
8. Патент [2650921](#)С1. МПК В05В17/04 (2006.01). Акустическая форсунка. Заявитель и патентообладатель Кочетов, О. С. –2017106120. – заявл. 27.02.2017; опубл. 18.04.2018, бюл. № 11. – 3 с.
9. Тархов, Д. А., Васильев, П. И., Семенова, Д. А, Шишкина, И. А. Уточнение уравнения прогиба круговой мембраны при помощи переменных коэффициентов в уточненном методе Эйлера. URL: <https://conf.svmo.ru/files/deamm2017/papers/paper24.pdf>.
10. Андреев, А. И., Жуков, А. В., Жуков, Г. В. Проектирование мембранных чувствительных элементов круглой формы. URL: <https://7universum.com/tech/archive/item/14596>.
11. Сандлер, А. К., Карпилов, А. Ю. Волоконно-оптический расходомер для судовых информационно-измерительных систем // Автоматизация судовых технических средств. – 2020. – Вып. 26. – Одесса: НУ "ОМА". – С. 85 - 93. DOI: 10.31653/1819-3293-2020-1-26-85-93.
12. Сандлер, А. К., Опрышко, М. О. Волоконно-оптический датчик контроля состояния технических жидкостей и газов // X міжнародна науково-методична конференція "Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика", 24.11.2020 - 25.11.2020 р.: матеріали конференції. – Одеса: НУ "ОМА". – 2020. – С. 63 - 68. DOI:10.31653/2706-7874.SEEEA-2020.11.1-245.
13. Сандлер, А. К., Цюпко, Ю. М., Каменєва, А. В. Схемотехнічне рішення датчика швидкості потоку // Автоматизация судовых технических средств. – 2016. – Вып. 22. – Одесса: НУ"ОМА". – С. 86 - 92.
14. 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.

Корбан В. Х., Шумілова К. В.,
Національний університет «Одеська морська академія»

Метод кругової поляризації електромагнітного випромінювання для очищення вихлопних газів суднових енергетичних установок

Велике значення набуває питання як аналізу стану середовища у районі функціонування суднових енергетичних установок, так і розробки заходів із забезпечення чистоти атмосфери шляхом зменшення викидів з вихлопних труб дизельних двигунів в атмосферу до гранично допустимих концентрацій, встановлених на Стокгольмській конференції ООН у 1972 р.

Необхідність пошуку оптимальних методів зниження викидів в атмосферу шкідливих речовин, які створюються в процесі роботи суднових енергетичних установок при згорянні палива обумовлена вирішенням питань актуальної проблеми екологічної безпеки морських дизельних двигунів

При згорянні дизельного палива судового двигуна [1] створюються одні з найнебезпечніших забруднень – оксиди азоту, викиди яких регулюються вимогами МАРПОЛ 73/78 (Міжнародна конвенція щодо запобігання забрудненню з суден) [2].

Збільшення концентрації оксидів азоту у вихлопних газах дизельного двигуна при використанні палива з вмістом сірки (не більше 0,1 %), а також способи зниження емісії оксидів у дизелів суден морського та внутрішнього водного транспорту представлені в роботах [3-4]. Актуальні питання захисту атмосфери від викидів токсичних сполук з вихлопної системи суднових енергетичних установок за допомогою методів зменшення викидів, зокрема постачання паливних сумішей морського дизельного палива (MDO) та ефіру рапсової олії (RME) (MDO/RME) до двигуна, а також використання скрубберів для зменшення вмісту сірки в морських дизельних двигунах представлені в дослідженнях [5-9].

Проблеми декарбонізації судноплавства, екологічні та інноваційні рішення для зменшення впливу судового палива на довкілля, а також роль людського фактору, висвітлені в сучасних наукових роботах [10-15], обумовлюють необхідність пошуку ефективних методів контролю викидів вихлопних газів суднових енергетичних установок (СЕУ).

Розглянемо метод очищення навколишнього середовища від вихлопних газів СЕУ електромагнітною хвилею кругової поляризації. Припустимо, що газові частинки (тверді, газоподібні та рідкі), які викидаються з вихлопних труб СЕУ, рухаються по колу під впливом електромагнітної хвилі кругової поляризації. Такі частинки в магнітному полі з круговою поляризацією піддаються впливу сили Лоренца:

$$F_{\text{л}} = q|B \cdot V|, \quad (1)$$

де q – заряд частинки;

B – вектор індукції магнітного поля;

V – вектор швидкості зарядженої частинки.

$$F_{\perp} = q|V||B|\sin \alpha, \quad (2)$$

де α – кут між векторами B і V .

Частинки в магнітному полі хвилі рухаються вздовж траєкторії у формі гвинтової лінії, вісь якої паралельна вектору індукції магнітного поля хвилі, а радіус траєкторії руху визначається за умовою:

$$R = \frac{mV \sin \alpha}{qB}, \quad (3)$$

де m – маса частинки.

Момент кількості руху частинки позначається як:

$$M = mVR \sin \alpha, \quad (4)$$

або, враховуючи формулу (3), рівняння (4) записується як:

$$M = \frac{m^2 V^2 \sin^2 \alpha}{qB}. \quad (5)$$

Розглянемо взаємодію електричного диполя з магнітним полем електромагнітної хвилі кругової поляризації: коли заряди частинок концентровані в різних за величиною масах, між ними немає жорсткого зв'язку. Тоді кожен із зарядів має обмежений ступінь свободи, що дозволяє йому обернутися спіраллю в полі хвилі кругової поляризації, а радіус такої траєкторії буде обмежений довжиною та характером зв'язку між зарядами.

Якщо система, що складається з рівної кількості позитивно та негативно заряджених частинок різної маси, проходить через магнітне поле електромагнітної хвилі з круговою поляризацією, то загальний момент кількості руху буде відрізнятися від нуля і дорівнювати нулю при однаковій масі частинок.

Газові частинки, що викидаються з вихлопних труб СЕУ під дією електромагнітної хвилі кругової поляризації направляються в ємкість з певною рідиною. де відбувається їх нейтралізація.

Для вимірювання концентрації частинок, що викидаються з вихлопних труб с СЕУ, використовується неполяризована електромагнітна хвиля на випромінювання, яка записана у вигляді матриці, що складається з чотирьох параметрів Стокса. Розсіювання електромагнітної енергії на частинках, що викидаються, надано як матриця Мюллера, яка складається з 16-ти елементів, кожний з яких відповідає діелектричній проникності ξ_{mn} газових компонентів частинок на виході вихлопної труби СЕУ, а параметри електромагнітної хвилі, відбитої від газових частинок вихлопних газів також записані у вигляді матриці, що складається з чотирьох параметрів Стокса. Взаємозв'язок між ви-

проміною та відбитою хвилями і розсіювальним об'ємом газу записується у вигляді трьох матриць:

$$\begin{bmatrix} I_{\text{від}} \\ Q_{\text{від}} \\ U_{\text{від}} \\ V_{\text{від}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \xi_{11} & \xi_{12} & \xi_{13} & \xi_{14} \\ \xi_{21} & \xi_{22} & \xi_{23} & \xi_{24} \\ \xi_{31} & \xi_{32} & \xi_{33} & \xi_{34} \\ \xi_{41} & \xi_{42} & \xi_{43} & \xi_{44} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} I_{\text{вип}} \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, \quad (6)$$

де I, Q, U, V – параметри поляризації електромагнітної хвилі, що випромінюється (*вип*) та відбивається (*від*);

ξ_{mn} – діелектрична константа газових компонентів на виході вихлопної труби СЕУ.

Розв'язання рівняння (6) дозволяє визначити концентрацію чотирьох газових компонентів за першим стовпцем елементів матриці Мюллера:

$$\begin{aligned} \xi_{11} &= \frac{I_{\text{від}}}{I_{\text{вип}}}; \\ \xi_{21} &= \frac{Q_{\text{від}}}{I_{\text{вип}}}; \\ \xi_{31} &= \frac{U_{\text{від}}}{I_{\text{вип}}}; \\ \xi_{41} &= \frac{V_{\text{від}}}{I_{\text{вип}}}. \end{aligned} \quad (7)$$

Оскільки параметр $I_{\text{вип}}$ залишається сталим у процесі експериментальних досліджень, ми припускаємо, що він дорівнює одиниці, і тоді рівняння (7) переписується як:

$$\xi_{11} = I_{\text{від}}; \xi_{21} = Q_{\text{від}}; \xi_{31} = U_{\text{від}}; \xi_{41} = V_{\text{від}}. \quad (8)$$

У рівнянні (8) кожний з елементів матриці Мюллера визначає концентрацію вихлопного газу на виході СЕУ, а їх сума визначає повну концентрацію вихлопних газів.

Висновок

Запропоновано метод очищення навколишнього середовища від вихлопних газів суднових енергетичних установок за допомогою електромагнітної хвилі кругової поляризації.

Для вимірювання концентрації газової суміші на виході суднової енергетичної установки використовується неполяризована електромагнітна хвиля на випромінювання, а відбита від газової суміші, електромагнітна хвиля надана у

вигляді матриці розсіювання Мюллера, елементи якої відповідають концентрації газової суміші.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Kuropyatnyk, O. (2025). Maintaining the environmental friendliness of seagoing vessels when using catalytic reduction systems for marine diesel engines. *Transport Development*, (3(26), 73-86. <https://doi.org/10.33082/td.2025.3-26.05>

2. Міжнародна конвенція щодо запобігання забрудненню з суден (MARPOL 73/78). Додаток VI. Правила запобігання забрудненню повітря з суден.–London : International Maritime Organization, 2017. – 86 с

3. Sagin, S., & Sagin, A. (2023). Development of method for managing risk factors for emergency situations when using low-sulfur content fuel in marine diesel engines. *Technology Audit and Production Reserves*, 5(1(73), 37-43. <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2023.290198>

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

5. 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. –Vol.12(8). –P.1440. <https://doi.org/10.3390/jmse12081440>

6. Сагін, С. В., Сагін, С. С., & Мадей, В. В. (2023). Аналіз методів управління екологічною безпекою навігаційного переходу суден морського транспорту. *Technology Audit and Production Reserves*, 4(3(72), 33-42. <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2023.286039>

7. Сальніков В. О., Шумілова К. В. Використання скрубберних систем для скорочення викидів CO₂ на великотоннажних танкерах. *Матеріали науково-технічної конференції молодих дослідників «Суднові енергетичні установки: експлуатація та ремонт»*, 20.11.2025. С. 209-212.

8. Tran T.A. Research of the Scrubber Systems to Clean Marine Diesel Engine Exhaust Gases on Ships. *Journal of Marine Science: Research & Development*. 2017. Vol 7(6), 243. DOI: 10.4172/2155-9910.1000243

9. Witkowski, K. (2020). Research of the Effectiveness of Selected Methods of Reducing Toxic Exhaust Emissions of Marine Diesel Engines. *Journal of Marine Science and Engineering*, 8(6), 452. <https://doi.org/10.3390/jmse8060452>

10. Behrends, B. Particulate Matter emission reduction in international maritime shipping. *German Environment Agency*. 2025. <https://doi.org/10.60810/openumwelt-7816>

10. Голяков В. А., Данилов К. С., Шумілова К. В. Еколого-енергетична ефективність експлуатації контейнеровозів на міжконтинентальних перевезеннях. *Суднові енергетичні установки*. – Одеса: НУОМА, 2025, Вип. 50. – С. 26-41. DOI: 10.31653/smf 50.2025.26-41.

11. Шумілова К. В., Шумілов Д. І. Багатоаспектний вплив судноплавства і діяльності людини в ракурсі парадигми управління ресурсами світового океа-

ну. *Суднові енергетичні установки*. – Одеса: НУОМА, 2023, Вип. 47. – С. 217-230. <https://doi.org/10.31653/smf47.2023.217-230>

12. Шумілова К. В. Декарбонізація судноплавства – шляхи переходу на альтернативну енергетику. *Матеріали III Міжнародної науково-практичної морської конференції, MPP&O-2021*. Одеськ. нац. мор. ун-т. – Х.: Видав. Іванченка І. С., I, 2021. – С. 123-130. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.36574.15681>

13. Петрусенко О. Д., Шумілова К. В. Ефективність перспективи переведення флоту на використання низьковуглецевого або безвуглецевого палива. *Матеріали науково-технічної конференції молодих дослідників «Суднові енергетичні установки: експлуатація та ремонт»*, 20.11.2025. С. 202-208.

14. Шумілова, К., & Константінов, О. (2025, жовтень 16). Екологічні та інноваційні рішення для зменшення впливу суднового палива на морське середовище. *Друга Всеукраїнська науково-практична конференція «Сталий, інклюзивний, смарт розвиток: наукові підходи до вирішення сучасних глобальних і локальних викликів»*, Тернопіль. <https://doi.org/10.5281/zenodo.1737061>

15. Hordiiuk, S, Shumilova, K. Navigation from the future point of view of global climate protection. *International Scientific and Technology Conference «Navigation, shipping and technology»*, 18-19th November, 2021, Odessa: NU «ОМА». – С. 114-115.

Шумілова К. В., Шумілов Д.І.
Національний університет «Одеська морська академія»
Навчально-науковий інститут інженерії
Навчально-науковий інститут навігації

Тенденції цифровізації в ракурсі управління технологічними процесами складних систем морського судна

У сучасній морській транспортній індустрії, а також у галузі суднобудування, експлуатації, обслуговування та ремонту морських та річкових суден основними пріоритетами є безпека, екологічність та економічна ефективність.

Вирішення різноманітних завдань управління технологічними процесами у складних судових системах безпосередньо пов'язане з цими категоріями. Для досягнення мети потрібен пошук нових, нетривіальних та уніфікованих технічних рішень, а також урахування можливих аварійних сценаріїв та вдосконалення управління людським фактором.

З цією метою, процеси управління технічними системами та комплексами суден повинні бути максимально автоматизовані, програмно та апаратно узгоджені. Такий синергетичний підхід допомагає забезпечити оптимальні режими експлуатації, безпечності та екологічності судноплавства, а також ефективного технічного обслуговування і ремонту суден різного призначення.

З кінця минулого століття спостерігається експоненційний розвиток морських технологій, які так чи інакше в перспективі змінять класичне розуміння системи судноплавства, і разом з цим організацію процесу експлуатації суден.

На даний момент, слід виділити три найпомітніші тенденції, які визначатимуть подальший курс на цифровізацію судноплавної галузі, а саме:

- смарт технології, які будуть здатні контролювати всі системи судна;
- «зелені» технології в судноплаванні, які підвищать екологічні стандарти;
- поява безпілотних або безекіпажних суден.

З приводу цього, останнім часом у різних країнах світу ведуться активні дослідження та розробки, включаючи демонстраційні експерименти, з метою практичного застосування суден-прототипів, які більш відомі як морські автономні надводні судна (МАНС), тобто безпілотні автономні судна. Незважаючи на деякі відмінності в рівні зацікавленості кожної з країн, сучасні дослідження і розробки у сфері МАНС можна класифікувати саме як розробки заходів щодо *підвищення безпеки експлуатації суден*, а також зниження навантаження на екіпаж щодо управління судном.

Паралельно цим задачам просліджується ідея використання таких суден, як відповідь на нестачу моряків. Серед інших трендів: це зниження негативного впливу на довкілля, зниження вартості експлуатації суден.

Отже на підставі перелічених факторів можна визначити **чотири ключові тенденції**, а саме:

1. Розповсюдження впровадження нових досягнень з цифровізації технологічних процесів складних суднових технічних систем в рамках науково-технічного прогресу.

2. Прогнозована нестача кваліфікованих кадрів для морської галузі.

3. Прагнення максимального зниження впливу людського фактору, з метою ефективного забезпечення безпеки на морі.

4. Природне бажання судновласників заощадити на одній із суттєвих витрат – утримання екіпажу.

Все це зумовило появу та стрімкий розвиток абсолютно нового, з погляду на принципи управління, типу суден – морських автономних надводних суден.

Офіційне визначення щодо термінології МАНС та його значення, що використовується на сучасному етапі, можуть відрізнитися, оскільки визначення МАНС все ще знаходиться на стадії вивчення у Міжнародній організації зі стандартизації (ISO/AWI 23860 – чинний технічний стандарт, що визначає термінологію та словник, які пов'язані з автономними судновими системами, 2022 р.) [1]. Однак слід розібратися в поняттях та дати визначення дефініціям автоматизоване судно, автономне судно та безпілотне судно.

Автоматизоване судно – означає конвенційне судно, у процесі виробничої діяльності якого використовується будь-який тип автоматичної функції управління, через що воно здатне здійснювати навігаційні переходи без безпосереднього контролю людиною, за допомогою пристроїв, пов'язаних з навігацією, управління рухом судна та його силовою установкою.

Автономне судно. Наступним етапом є автономне судно, під яким слід розуміти автоматизоване судно, яке облаштовано системою розпізнавання об'єктів навколо судна за допомогою різних типів датчиків, визначення ступеня небезпеки об'єктів відповідно до наявності ризику зіткнення, а також алгоритмів здійснення заходів у вигляді маневру щодо уникнення зіткнення з об'єктами (якщо така небезпека існує) та повернення на заданий курс після завершення дій щодо ухилення, які можуть бути виконані автоматично без втручання людини [2].

Безпілотне (безекіпажне) судно (рис. 1) – це судно, на якому немає фізичної присутності членів екіпажу, і воно у свою чергу є різновидом автоматизованого судна [3]. Такий тип судна оснащений функціями вищезгаданого автономного судна, на якому здійснюється процес судноводіння на основі команд для маневрування судна, які передаються від людини-оператора, що знаходиться у віддаленому місці за допомогою супутникових засобів зв'язку (рис. 2). Безпілотні судна використовують автономні навігаційні системи, штучний інтелект і дистанційний моніторинг, завдяки яким знижуються експлуатаційні витрати і підвищуються морські стандарти безпеки судноплавства [4].



Рис. 1. Сучасні грецькі безпілотні судна, розроблені для операцій в Егейському морі та Східному Середземномор'ї [4]

Слід підкреслити, що хоча визначення такого типу судна означає «безекіпажне» (проте від цієї термінології поступово відходять), воно може перевозити пасажирів. Враховуючи можливість втрати або переривання зв'язку з віддаленим центром управління, можна припустити, що такий тип буде оснащений функціями автономного судна. Водночас судно, яке не оснащено функціями автономного плавання, але управляється дистанційно шляхом передачі навігаційних команд, пов'язаних з роботою систем управління його рухом, також може бути класифіковано як безпілотне навігаційне судно, за умови, що на ньому немає екіпажу, який може виконувати маневрені операції.

Багатоопераційний центр (берегова станція супроводу) – центр дистанційного управління судном (рис. 2), один з важливих компонентів, який також має суттєві особливості у процесі випробувань даних технологій.



Рис. 2. Компоненти дистанційного управління автономним судном (автор: Шумілова К.В.)

Будучи аналогом диспетчерської вежі цей істотний елемент відіграє першорядну роль у процесі *трансформації технологій автономного судноводіння* в комерційну реальність, збираючи метеорологічні та навігаційні дані, а також іншу інформацію з безпеки мореплавання, контролюючи робочий стан судна, його систем та стан машинного відділення, дозволяючи управляти судном як дистанційно з використанням супутникових технологій, включаючи випадки надзвичайних ситуацій, так і супроводжуючі судно і контролюючи його під

час портових операцій, із повноцінним використанням каналів зв'язку «земля-море», з наданням підтримки у будь-який момент часу.

Системи управління МАНС та утримання на заданому курсі, які вже встановлені на багатьох існуючих суднах, є прикладами функцій автоматичного управління, і судно, яке здійснює навігацію з використанням цих функцій, також є судном з автоматичною навігацією [6].

В системах управління МАНС використовуються наступні основні алгоритми:

PID controllers (ПД-регулятори): для підтримки курсу, що коригує положення руля на основі поточної помилки, інтегралу та похідної;

Adaptive control (адаптивне управління): для автоматичної зміни в системі параметрів регулювання, в залежності від зміни динамічних характеристик судна (при завантаженні) або погодних умов;

Fuzzy logic (алгоритми на основі нечіткої логіки): для моделювання дій кваліфікованого судноводія і прийняття рішення в умовах невизначеності;

AI/Neural Networks (нейронні мережі та штучний інтелект (ШІ)): для навчання систем управління в складних сценаріях, прогнозування поведінки судна та виявлення цілей;

Model Predictive Control (алгоритми прогнозованого управління): динамічна модель судна для прогнозування його руху на певний час вперед і оптимізації дій з управління рухом.

Багато технічних і дослідницьких центрів займаються розробкою систем автоматичного рульового управління для використання на автономних суднах, що дистанційно управляються, які будуть використовуватися в навігаційних системах і системах управління рухом та стабілізації курсу суден у межах комп'ютеризації процесу управління МАНС. Такі системи використовують автоматичну систему для управління судном на ходу, включаючи алгоритми маневрування відповідно до Міжнародних правил запобігання зіткненням суден у морі (COLREG).

Автопілот запрограмований таким чином, щоб судно завжди залишалося на заданій відстані від запланованого маршруту. Якщо ці межі перевищено, автопілот видає попередження, і в такому випадку режим дистанційного управління скасовується.

Для натурних випробувань об'єктами моделювання обираються судна невеликої водотоннажності, у рульовій системі яких встановлюється малоінерційний поворотний пристрій з електронним управлінням. У цьому пристрої практично відсутнє обмеження по частоті повороту руля, що дозволяє створювати високоефективні системи автоматичного утримання судна на заданому курсі, в яких максимальний кут повороту руля становить 35 градусів.

Висновок

Зауважимо, що процес вироблення законодавства та створення нормативів страхування для автономних суден займає більше часу у порівнянні з розробленням та впровадженням технологій дистанційного управління техно-

логічними процесами складних систем морського судна [7]. Тому, в першу чергу можуть бути змінені вимоги щодо мінімально необхідної кількості осіб на борту, незалежно від того, чи є ці судна повністю автономними, тобто чисельність екіпажу буде скорочуватися через впровадження навігаційних систем, оснащених автоматизованими засобами запобігання зіткненню суден. Проте, паралельно з цим існує потреба в розробці програмного забезпечення для обробки значних обсягів інформації. Необхідна також аналітика та телеметрія можливих проблем з прототипами складних технічних систем автоматизації судна, їх датчиками, двигунами, рульовим пристроєм та іншими приладами, для можливості на основі аналізу цих даних передбачувати періоди необхідної заміни вузлів та механізмів, планувати техобслуговування для запобігання аварійності обладнання.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. ISO/TS 23860:2022. URL: <https://surl.li/qpwdpc>
2. Jovanović, I., Perčić, M., BahooToroody, A., Fan, A., & Vladimir, N. (2024). Review of research progress of autonomous and unmanned shipping and identification of future research directions. *Journal of Marine Engineering & Technology*, 23(2), 82–97. <https://doi.org/10.1080/20464177.2024.2302249>
3. The rise of autonomous shipping. URL: <https://surl.li/jjgqxw>
4. New Unmanned Surface Vessel designs pitched to Hellenic Navy. URL: <https://surl.li/ejrxrb>
5. Авраменко , Р., & Левківська , А. (2024). Безпілотні вантажні судна як інноваційна складова морського транспорту. *UNIVERSUM*, (7), 213-223.
6. Haitong, X., & C., G. S. (2026). Challenges for the Development of Maritime Autonomous Surface Ships. *Autonomous Transportation Research*. Elsevier, <https://doi.org/10.1016/j.atres.2026.01.001>
7. Шумілова К.В, Шумілов Д.І. Цифрова трансформація в судноплавній індустрії: основні переваги та рішення. V Міжнародна науково-практична конференція «Digital transformation of society and the impact of information technologies», 03-06 лютого 2026 р., Варшава, Польща. С. 166-171. URL: <https://isg-konf.com/digital-transformation-of-society-and-the-impact-of-information-technologies/>. DOI 10.46299/ISG.2026.1.5

Дрозд О. В.

Національний університет "Одеська морська академія"

Новітні технології відновлення роботоспроможності суднових вантажних кранів

Транснаціональні морські торговельні перевезення за останні роки зазнали значних змін у своїх ключових елементах, включаючи вантажну базу, парк суден та перевантажувальне обладнання. Найбільш помітні зміни торкнулися структури та районування вантажопотоків. За останні десять років стався розподіл вантажної бази на два великі напрямки. Перше – це обсяги контейнерних і навалочних вантажопотоків, що стрімко зростають, а друге – традиційні вантажі з усталеною номенклатурою. Згідно зі світовою статистикою, щорічний приріст контейнерних перевезень складає близько 9%, у той час як обсяг неконтейнерних навантажувальних вантажів збільшується на 1,4%.

Економічні аспекти прибутковості роботи провідних морських компаній також призвели до змін у районуванні вантажопотоків, зміщуючи їх у бік сировинних регіонів Південно-Західної Африки та економік країн Східної та Південно-Східної Азії, що швидко розвиваються.

Сучасне суднобудування переживає черговий бум гігантоманії – основний акцент робиться на збільшення вантажної місткості суден за рахунок збільшення їх габаритів. Для універсальних суден, оснащених власними вантажопідйомними засобами (ВПЗ), тенденції полягають у підвищенні їхньої вантажопідйомності. Так, великовагові стріли таких суден нерідко досягають вантажопідйомності до 120 тон, але в спеціалізованих суднах цей показник може зрости до 350 тон. Також збільшується вантажопідйомність звичайних стріл та суднових кранів, що досягає 32 ... 40 тон, що пов'язано з адаптацією під контейнери міжнародного стандарту [1 - 4].

Утримання суднових ВПЗ у технічно справному стані, а також їх простої під час перевантажувальних робіт вимагають значних витрат від судовласників. Тому особливу увагу привертають новітні технології ремонту та відновлення робото спроможності ВПЗ.

Стан кранових канатів, що є основним компонентом вантажопідйомного обладнання, впливає на безпеку всього процесу експлуатації. За статистикою, близько 20% нещасних випадків на кранах пов'язані із дефектами сталевих канатів. Тому, серед завдань відновлення робото спроможності ВПЗ найбільш часто розв'язується завдання заміни робочих канатів вантажних кранів.

В наш час, найбільш поширений спосіб заміни сталевих канатів, в основному, складається з наступних етапів:

підготовка двох барабанів для каната та двох пристроїв для звільнення каната. Якщо є тільки барабан для каната, потрібна ручна робота зі звільнення та обрізання каната;

позиціонування всіх пошкоджених сталевих канатів, намотаних на намотувальний барабан, та одночасне намотування двох нових сталевих канатів, з'єднаних зі старими.

Спосіб заміни вимагає підготовки двох сталевих канатів однакової довжини. Ручне обрізання канатів до необхідної довжини збільшує трудовитрати, тому ефективність роботи невисока, і потрібно більше персоналу для виконання робіт.

Новітня технологія орієнтована на реалізацію способу заміни сталевих канатів, що дозволяє замінити два сталевих канати одним сталевим канатом, що економить трудовитрати, знижує робоче навантаження, підвищує ефективність роботи та значно зменшує інтенсивність експлуатації. Для досягнення цієї мети у винаході [6] використовується наступна технічна схема, що полягає у такому.

Канатова система крана включає в себе намотувальний барабан (1), два сталевих каната (4), намотаних на намотувальний барабан, нерухомий блок шківів (3), рухомий блок шківів (5) і балансірну балку (2) (рис. 1).

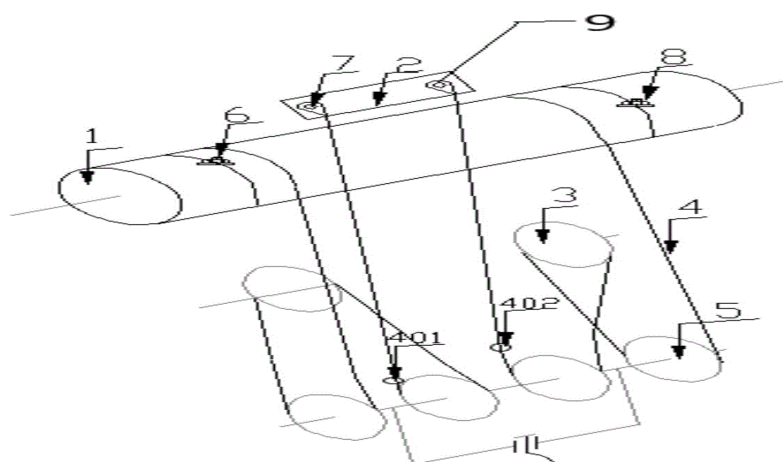


Рис. 1. Схематичне зображення конструкції каната крана в робочому стані:

1 – намотувальний барабан; 2 – балансір; 3 – нерухомий блок шківів; 4 – канат; 5 – рухомий блок шківів; 6 – перша притискна пластина головки сталевих канатів; 7 – перша фіксувальною головкою сталевих канатів; 8 – друга притискна пластина головки сталевих канатів; 9 – друга фіксувальною головкою сталевих канатів; 401 – перша ріжуча частина; 402 – друга ріжуча частина

Перша головка сталевих канатів закріплена на намотувальний барабан (1) за допомогою притискної пластини головки сталевих канатів I (6), частина сталевих канатів намотана на намотувальний барабан (1). Потім послідовно проходить через перший рухомий шків рухомого блоку шківів (5), який нерухомо розташований з тієї ж сторони, що і прижим шківу нерухомого блоку шківів (3). З того ж боку і другий рухомий шків рухомого блоку шківів (5), і потім інший кінець сталевих канатів закріплений на балансірній балці (2) за допомогою головки кріплення сталевих канатів I (7).

Друга головка канатів кріпиться до намотувального барабана (1) через притискну пластину II (8), частина канатів намотується на намотувальний барабан (1). Потім друга головка канатів послідовно проходить через перший рухомий шків рухомого блоку шківів (5), який закріплений з тієї ж сторони, що і притискна пластина II (8) нерухомого блоку шківів (3) з того ж боку і другий рухо-

мий шків рухомого блоку шківів (5). Далі інша головка каната кріпиться до балансірної балки (2) через фіксуючу головку каната II (9), фіксуючі головки каната I (7) і II (9) розташовані між притискною пластиною I (6) і прижим (7) знаходиться близько до притискної пластини I (6). А фіксуюча головка каната II (9) знаходиться близько до притискної пластини II (8).

Спосіб заміни включає наступні етапи:

1. *Підготовка*: розміщення рухомого шківного блоку (5) системи намотування сталевго каната в робочій зоні, зняття кінцевого вимикача на намотувальному барабані (1). Фіксація кількості витків сталевго каната на одній стороні намотувального барабана. Зворотне обертання намоточного барабана і зупинка обертання намотувального барабана коли в 1,5 рази перевищує відстань від намотувального барабана до рухомого шківного блоку.

2. *Первинна обрізка*: різання старого сталевго каната між першою головою кріплення сталевго каната (7) і найближчим рухомим шківом блоку рухомих шківів (5) в положенні, близькому до найближчого рухомого шківа. Позначення старого сталевго каната як першого положення сталевго каната каната(9) і найближчим рухомим шківом блоку рухомих шківів (5) в положенні, близькому до найближчого рухомого шківа. Позначення старого сталевго каната, як другого положення різання (402), зняття першої головки кріплення сталевго каната (7) і другої головки кріплення сталевго каната (9) притискної пластини головки сталевго каната (6) і другої притискної пластини головки сталевго каната (8) на намотувальний барабан. Для різки каната доцільно застосовувати пристрій, розроблений у Національному університеті "Одеська морська академія" [5].

3. *З'єднання та намотування*: відбувається з'єднання кінця нового сталевго каната з кінцем першої обрізної ділянки (401) старого сталевго каната. Обертання намотувального барабана в прямому напрямку. З'єднання кінця старого сталевго каната, що впав на палубу з притискної пластини (6) кінця сталевго каната (4) з кінця каната. Продовження обертання намотувального барабана в прямому напрямку, дозволяючи кінцю нового сталевго каната при досягненні притискної пластини (8) сталевго каната. Продовження обертання намотувального барабана в прямому напрямку і зупинка обертання при досягненні достатньої кількості витків нових сталевих канатів з одної сторони намотувального барабана 3 (рис. 2).

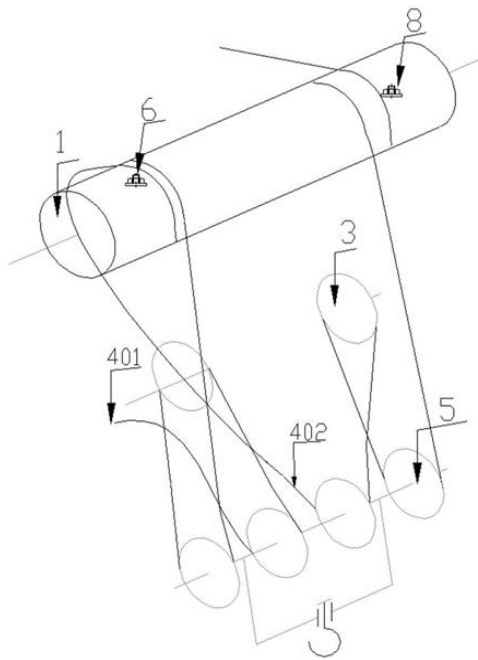


Рис. 2. Схематичне зображення структури з'єднання на етапі намотування

4. *Вторинна обрізка*: обрізка нового сталевго каната, що входить між рухомими блоками шківів, коли притискна пластина I (6) кінця каната на намотувальному барабані обертається вперед на притискній пластині I (6) кінця каната, фіксація кінця сталевго каната на намотовому барабані за допомогою притискної пластини з обчислення різниці між довжиною сталевго каната (6) кінця сталевго каната і довжиною старого сталевго каната з одного боку, і намотування та обрізання нового сталевго каната.

4. *Фіксація*: два нових кінця сталевго каната, не закріплених притискною пластиною, проводять через кільце або клиноподібне з'єднання каната на одній довжині, встановлюється затискач для каната відповідно до правил встановлення затиску для каната, і кільце або клиноподібне з'єднання каната встановлюється на балансувальній балці[6].

Таким чином, застосування зазначеної технології, у поєднанні з існуючими алгоритмами та методиками технічного обслуговування та ремонту суднових ВПЗ створить передумови для переходу на якісно нові умови експлуатації вантажопідійомної техніки, які не тільки підвищать безпеку, а й принесуть прямі економічні вигоди судновласним компаніям [7].

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

Дрозд, О. В., Сандлер, А. К. Удосконалення технічної експлуатації суднових вантажопідійомних засобів // Судноплавство. - 2004. - № 11-12. - С. 27 - 28.

Сандлер, А. К., Дрозд, Е. В. Діагностування суднових вантажопідійомних засобів за допомогою волоконної оптики // Автоматизація суднових технічних засобів. - 2005. - Вип. 10. - Одеса: ОНМА. - С. 70 - 75.

Сандлер, А. К., Дрозд, Є. В. Модернізація системи керування вантажним краном // Суднові енергетичні установки. - 2011. - Вип. 25. - Одеса: ОНМА. - С. 56 - 60.

Сандлер, А. К., Дрозд, О. В. Роликовий вузол стрічкового транспортера // Автоматизація технологічних і бізнес-процесів. – 2018. – Т. 10. – №. 4. – Одеса: ОНАХТ. – С. 73 - 76. DOI: <https://doi.org/10.15673/atbp.v10i4.1237>.

Колегаєв, М. О., Сандлер, О. К., Цюпко, Ю. М. Засіб автоматизації рятувальних робіт на суднах // Автоматизація суднових технічних засобів. - 2015. - Вип. 20. - Одеса: ОНМА. - С. 69 - 73.

Патент КНРСН202010547682. МПК В66D 1/34(2006.01) В66D 1/28(2006.01) В66D 3/06(2006.01). Спосіб заміни сталевого каната крана / заявник та володар патенту [Shandong Iron and Steel Co Ltd](#). – 202010547682.3. – заявл. 16.06.2020. – опубл. 12.07.2022.

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

Корх М.В.

Національний університет «Одеська морська академія»

Підвищення ефективності експлуатації морських суден та суден внутрішнього плавання засобами інженерно-графічної підготовки

Інженерна графіка є базовою дисципліною, яка забезпечує розуміння структури й принципів побудови технічної документації. Володіння графічними навичками дає змогу курсанту опанувати закономірності формоутворення конструкцій, зрозуміти просторову організацію механізмів та корпусних елементів судна. Опанування креслення, вимірювань, побудови проєкцій та аксонометричних зображень формує здатність точно інтерпретувати технічну інформацію, що має критичне значення під час експлуатації суднових систем [1].

Графічна культура як чинник ефективного прийняття експлуатаційних рішень. Високий рівень графічної культури дозволяє судномеханіку оперативно аналізувати технічні схеми, креслення та паспорти обладнання. У практичних умовах експлуатації часто виникає потреба швидко визначити конструктивні особливості вузла, знайти оптимальний спосіб доступу для ремонту або оцінити можливість заміни елемента на аналог. Володіння сучасними методами інженерної графіки скорочує час ухвалення таких рішень, зменшує ймовірність помилок і позитивно впливає на загальну ефективність роботи судна.

Графічна культура є важливою складовою професійної підготовки фахівців технічного профілю та відіграє суттєву роль у процесі прийняття експлуатаційних рішень. В умовах сучасного виробництва й експлуатації складних технічних об'єктів, зокрема машин, механізмів і суднових систем, ефективність управлінських та інженерних рішень значною мірою залежить від здатності спеціаліста коректно сприймати, інтерпретувати та використовувати графічну інформацію.

Графічна культура охоплює сукупність знань, умінь і навичок, пов'язаних із читанням, виконанням та аналізом креслень, схем, діаграм і інших графічних моделей. Вона формує основу просторового мислення, що дозволяє фахівцеві уявляти конструкцію об'єкта, принципи його роботи та можливі наслідки змін у його експлуатаційному стані. Завдяки розвиненій графічній культурі інженер здатний швидко оцінювати технічну ситуацію, виявляти потенційні несправності та прогнозувати розвиток експлуатаційних процесів.

У процесі прийняття експлуатаційних рішень графічна інформація виступає універсальною мовою професійного спілкування між спеціалістами різних рівнів підготовки. Креслення й схеми забезпечують точність передавання технічних даних, зменшують ймовірність помилок і сприяють узгодженості дій під час експлуатації, обслуговування та ремонту обладнання. Низький рівень графічної культури, навпаки, може призводити до неправильного тлумачення технічної документації, що негативно впливає на безпеку та ефективність експлуатації.

Особливого значення графічна культура набуває в умовах дефіциту часу та підвищеної відповідальності, коли експлуатаційні рішення необхідно приймати оперативно. У таких ситуаціях уміння швидко читати схеми, аналізувати графічні залежності та співвідносити їх із реальним технічним станом об'єкта є критично важливим. Це дозволяє мінімізувати ризики аварійних ситуацій і забезпечити стабільну роботу технічних систем.

Отже, графічна культура є важливим чинником ефективного прийняття експлуатаційних рішень, оскільки сприяє підвищенню точності аналізу технічної інформації, розвитку професійного мислення та формуванню відповідального ставлення до експлуатації технічних об'єктів. Її цілеспрямоване формування в процесі професійної освіти є необхідною умовою підготовки конкурентоспроможних і компетентних фахівців інженерного профілю.

Значення графічної підготовки для підвищення ефективності експлуатації суден. Професійно сформована графічна компетентність є ключовим елементом підготовки судномеханіка, оскільки забезпечує здатність швидко орієнтуватися у складних конструктивних рішеннях і технічній документації. Розвинуте просторове мислення та навички графічного аналізу дають змогу не лише коректно читати креслення, а й уявляти роботу механізмів у динаміці, визначати зони можливих навантажень, прогнозувати зношування та своєчасно виявляти потенційні відмови.

У реальних умовах ці навички безпосередньо впливають на якість технічного обслуговування. Під час ремонту чи діагностики енергетичних установок, насосних систем, трубопроводів або арматури здатність швидко інтерпретувати збірні креслення, специфікації та кінематичні схеми істотно скорочує тривалість ремонтних робіт. Фахівець, який добре володіє графічними методами, може оперативно ухвалювати технічно обґрунтовані рішення, що мінімізує простої судна, знижує ризик використання невідповідних технологічних прийомів та сприяє раціональному використанню матеріальних ресурсів.

Якісна графічна підготовка також прямо впливає на рівень безпеки судноплавства. Невірно прочитане креслення або помилка у визначенні розташування конструктивного елемента можуть призвести до аварійної ситуації. Тому точність, уважність та здатність відтворювати просторову структуру об'єкта за двовимірним зображенням є важливими складовими професійної діяльності інженера-механіка [2].

Роль просторового мислення у професійній діяльності судномеханіка.

Однією з важливих складових інженерно-графічної підготовки є формування просторового мислення майбутніх фахівців морської галузі. Просторове мислення дозволяє інженеру уявляти форму, структуру та взаємне розташування елементів складних технічних систем. У професійній діяльності судномеханіка ця здатність має особливе значення, оскільки більшість технічних об'єктів судна мають складну багаторівневу конструкцію, що складається з великої кількості взаємопов'язаних деталей та вузлів.

Формування просторового мислення відбувається у процесі вивчення дисциплін інженерно-графічного циклу, таких як нарисна геометрія, технічне креслення та комп'ютерне моделювання. Виконання проєкцій, побудова аксоно-

метричних зображень, аналіз перерізів і розрізів сприяють розвитку здатності уявляти об'єкт у тривимірному просторі. У результаті майбутній судномеханік набуває навичок, необхідних для розуміння конструкції механізмів і принципів їхньої роботи.

Крім того, розвиток просторового мислення сприяє формуванню технічної інтуїції та аналітичних здібностей. Фахівець, який добре володіє графічними методами аналізу, може швидше визначати причини технічних несправностей, оцінювати можливі наслідки змін у роботі механізмів і знаходити оптимальні шляхи їх усунення. Це особливо важливо в умовах експлуатації суден, де швидкість і точність прийняття рішень можуть безпосередньо впливати на безпеку судноплавства [3].

Розвиток просторового мислення також сприяє підвищенню ефективності професійної комунікації між спеціалістами технічного профілю. Використання креслень і графічних моделей як універсальної мови інженерного спілкування дозволяє швидко передавати технічну інформацію та уникати неоднозначностей у її трактуванні. Таким чином, формування просторового мислення є важливим чинником підвищення ефективності експлуатації суднового обладнання та забезпечення надійної роботи технічних систем.

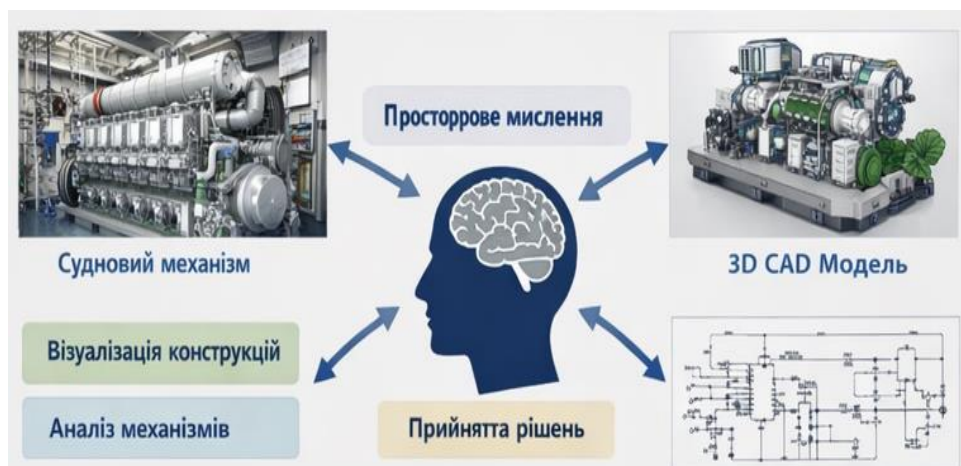


Рис. Просторове мислення у професійній діяльності судномеханіка

Цифровізація графічної підготовки. У сучасній судноплавній галузі, орієнтованій на енергоефективність, екологічність і цифрові технології, інженерно-графічна підготовка набуває нового змісту. Фахівець повинен уміти працювати не лише з традиційними кресленнями, а й з цифровими 3D-моделями, технологічними схемами, інтерактивними мануалами та системами діагностики. Навички аналізу й моделювання у віртуальному середовищі забезпечують точніше прогнозування технічного стану обладнання, оптимізацію технічного обслуговування й підвищення безаварійності експлуатації.

Сучасні CAD/CAE-системи — Auto CAD, Solid Works, COMPASS-3D — стали невід'ємною частиною професійної підготовки. Їх використання забезпечує високу точність проектної документації та дозволяє фахівцям моделювати складні просторові та функціональні процеси. Тривимірні моделі механізмів поглиблюють розуміння їхньої будови й принципів роботи, а впрова-

дження цифрових технологій у навчальний процес сформує компетентності, необхідні для роботи з сучасними системами технічного аналізу й оптимізації.

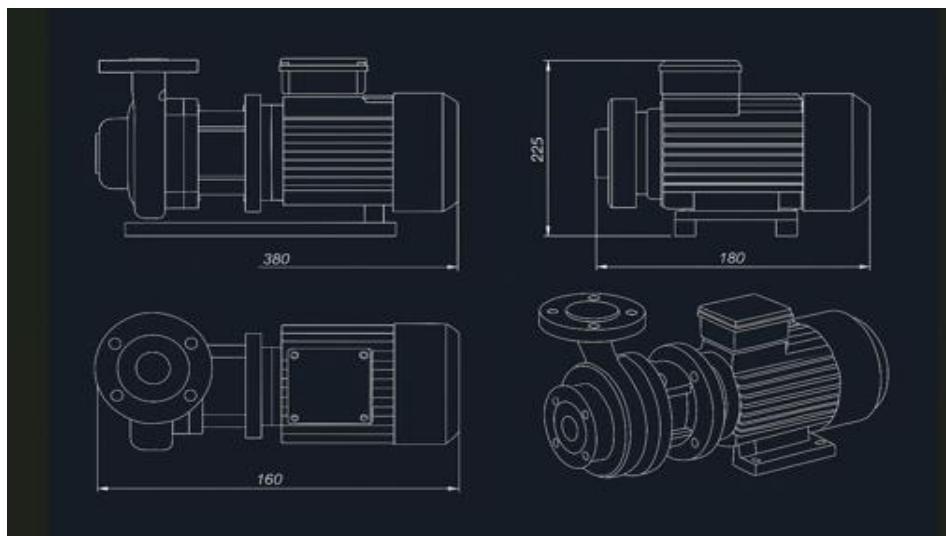


Рис. 3D-модель суднового насоса з проєкціями (стиль Solid Works) [4]

Використання інженерно-графічних моделей у діагностиці суднового обладнання. У сучасних умовах експлуатації морських суден особливого значення набувають методи технічної діагностики обладнання, спрямовані на своєчасне виявлення несправностей та попередження можливих відмов. Одним із ефективних інструментів такої діагностики є інженерно-графічні моделі, які дозволяють наочно відображати структуру та принцип роботи технічних систем.

Інженерно-графічні моделі можуть бути представлені у вигляді креслень, функціональних схем, кінематичних діаграм або тривимірних цифрових моделей. Кожен із цих видів графічної інформації має свої особливості та використовується для вирішення певних технічних завдань. Наприклад, збірні креслення дозволяють аналізувати взаємне розташування деталей механізму, тоді як функціональні схеми відображають логіку роботи технічної системи.

Використання графічних моделей значно полегшує процес аналізу технічного стану обладнання. Завдяки візуалізації конструкції механізму фахівець може швидше визначити можливі причини відмови, оцінити стан окремих елементів системи та розробити оптимальну стратегію проведення ремонтних робіт. Це дозволяє скоротити час діагностики, підвищити точність технічних рішень і зменшити ризик виникнення аварійних ситуацій.

Сучасні цифрові технології відкривають нові можливості для використання інженерно-графічних моделей у процесі технічної діагностики. Тривимірні моделі, створені у CAD-системах, дозволяють проводити віртуальний аналіз роботи механізмів, досліджувати розподіл навантажень, визначати потенційно небезпечні зони конструкції та прогнозувати можливі дефекти.

Важливою перевагою використання графічних моделей є можливість проведення попереднього аналізу технічних процесів без втручання у реальну конструкцію обладнання. Це дозволяє уникнути додаткових витрат часу та ре-

сурсів, а також зменшує ризик пошкодження механізмів під час проведення діагностичних робіт.

Таким чином, інженерно-графічні моделі є ефективним інструментом технічного аналізу та діагностики суднового обладнання. Їх використання сприяє підвищенню надійності експлуатації суднових систем, оптимізації процесів технічного обслуговування та забезпеченню безпеки морського транспорту.

Перспективи розвитку інженерно-графічної підготовки у морській освіті. Сучасний етап розвитку морської галузі характеризується активним впровадженням цифрових технологій, автоматизованих систем управління та інноваційних інженерних рішень. У таких умовах підготовка майбутніх фахівців морського транспорту потребує постійного вдосконалення змісту та методів навчання. Особливе місце у цьому процесі займає розвиток інженерно-графічної підготовки.

Одним із перспективних напрямів удосконалення графічної підготовки є інтеграція сучасних інформаційних технологій у навчальний процес. Використання систем автоматизованого проектування дозволило б курсантам працювати з тривимірними моделями технічних об'єктів, аналізувати їх конструкцію та моделювати різні режими роботи обладнання. Це сприяє глибшому розумінню принципів функціонування технічних систем і формуванню сучасних інженерних компетентностей[5].

Перспективним напрямом є також застосування технологій віртуальної та доповненої реальності. Такі технології дозволяють відтворювати реальні умови експлуатації суднового обладнання та проводити навчальні тренування безпосередньо у віртуальному середовищі. Це значно підвищує ефективність підготовки майбутніх інженерів і сприяє формуванню професійних компетентностей, необхідних для роботи у сучасному суднопластві.

Крім того, розвиток інженерно-графічної підготовки передбачає інтеграцію міждисциплінарних знань. Поєднання графічних дисциплін із курсами механіки, матеріалознавства, теорії механізмів і машин дозволяє сформувати комплексне уявлення про технічні процеси та підвищує рівень підготовки фахівців.

Отже, подальший розвиток інженерно-графічної підготовки у морській освіті є важливим фактором формування конкурентоспроможних фахівців, здатних ефективно працювати в умовах технологічного розвитку та цифровізації судноплавної галузі [6].

Висновки. Інженерно-графічна підготовка є важливою складовою професійної компетентності майбутніх судномеханіків. Вона сприяє розвитку просторового мислення, формує навички аналізу технічної інформації та забезпечує ефективне прийняття експлуатаційних рішень.

Інтеграція сучасних цифрових технологій і систем тривимірного моделювання у навчальний процес сприяє підготовці фахівців, здатних ефективно працювати в умовах сучасного суднопластва. Підвищення якості графічної підготовки безпосередньо впливає на ефективність експлуатації суден, оптимізацію технічного обслуговування та підвищення безпеки морського транспорту.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Корх М.В. Нарисна геометрія та інженерна графіка: навчальний посібник / М.В. Корх, Ю.І. Журавльов. – Одеса: НУ «ОМА», 2025. – 136 с.
2. Корх М.В. Формування професійних компетентностей майбутніх фахівців морського профілю засобами сучасних цифрових технологій / М.В. Корх // Педагогічний альманах: збірник наукових праць. (51).– Херсон, 2022. – С. 137-145.
3. Korh M.V. Innovation in the development of ship system drawings and schematics /M.V. Korh, Yu.I Zhuravlov // Суднові енергетичні установки: науково-технічний збірник. Випуск № 50 . - Одеса: НУ «ОМА» . – 2025.- С. 168-178.
4. Solid Works for Marine Engineers: Practical Toolkit. – Rotterdam, 2022.
5. Карпюк Л.В. Інженерна графіка як «азбука конструювання» в машинобудівному кресленні / Карпюк Л. В. Давіденко Н. О., Лорія М. Г., Гурін О. М. // Вісник Східноукраїнського національного університету імені В. Даля. – 2023. – №3. – С. 25–30.
6. Немченко Ю. Інженерна графіка в цифрову епоху / Ю. Немченко // матеріали XIV Міжнародної науково-практичної конференції «Актуальні питання графічної підготовки: теорія, практика та шляхи розвитку». – Київ, 2025. – С. 617-623.

Перспективи розвитку лубрикаторних систем судових дизелів

Провідні дизелебудівні фірми йдуть шляхом підвищення економічності судових двигунів переважно за рахунок поліпшення організації робочого процесу (збільшений хід поршня), підвищення тиску впорскування палива і максимального тиску згоряння, вдосконалення умов газообміну, переходу на наддув при постійному тиску газів перед турбіною і підвищення к.к.д. турбокомпресорів.

Одночасно спостерігається зміщення типорозмірних рядів МОД всіх фірм у бік моделей з дуже малими розмірами циліндрів, які раніше були характерними для середньооборотних двигунів. Так, компанія MAN-B&W розробила двигуни серії L-MS з діаметром циліндра 280мм та відношенням $S/D=3$, а фірма "Зульцер" – варіанти двигуна моделі RTA з діаметром циліндрів 480 та 380мм.

Малорозмірні крейцкопфні дизелі мають хороші перспективи в порівнянні з середньооборотними тронковими дизелями завдяки підвищеній здатності працювати на низькосортних важких і в'язких паливах, менших витрат на обслуговування (за рахунок збільшення циліндрової потужності), меншої шумності і більшим моторесурсам.

Одночасно з розширенням виробництва МОД малих розмірів дизелебудівні фірми припинили виробництво машин з діаметрами циліндрів більше 900мм. Відмова від використання двигунів великих розмірностей не випадкова і викликана тим, що потрібні потужності вдається забезпечити форсуванням наддувом двигунів щодо невеликої розмірності.

Форсування судових дизелів за рахунок застосування газотурбінного наддуву залишається основним напрямом збільшення їх циліндрової потужності. Енергетична криза змусила фірму MAN-B&W (як і інші фірми) перейти до створення двигунів з більшим відношенням S/D . Збільшення ходу поршня компенсувало зниження частоти обертання та дозволило зберегти на колишньому рівні циліндрову потужність.

Форсування двигунів, застосування важких сортів палив з підвищеним вмістом сірки і збереження при цьому надійності роботи дизелів підвищує актуальність створення довговічних сполучень шляхом поліпшення характеристик міцності з одночасним якісним їх змашуванням. Надійність і довговічність роботи судових дизелів певною мірою визначається швидкістю зносу сполучення втулка - поршневе кільце.

Зниження частоти обертання довгоходових двигунів дає можливість збільшити діаметр гвинта і в результаті підвищити про-пульсивний к.к.д. приблизно на 5%. Випробування побудованих дизелів показали, що при довгоходовому виконанні підвищується і індикаторний к.к.д., оскільки повніше використовується робота розширення газів.

У зв'язку з новими показниками відношення ходу поршня до діаметра циліндра (S/D) двигунів нових типорозмірів, значно збільшилася довжина змащуваної частини циліндрової втулки, що вимагає особливої уваги до питань ефективності роботи лубрикаторних систем цих дизелів.

Зміни в конструкції торкнулися і систем змащування циліндрів. В результаті випробувань, проведених фірмами, було встановлено, що нові системи змащування покращують стан циліндропоршневої групи і володіють можливістю підвищення економічних показників роботи двигунів за витратою дорогих масел.

Однак, як показала експлуатація двигунів [1,3], застосування нових систем не вичерпало всі можливості поліпшення розподілу та ефективності використання масел. Як і раніше, мають місце інтенсивні зноси деталей ЦПГ, натирання на втулках, поломка поршневих кілець і закоксовування вікон.

Втулки циліндрів СДВЗ працюють у важких умовах. Внутрішня поверхня втулки піддається впливу не тільки гарячих газів, але і є поверхнею тертя поршневих кілець і поршня. У зв'язку з цим одним із поширених дефектів цих деталей є підвищений, або нерівномірний знос і задирання.

Розвитку задирання сприяє також збільшення прориву газів у підпоршневі порожнини або в картер, що здувають масло з робочої поверхні циліндрів. В екстремальних випадках задир призводить до заклинювання поршнів в циліндрах, появи в них тріщин, обрив поршнів і шатунів.

Важливу роль при експлуатації суднових дизелів грають раптові відмови, пов'язані з втратою ходу судна. Частка раптових відмов суднових дизелів зазвичай трохи більше 10%, але може збільшуватися до 35% на двигунах з підвищеним ступенем автоматизації.

В даний час спостерігається тенденція в здешевленні застосовуваних сортів палив суднових ДВЗ. Зменшення ціни на паливо призводить до погіршення його якості, яке незмінно супроводжується збільшенням зносу деталей ЦПГ, а разом з ним і погіршенням надійності суднового дизеля в цілому.

Частково компенсувати несприятливий вплив від використання дешевих сортів палива вдається за рахунок: підвищення якості застосовуваних матеріалів деталей ЦПГ; використання високоякісних циліндрових масел; організації змащування деталей ЦПГ, що труться, відповідно до заданого режиму роботи, сортів застосовуваного палива та режимів охолодження двигуна.

Поступові відмови характеризуються повільною зміною технічного стану дизеля і найчастіше пов'язані з тими чи іншими видами зношування. При поступовій відмові одного з вузлів двигуна механік може керувати його розвитком: призначити відповідний режим експлуатації, вжити заходів до завчасного ремонту або заміни, щоб запобігти відмові всього двигуна. Одним з перспективних шляхів запобігання раптовим відмовам є використання надійних і довговічних деталей циліндро-поршневої групи суднових дизелів.

Як показує експлуатація суднових дизелів, підвищені витрати масла призводять до збільшення продуктів забруднення, утворення відкладень на деталях ЦПГ, в продувних вікнах циліндрової втулки, в продувному ресивері і в газо-

випускному тракту. Спостерігається підвищене скидання мастила в підпоршневий простір.

У той же час, недостатня подача мастила спричиняє порушення цілісності масляної плівки на робочій поверхні циліндрової втулки та виникнення напів-сухого або сухого тертя (появі ділянок сухої поверхні на поршні та дзеркалі циліндра). Погіршується рухливість, відбувається защемлення та пригорання поршневих кілець.

Це супроводжується інтенсивними зносами, а іноді і "задиранням" поверхонь, що призводить до вимушених зупинок, знижує надійність і моторесурс дизелів.

Підвищеному зносу втулок, передують поломка або інтенсивне зношування поршневого кільця. Крім того, для циліндрових втулок з нормальною швидкістю зношування зона максимального зносу розташована на рівні першого поршневого кільця. При інтенсивному зношуванні найбільша вироблення втулки зміщується в пояс між третім і четвертим кільцем. У цьому поясі канали охолодження нижньої і верхньої частин втулки знаходяться приблизно в 1,5 рази далі від робочої поверхні, ніж у верхньому поясі.

Як показують дослідження, процес подачі масла в циліндр характеризують: моменти, тривалість і частота надходження масла на дзеркало, швидкість, форма і траєкторія його за межами каналу, величина витрати масла в фазах подачі, а також кількісне співвідношення порцій, які стікають по дзеркалу і надходять в циліндр з метанням частини масла.

Оцінка ролі системи змащування, без уявлення про згадані вище параметри процесу подачі масла в циліндри двигунів утруднена, так як саме ці параметри визначають умови розподілу і ефективність використання масла в циліндрі.

Форсування ДВЗ та застосування важких сортів палив з підвищеним вмістом сірки, погіршують умови роботи його деталей, що значно підвищує вимоги до систем змащування. Ці системи можна розділити на поширені лубрикаторні системи і перспективні – безлубрикаторні.

У двотактних дизелях фірми MAN - B&W витрати на циліндрове масло для великих дизелів, які працюють з рекомендованими нормами витрати масла, займають одне з провідних місць. Навіть скорочення витрати циліндрового мастила на 0,1 г/кВт*год, представляє важливу щорічну економію для судновласників.

Тому оптимальне змащування циліндрів є важливою темою для розвитку, з метою скорочення дозувань масла при підтримці задовільного зносу ЦПГ і збільшенні часу між моточистками. Зменшене споживання циліндрового масла також позитивно впливає на навколишнє середовище.

Підвищений знос і задири сполучення втулка - поршневе кільце є одними з найбільш типових дефектів судових дизелів. У їх основі лежить мікрозадир, який можна уявити як розрив масляної плівки на відносно малій площі дзеркала циліндра, яка не відновлюється протягом декількох ходів поршня.

Мікрозадири походять від зіткнення з великою кількістю повітря, кисень якого активно впливає на масляну плівку. Процес окислення масла в тонкому шарі йде тим інтенсивніше, чим більша концентрація кисню, температура і по-

верхня контакту. Крім того масляна плівка піддається впливу компонентів випускних газів, а також твердих продуктів неповного згоряння палива.

Для зменшення підвищених зносів судновласники змушені збільшувати витрату циліндрового масла, використовувати високоякісні марки масел, експлуатувати двигуни на режимах обмеженої потужності, вести ретельний контроль за станом поршневих кілець і роботою системи мащення.

В результаті недостатньої надійності роботи сполучення втулка - поршневе кільце доводиться в експлуатації проводити часті розкриття циліндрів для контролю стану робочої поверхні, заміни зношених поршневих кілець і запилювання фасок на кільцях. Усунення причин які викликають інтенсивні зноси циліндрових втулок і поршневих кілець можливе шляхом забезпечення на всіх режимах роботи двигуна міцної масляної плівки між парюютертя.

У кожному циліндрі процес подачі мастила протікає по-різному. Це відомою мірою вносить різноманітність в організацію мащення циліндрів, що у свою чергу позначається на зносах сполучення циліндрова втулок-поршневе кільце (рис.1).

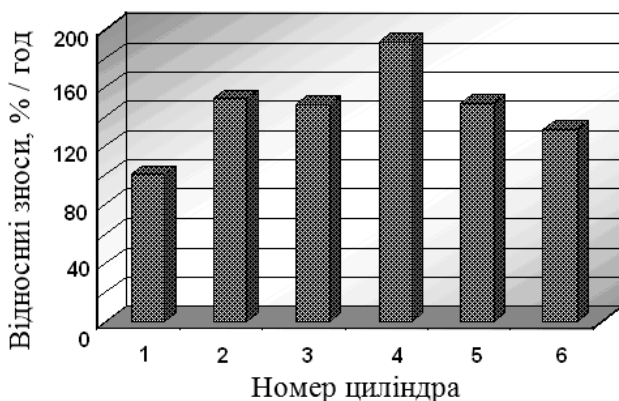


Рис. 1. Швидкість зносу сполучення втулка - кільце

Циліндрове масло має бути подано в циліндр в певному положенні поршня і в певний час, для отримання оптимального ефекту, який не завжди забезпечується сьогодні звичайними лубрикаторами. Фірма MAN-B&W почала широке застосування нової електронної системи "Альфа".

Нова мастильна система заснована на принципі впорскування певного об'єму масла в циліндр, для кожних чотирьох (кожних п'яти, шести, і т.д.) оборотів. Крім того, точний вибір часу впорскування, гарантує (на думку фірми), що вся циліндрове масло надходить безпосередньо на поршневі кільця, де воно необхідне.

Застосування комп'ютера в електричній схемі лубрикатора створює передумови регулювання порцій масла залежно від відсоткового вмісту сірки в паливі, і лужного числа циліндрового масла.

Насправді, на нових двигунах мають місце сильно завищені дозування циліндрового масла. Дизелебудівні заводи дають суперечливі рекомендації щодо норм витрати мастила.

Відомо, що існує взаємозв'язок між вмістом сірки в паливі та зносом циліндрових втулок. До деякого критичного вмісту сірки, збільшення зносу втулок

відбувається лінійно. Після критичного значення вмісту сірки в паливі відбувається різке збільшення зносу.

Тому часто досліджується шлях при якому кількість мастила, що подається в кожен циліндр, змінюється як пряма або опосередкована функція вмісту сірки в паливі, що поступає, в тому ж напрямку, як і зміна вмісту сірки.

Однак доцільніше безперервно вимірювати вміст сірки в паливі, що надходить, і змінювати якість мастила, що подається при зміні вмісту сірки.

Інший напрямок, коли для визначення фактичного зносу деталей ЦПГ, проводиться безперервний контроль вмісту заліза у відпрацьованому маслі, який порівнюється з допустимими значеннями вмісту заліза у відпрацьованому маслі як функція вмісту сірки в паливі, це дає можливість вживати необхідних заходів у разі неприпустимих відхилень.

Постійний процес, що контролює стан циліндра через сигнали зворотного зв'язку відпрацьованого циліндрового мастила, і вмісту сірки в паливі, в електронній системі мастила "Альфа" компанії MAN-B&W (на думку фірми) гарантує значні заощадження циліндрового масла поряд з керованими нормами зношування, контрольованими задираннями і довшими інтервалами між мото-чистками.

Величина подачі циліндрового масла пропорційно навантаженню на двигун є одним з двох стандартних виборів компанії (інший - управляє величиною подачі циліндрового масла пропорційно середньому ефективному тиску).

Як новий напрямок фірма MAN-B&W бачить створення алгоритму подачі мастила заснованого на аналізі відпрацьованого масла, дозуванні циліндрового масла, навантаженні на двигун, і нормі зносу циліндрів (рис.2) [2].

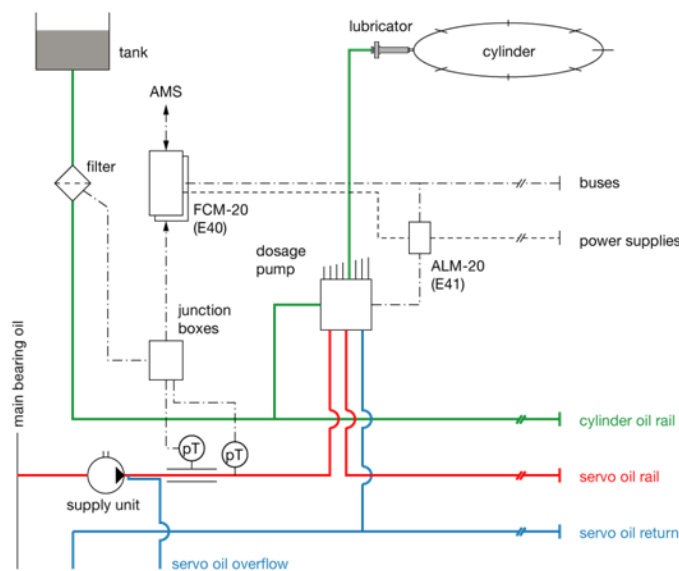


Рис.2. Концепція змащування циліндрів двигунів фірми MAN-B&W

Автоматичне дозування циліндрового масла і ефективність циліндрового мастила стають дійсно постійно контрольованим параметром, що залежать від складу відпрацьованого циліндрового масла від кожного циліндра. Після обробки сигналів комп'ютером, передаються команди до кожного лубрикатора системи "Альфа".

Оцінка зносу може бути заснована на контролі величини витрати або контролі лужного числа циліндрового масла. Скорочення величини подачі може зменшувати лужне число, таким чином, обмежуючи кількість нейтралізуючого агента, що надходить в циліндр (але тільки до мінімальної величини подачі, необхідної для мастила).

Постійний контроль над лужним числом масла при постійній величині подачі, повинен забезпечувати подальше поліпшення змащування через змішування циліндрових масел з різним лужним числом. Експлуатаційні випробування з цього напрямку проводяться на двигунах MAN-B&W, що використовують нову систему "Альфа".

На деяких двигунах типу L-МС застосовуються лубрикатори з блоками автоматичного регулювання подачі масла, що встановлюються на них.

Такий лубрикатор обладнаний пристроєм - блоком, що автоматично змінює циклову подачу масла в циліндри дизеля в залежності від навантаження.

У той же час, як показують результати досліджень [1,4], недоліки попередніх систем мащення циліндрів проявляються і в нових системах з електронним управлінням подачею мастила.

Аналіз проведено на підставі даних, отриманих за 7-річний період експлуатації головних двигунів MAN - B&W типу L-МС/МСЕ. Ці дані характеризують взаємозв'язок роботи системи маслоподачі з техніко-економічними показниками експлуатації двигунів.

За цей час головні двигуни відпрацювали по 22...24 тисяч годин. У цей час циліндри двигунів розкривали від 5 до 16 разів, тобто, проміжок між розкриттями становив від 1,5 до 5 тис. годин.

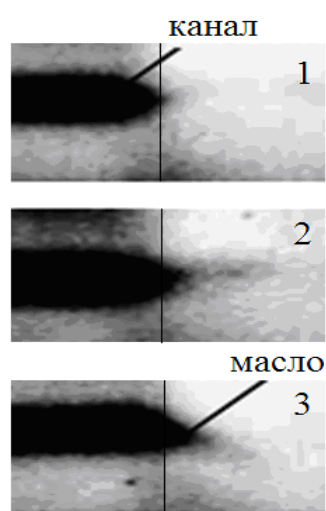


Рис.3. Кінокадри виходу масла за межі каналу

Як показали дослідження, канал в стінці ЦВ заповнюється маслом не повністю, через що в неї проникають гази. При відомому характері зміни тиску з боку порожнини циліндра у каналі формується зворотно-поступальний рух масла, що супроводжується інтенсивним перемішуванням його з газами.

Газо-масляна суміш, при падінні тиску у мастильних отворів зсередини циліндра, рухається по каналу до дзеркала, отримуючи при цьому прискорення за рахунок енергії газових бульбашок, що розширюються.

Перед зрізом каналу на дзеркалі швидкість сягає досить великих значень, у яких масло продовжує рух по осі каналу за її межами (рис.3). Таким чином, відбувається своєрідне виштовхування масла з каналу газами, що розширюються в ньому. Необхідно відзначити, що описані явища (попри послідовну роботу секцій лубрикатора) відбувається у всіх масляних каналах одночасно, що обумовлено загальним для всіх каналів часом наростання і падіння імпульсів тиску газів зсередини циліндра.

Різні періоди поповнення каналу маслом, які відповідають черговості робочих ходів плунжерів лубрикаторів, зумовлюють лише умовну черговість надходження масла з отвору. На рис.4 наведений приклад осцилограми процесу маслоподачі із записом моменту виходу масла за межі каналу. З неї видно, що момент появи масла на зрізі отвору немає прямого зв'язку з нагнітальним ходом плунжера лубрикатора і відкриттям зворотного клапана.

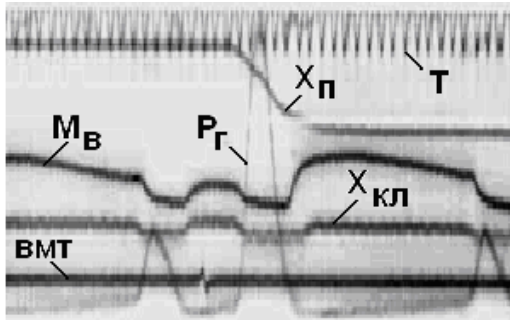


Рис.4. Осцилограма процесу маслоподачі

З явищем «виштовхування» масла з каналу пов'язані основні прямі його втрати. Поєднання кривої руху поршня з осцилограмою дозволяє визначити на які поверхні, і в які періоди відбувається дійсна подача масла.

На підставі обробки результатів швидкісної кінозйомки досліджуваного процесу (один із фрагментів якого наведений на рис.3) графічним диференціюванням визначено швидкості руху масла за межами мас-

тильних отворів, рис.5.

Як видно з малюнку, ці швидкості коливаються від 0,75 до 2,5 м/с. Залежно від фаз і форм виходу масла, траєкторії польоту його в циліндрі, можуть досягати декількох десятків міліметрів (криві L1-L3). Причому малі порції масла (окремі краплі та його пучки) «виштовхуються» з каналів із меншою швидкістю і віддаляються від зрізу мастильних отворів на меншу відстань.

Результатом такої маслоподачі є збільшення відкладень нагару, погіршення стану циліндра та зниження техніко-економічних показників судових ДВС.

Оптимізація витрати циліндрового масла є одним із ключових параметрів у забезпеченні економічності та безпечної експлуатації малооборотних дизелів.

Оптимальна норма витрати кожного окремого двигуна визначається індивідуально, як показує досвід, дійсні вимоги до кількості мастила можуть бути

плуже значними від двигуна до двигуна.

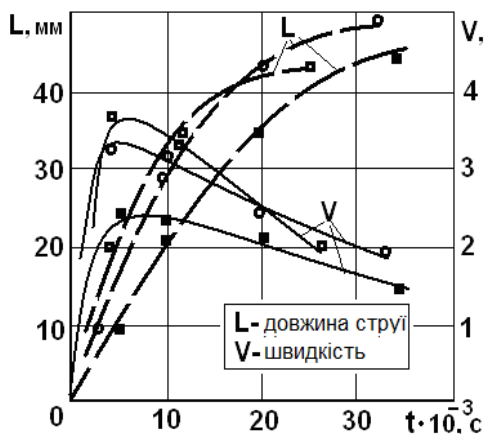


Рис.5. Характеристики процесу маслоподачі

Економічні параметри для вирішення раціональної норми витрати є з одного боку вартість циліндрового масла та з іншого – вартість моточисток, ресурс поршнів та втулок циліндрів. На додаток до цього важливу роль відіграє аспект надійності: уникнення незапланованих зупинок.

Практичний досвід експлуатації L-МС дизелів показує, що рекомендовані норми витрати циліндрового масла розташовуються між значеннями 0,8...1,6 г/кВт·год.

Виходячи з цього широкого розмаху, в дійсних вимогах до циліндрового мастила, приробіткові рекомендовані норми витрати ґрунтуються на збільшеній кількості мастила на початку і поступовому змен-

шенні в результаті інспекції циліндрових втулок через продувні вікна і з боку підпоршневих просторів. Тобто, сам дизель показує дійсно необхідну кількість масла.

Такі норми питомих витрат циліндрового масла з одного боку є сильно завищеними, а з іншого явно вказують на недосконалість застосовуваних на цих двигунах лубрикаторних систем змащування.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Богач В.М. Підвищення ефективності суднових дизелів шляхом удосконалення лубрикаторних систем: Монографія / В.М. Богач – Одеса: НУ «ОМА», 2020. – 294 с.
2. Богач В.М. Особливості роботи лубрикаторних систем суднових довгоходових двигунів / Богач В.М., Довіденко Ю.М., Дуранов О.П. // Суднові енергетичні установки: науково-технічний збірник. Вып. 44. - Одеса: НУ «ОМА», 2022. С. 53-63.
3. Богач В.М. Аналіз умов подачі мастила в циліндри суднових ДВЗ / Богач В.М., Обертюр К.Л., Довіденко Ю.М. // Суднові енергетичні установки: науково-технічний збірник. Вып. 46. - Одеса: НУ «ОМА», 2023. С. 5-16.
4. Богач В.М. Особливості роботи лубрикаторних систем суднових довгоходових двигунів / Богач В.М., Довіденко Ю.М., Дуранов О.П. // Суднові енергетичні установки: науково-технічний збірник. Вып. 44. - Одеса: НУ «ОМА», 2022. С. 53-63.

Козицький С. В., Корнієвич С. Г.
Національний університет Одеська морська академія

Використання полімерних композиційних матеріалів для забезпечення актуальних потреб у сучасних матеріалах на судні

Машинобудування у ХХ сторіччі головним чином базувалося на чорній металургії: вироби з них є дуже металоємкими і багато важать; корозія руйнує до 20% річного виробництва чавуну і сталі. Ще у другій половині минулого сторіччя перейшли на застосування таких металів як титан, алюміній, магній. Легкі, міцні, корозійностійкі сплави дозволяють в декілька разів зробити машини легшими, в 10 разів скоротити витрати на ремонт і у 2 рази - на паливо.

Невідкладною вимогою сьогодення є розробка і виробництво нових матеріалів Корпус судна та його механізми експлуатуються в складних умовах постійної дії агресивного середовища (вологи та солоної води), при статичних, циклічних і ударних навантаженнях, при низьких і високих температурах. Ці чинники визначають вимоги до конструкційних матеріалів, основні з яких експлуатаційні, технологічні і економічні [1].

Для досягнення необхідних показників розвитку можуть бути використані композиційні матеріали (КМ) – це матеріали, які складаються з двох або більше компонентів (дискретних елементів і матриці, що їх зв'язує), мають специфічні властивості, відмінні від сумарних властивостей елементів, з яких вони складаються. Дискретні елементи можуть виконувати активну роль як зміцнювальні елементи для модифікації механічних або експлуатаційних властивостей (міцність, теплопровідність та ін.).

В залежності від матеріалу матриці, КМ, розбивають на три групи: з металевою матрицею; металеві КМ, з керамічною матрицею; керамічні КМ, з полімерною матрицею; полімерні КМ. В залежності від матеріалу армуючих волокон: армовані скляними волокнами – склопластики; металевими – металопластики; вуглецевими – вуглепластики; органічними – органопластики. За орієнтацією та типом арматури усі КМ поділяються на ізотропні, що мають однакові властивості в усіх напрямках, та анізотропні. У випадку ізотропних КМ зміцнення здійснюється матрицею та частинками приблизно однаково. У випадку анізотропних КМ зміцнення здійснюється, в основному, частинками голчатої форми, тому як такі частинки використовують відрізки волокон або ниткоподібні кристали.

З огляду на викладене вище, на відміну від металообробних технологій процеси виробництва виробів із КМ дозволяють суттєво підвищити коефіцієнт використання матеріалу та довести його до значень 0,8 - 0,95 шляхом створення заданих геометрично розмірів і форм, що дозволяє суттєво знизити їх вартість порівняно з виробами з традиційних матеріалів [2].

Композиційні матеріали мають цілий ряд специфічних властивостей, які не проявляють традиційні матеріали, наприклад, для КМ характерна значна анізотропія механічних і фізичних властивостей. Композиційні матеріали використовують як для заміни традиційних конструкційних матеріалів, так і як

спеціально створені матеріали, які мають деякі спеціальні властивості, заради яких вони і створюються, – антикорозійні, теплозахисні, оптичні, тощо.

В техніці найчастіше використовують анізотропні КМ в яких армовані волокна укладаються шарами або поздовжнім способом. Волокна, які є арматурою, повинні мати високу міцність, малу густину та високу температуру плавлення, хімічну стійкість у матриці. Ниткоподібна форма армуючих елементів має позитивні сторони: високу міцність (пружність) в напрямі, куди спрямовані волокна.

Недолік ниткоподібних матеріалів - низька пружність у напрямі перпендикулярному волокнам, оскільки волокна здатні передавати навантаження, в основному, лише вздовж волокон.

В роботі розглянуто механічні, фізико-хімічні та експлуатаційні властивості полімерних КМ, армованих волокнистими матеріалами у порівняння з традиційними матеріалами (сталь). Проаналізовано їхнє застосування в конструкціях морських суден та суднового обладнання з урахуванням морського агресивного середовища.

Пружність однонаправлених армованих КМ.

Розглянемо модель однонаправлених армованих КМ, яка зображена на рис. 1 за відомими пружними характеристиками його компонент. Обмежимося випадком коли при навантаженні КМ відбувається спільна деформація матриці та армованого матеріалу, тобто між ними існує жорсткий зв'язок

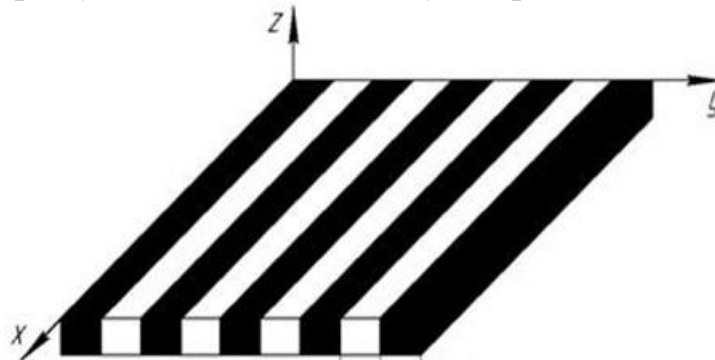


Рисунок 1. Схематичне зображення структури однонаправленого композиційного матеріалу (чорні області – волокна, білі – матриця)

Розглянемо 2 випадки деформації, коли зовнішня сила направлена у напрямі волокон - вздовх осі x та поперек волокон - вздовх осі y (рис.1).

У випадок, коли сила F спрямована у напрямі осей волокон (осі Ox , рис.1). В нашому випадку деформації матриці ϵ_M , волокон ϵ_B та композиції ϵ_K однакові, а прикладена сила діє на волокна та матрицю $F = F_B + F_M$. Скориставшись законом Гука, можна отримати вираз для модуля пружності в цьому випадку

$$E_K = E_B K_B + E_M (1 - K_B), \quad (1)$$

де E_K , E_B , E_M - модулі Юнга композицій, волокон та матриці, відповідно, та K_B - об'ємна частка волокна. Формулою (1) можна користува-

тися поки матеріал армування не порушує суцільність КМ, тобто при $K_B < 0,2$.

Оскільки волокна матрицю вводять для зміцнення КМ, то модуль Юнга волокна $E_B \gg E_M$, а тоді з рівняння (1) при малих концентраціях $K_B = 1-5\%$, коли зберігається суцільність КМ, отримуємо наближену формулу

$$E_K \approx E_M + E_B K_B. \quad (2)$$

Міцність КМ у напрямі осей волокон пропорціональна концентрації K_B волокон з коефіцієнтом пружності матеріалу армування.

Випадок, коли сила F_y спрямована перпендикулярно до осі волокон (вздовж осі y , рис.1). У цьому випадку напруження у кожному з компонентів КМ будуть однаковими $\sigma_{yK} = \sigma_{yB} = \sigma_{yM}$, а абсолютна деформація Δ_{yK} КМ буде дорівнювати сумі абсолютних деформацій матриці Δ_{yM} та волокна Δ_{yB} . Скориставшись законом Гука, можна отримати вираз для модуля пружності в цьому випадку

$$E_{yK} = \frac{E_{yB} E_{yM}}{E_{yB} (1 - K_B) + K_B E_{yM}} \quad (3)$$

При малих концентраціях $K_B = 1-5\%$ з формули (3) отримуємо формулу, яка вказує на зростання міцності КМ при збільшенні концентрації K_B волокон

$$E_{yK} \approx E_M + E_M K_B \quad (4)$$

Міцність КМ у напрямі перпендикулярному до осі волокон також пропорціональна концентрації K_B волокон, але з коефіцієнтом пружності матриці.

Матеріали матриці та армування [1].

КМ повинен сприймати різні зовнішні навантаження: розтягування; стиснення; пластичність; згин; тощо; і передавати зусилля на волокна. Навантаження на волокна передаються через полімерну матрицю, яка зв'язує і стабілізує структуру, передаючи навантаження на елементи армування та розподіляючи деформацію. Матрицею для більшості полімерних КМ служать епоксидні смоли з поліефірної, вінілестерної або епоксидної смоли, які забезпечують кращу адгезію та механічні властивості, тоді як поліефірні системи часто застосовуються через нижчу вартість та вищу корозійну стійкість.

У волокнистих ПКМ несучим елементом є матеріал армування у вигляді моноволокон, ниток, які утворені тонкими (5 – 20 мкм) волокнами [2], який забезпечує механічну міцність і жорсткість, Волокна повинні задовольняти експлуатаційним та технологічним вимогам. Мікроструктура, хімічний склад, режим з'єднання та міцність міжфазного зв'язку поверхні розділу ПКМ значно впливають на механічні властивості та поведінку при руйнуванні. Проведені дослідження з використанням скануючої електронної мікроскопії та атомно-силової мікроскопії показали [1, 2] найкращі результати по механічним властивостям та стійкості до руйнування ПКМ при використанні армування вуглецевими, скляними та борними волокнами. В даній роботі обмежимося розглядом таких матеріалів армування полімерної матриці.

Для отримання скловолокна використовують метод витягування розплавленого струменя **скла**, утворюючи тонкі нитки. При зменшенні діаметрів скляних волокон, починаючи від 30 мкм, границя міцності різко збільшується, наближаючись до теоретичного значення[4]. Вуглецеві волокна отримують методом хімічного осадження вуглецю з газової фази та вирощування графітових волокон. Борні волокна отримують методом **хімічного осадження з газової фази** бору на розігріту вольфрамову нитку.

Таблиця 1 Фізико-механічні характеристики волокон [1,2]

Параметри	Скляні	Вуглецеві	Борні	Стальні
Густина $\cdot 10^{-3}$, кг/м ³	2,5-2,6	1,9-1,95	2,4-2,5	7,8
Границя міцності σ (ростяг), ГПа	3,5-6,0	2,1-3,5	2,5-4,0	2,9
Модуль пружності E, ГПа	90-130	400-700	370-400	210

Полімери, армовані скловолокном.

Волокнисті полімерні композити, армовані скловолокном (ВПКМС) - це композиційний матеріал, утворений полімерною матрицею (поліефірної, вінілестерної або епоксидної смоли), яка та армована скловолокном.

ВПКМС демонструють високу стійкість до втомних навантажень та гарне демпфування вібрацій порівняно з металевими аналогами, не піддається електрохімічній корозії, на відміну від сталевих конструкцій, у морському середовищі [3]. Матеріали мають низьке водопоглинання (0,1–0,5 %), що сприяє збереженню механічних властивостей у вологому середовищі. Робочі температури залежать від типу матриці, але зазвичай ВПКМС можна застосовувати до ~120–180 °С.

ВПКМС проявляють [5,6] високі механічні властивості (міцність, жорсткість), яку забезпечує скловолокно, тоді як полімерна матриця забезпечує передачу навантаження між волокнами та стійкість до агресивного середовища. Завдяки своїм властивостям ВПКМС широко застосовуються в різних елементах суднової техніки як корпуси малих суден, палуби та надбудови, а їх використання знижує масу маломірних суден на 30-50%, що дозволяє підвищити паливну ефективність.

Основний недолік ВПКМС – вразливість до УФ-випромінювання, що вимагає захисного покриття матеріалу.

Полімери, армовані борним волокном.

Волокнисті полімерні композити, армовані борним волокном (ВПКМБ) -це композиційний матеріал, утворений полімерною матрицею, яка армована борним волокном. Борні волокна відзначаються високим модулем пружності та міцністю, що є значно вище за багато інших армуючих волокон, а також низькою густиною, що робить їх перспективними для спеціальних структурних застосувань [7].

Характерні показники властивостей ВПКМБ - це висока міцність на стиснення та розтяг та значно підвищена, у порівнянні з іншими композитами, міцність на удар. Ці властивості визначають ключові переваги таких композитів у застосуваннях, де потрібна максимальна жорсткість на одиницю маси.

ВПКМБ успішно використовується у морському суднобудуванні для побудови корпусів малих суден та катерів, а також надбудов великих суден, забезпечуючи зниження ваги судна, покращують стабільність, забезпечуючи корозійну стійкість, скорочуючи експлуатаційні витрати та економію палива [7]. З ВПКМБ виготовляють палубні конструкції, частини борту, кріплення обладнання, що піддаються багаторазовим циклічним навантаженням та агресивному впливу навколишнього середовища. Виготовлені з ВПКМБ композитні пропелери забезпечують менший шум, підвищену ефективність та кращу корозійну стійкість, порівняно з металевими аналогами.

Недоліки ВПКМБ - борні волокна є відносно дорогими та технологічно складними у виробництві, що обмежує їх широке застосування у великих судових елементах.

Полімери, армовані вуглецевим волокном.

Волокнисті полімерні композити, армовані вуглецевим волокном (ВПКМВ) - це композиційний матеріал, утворений полімерною матрицею, яка армована вуглецевим волокном. ВПКМВ є одним із найперспективніших класів інженерних матеріалів сучасності, які поєднують низьку густину, високу міцність та жорсткість, відмінні механічні властивостями на вигин та розтяг, відмінну стійкість до корозії та агресивних середовищ, що робить їх привабливими для застосування в багатьох галузях, включно із суднобудуванням та морською технікою.

Вуглецеві волокна у ВПКМВ надають значної міцності при низькій масі, що вирізняє їх серед інших систем, оскільки вони мають дуже високий модуль пружності та високу межу міцності при розтягуванні, низьку гігроскопічність у порівнянні з іншими армуваннями, високу втомну стійкість і корозійну стійкість, особливо у морській воді [9].

Однією з ключових областей застосування ВПКМВ у суднобудуванні є виготовлення корпусів малих суден, катамаранів та швидкісних човнів, де важлива мінімізація маси при збереженні структурної міцності. Це дозволяє істотно зменшити опір воді та підвищити паливну ефективність.

ВПКМВ вже використовується в морських системах з високими вимогами до динамічних характеристик: у патрульних катерах; малих військових плавзасабах та гібридних конструкціях [9]. Ці матеріали також застосовують для виробництва гвинтів і лопатей гідродинамічних гвинтів, рульових систем, настилів палуб і балок, трубопроводів та підводних конструкцій, складних геометричних елементів судових надбудов, успішно замінюючи метали.

Недоліки ВПКМВ - проблеми з переробкою та утилізацією вуглецевих матриць, що потребують подальших екологічних рішень.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Верешака С. М. Механіка композитних матеріалів/ Суми, СДУ, 2013. – 160 с
2. Шукаєв С. М. , Пискунов С. О., Мусієнко О. С. Механіка композиційних матеріалів Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2024. – 147 с.
3. Воронов Г. К., Саввова О. В., Смирнова Ю. О., Фесенко О. І. Технологія виробництва скломатеріалів. Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2020. – 38 с.
4. Liu L., Du M., Liu F. Recent advances in interface microscopic characterization of CFRP composites, *Front. Mater.* (2023) Sec. Polymeric and Composite Materials. Volume 10 - 2023 | <https://doi.org/10.3389/fmats.2023.1124338>
5. Beev A.A. et al., Carbon and Glass Fibers for Polymer Composites. *Key Engineering Materials*, Volume 816 p. 19-26, 2019. DOI:10.4028/www.scientific.net/KEM.816.19
6. Rubino, F. Marine Application of Fiber Reinforced Composites: A Comprehensive Review. *Journal of Marine Science and Engineering (JMSE)* 8(1): 26 (2020). doi:10.3390/jmse8010026
7. Stockdale, J.R., et al. Boron-polymer composites engineered for compression performance / *Journal of Applied Polymer Science*. Volume141, Issue16 , e55236 doi 10.1002/app.55236
8. Wijewickrama L. et al. Fiber-Reinforced Composites Used in the Manufacture of Marine Decks: A Review. *Polymers*, 17(17), 2345, 2025. <https://doi.org/10.3390/polym17172345>
9. Rubino F., Nisticò A., Tucci F., Carlone P. Marine Application of Fiber Reinforced Composites: A Review. *Journal of Marine Science and Engineering*, 8(1), 26, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/jmse8010026>

Використання наночасточок при створенні нових полімерних композитних матеріалів в морській галузі

На сьогоднішній день, є велика кількість проблем, які вимагають ефективного вирішення. Корпус судна та більшість його технологічних вузлів виготовляють з металу. При експлуатації, вони піддаються посиленому впливу зі сторони навколишнього середовища: зміни температури та вологості, контакту з солоною водою, механічним навантаженням та впливу часу. Застосовуються та розробляються різні методи, які запобігають руйнуванню корпусу та суднових вузлів при експлуатації. Паралельно ведуться дослідження з пошуку нових матеріалів, які могли би стати заміниками металу, зберігаючи необхідну міцність та мали б більший термін експлуатації. В кінці минулого століття були розроблені композиційні матеріали на основі полімерів, які армували волокнистими елементами. У роботі [1] розглянуті полімерні композиційні матеріали (ПКМ), армовані скловолокном, борним волокном та вуглецевим волокном. Такі ПКМ показали високу ефективність і можливість їх використання у морській галузі.

У 21 столітті розвиток матеріалознавства спрямований на отримання матеріалів з особливими властивостями, зазвичай досліджуються характеристики макрооб'єктів та їх властивостей на молекулярному рівні. Ця область науки і техніки отримала назву нанотехнологія [2], яка досліджує поведінку матеріалів у діапазоні розмірів 1–100 нанометрів (10^{-9} м). Основним критерієм, за яким матеріал може бути класифікований як «нано-», коли розмір зразка не більше 100 нм та спостерігається якісна зміна властивостей у порівнянні з макроскопічними зразками хоча б в одному вимірі. Унікальні властивості матеріалів нанорозміру можуть суттєво змінювати властивості композитних матеріалів армованих наноматеріалами, що розглядається у цій роботі. Визначення розмірів частинок у розчинах зазвичай проводиться методом скануючої електронної мікроскопії (СЕМ) з допомогою електронного мікроскопа.

Властивості наноматеріалів

Макроскопічні матеріали є тривимірними в той час, як наноматеріали (НМ) можуть мати [2] різну просторову структуру (рис.1):

- а) нульову (діаметр молекули фулерену C_{60} становить 0,7 нм),
- б) одновимірні – довгі вуглецеві нанотрубки діаметром ~ 1 нм та довжиною на 2-4 порядки більшу;
- в) двовимірні – листи графену, це пластини товщиною ~ 1 нм та лінійними розмірами на 2 порядку більшими.

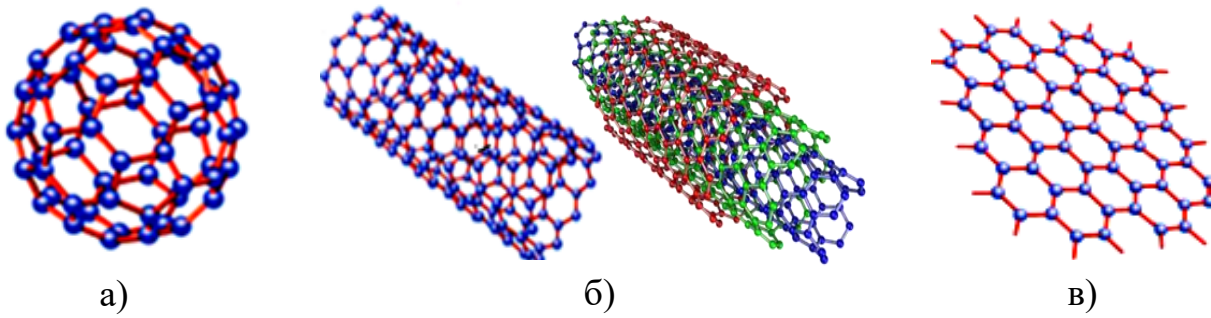


Рис. 1. Форми існування вуглецевих наноматеріалів з різною просторовою структурою: (а) фуллерен C_{60} , (б) вуглецеві нанотрубки одношарові і багатошарові, (в) листи графену

Тривимірні наночастинки (НЧ) – частинки металів, їх окислів та інші сполуки (рис.2), які мають характерні розміри у трьох напрямках в межах 5-30 нм. Форма НЧ може мати ознаки кристалічної решітки заданого кристалу (рис.2), але у більшості випадків їх форма близька до сферичної (рис.3).

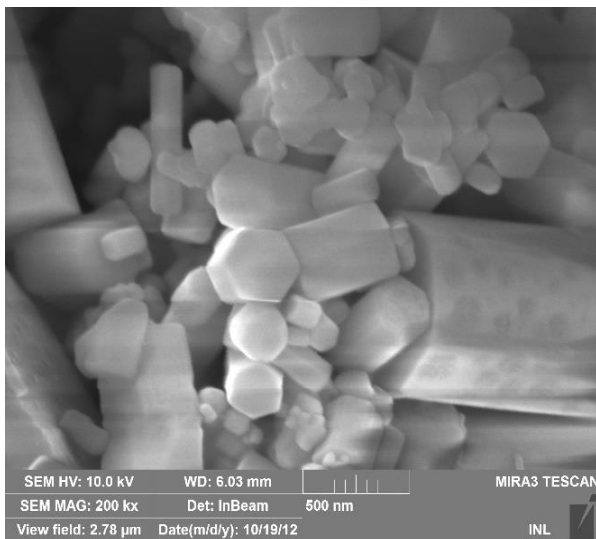


Рис.2. СЕМ фотографії НЧ ZnS , отриманих методом високотемпературного синтезу, що самопоширюється [3]

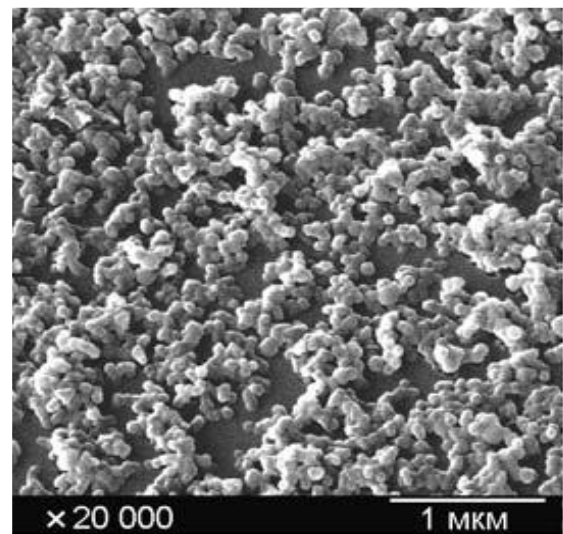


Рис.3. СЕМ фоторграфії НЧ Al_2O_3 , отриманих методом газодисперсного синтезу [4]

Фізичні та хімічні властивості НМ при їх використанні суттєво відрізняються від відповідних властивостей традиційних матеріалів це пов'язане [5] з розмірними ефектами та зумовлює особливості їх поведінки. Зменшення розміру частинки приводить до утворення великої долі поверхневих атомів (молекул). Так, у НЧ з розмірами 10 нм, частка поверхневих атомів складає 30% [5]. Поверхневі атоми мають ненасичені хімічні зв'язки, що пояснює активну взаємодію НМ із зовнішнім середовищем. При зменшенні розміру, збільшується сумарна поверхнева енергія у стільки разів, у скільки зменшується

розмір частинки. Сумарна поверхня 1 г НЧ, розміром 10 нм, складає $\sim 100 \text{ м}^2$, що зумовлює нестабільність НЧ, яка зумовлює процеси самоорганізації при взаємодії з зовнішнім середовищем. Надлишкова поверхнева енергія НЧ [6] збільшує їх хімічну активність та коефіцієнт дифузії. Параметри НЧ знаходяться на межі класичних та квантових явищ [5] і чим менший розмір НЧ частинки, тим сильніше проявляються її квантові властивості.

НМ у порівнянні з макроскопічними матеріалами характеризуються [6] підвищеною твердістю в 2–7 разів, межею міцності в 1,5–8 разів, межею текучості в 2–3 рази у порівнянні з традиційними матеріалами. Збільшення доли поверхневих атомів (молекул) приводить до активної взаємодії частинок, що знаходяться на поверхні НМ із зовнішнім середовищем, що відіграє визначальну роль у формуванні їх незвичайних фізичних і механічних властивостей НЧ та НМ.

Змінюються [6] фундаментальні фізичні параметри, такі як температура плавлення, міцність, ширина забороненої зони, провідність, тощо. Залежність температури плавлення від розміру НЧ визначається параметрами речовини та описується рівнянням

$$T_{nl}(r) = T_{nl} \left(1 - \frac{2}{L\rho_T r} (\sigma_T - \sigma_p) \left(\frac{\rho_T}{\rho_p} \right)^{2/3} \right). \quad (1)$$

де T_{nl} та $T_{nl}(r)$ – температури плавлення масивного матеріалу та наночастинки радіуса r даного матеріалу, ρ_T, ρ_p і σ_T, σ_p – густина і поверхневий

натяг твердого та рідкого стану, L – питома плавлення матеріалу.

Температура плавлення кристалу CdS становить близько 1600 °С, а НЧ CdS, розміром 2 нм, плавляться при 400 °С; для кристалів міді температура плавлення складає 1073°С, а для НЧ, розміром 20 нм, лише 490°С.

Залежність твердості та міцності НЧ від розміру (діаметру d НЧ) змінюються за однаковим законом

$$H(d) = H_0 + kd^{-1/2}; \quad (2)$$

$$\sigma_y(d) = \sigma_{y0} + k'd^{-1/2}. \quad (3)$$

де H_0, σ_{y0} – твердість та внутрішня напруга при великому розмірі зерна, k та k' – коефіцієнти пропорційності для кожного матеріалу.

Для нікелю, твердість за Віккерсом, зростає від 180 до 670 VHN (кгс/мм²) при зменшенні розміру до 10 нм.

Для звичайних матеріалів, чим він міцніший, тим менший ресурс його пластичності. Однак, було експериментально доведено, що в зразках, утворених у випадках отримання нанорозмірними елементами, спостерігається парадокс міцності - одночасно проявляється дуже висока міцність та пластичність [6]. Парадокс міцності і пластичності проявляють метали після інтенсивних пластичних деформацій, коли формуються наноструктури в результаті інтенсивної деформації.

Полімерні нанокомпозитні матеріали (ПНКМ)

Включення наночастинок може значно покращити продуктивність та функціональність композитів на основі полімерів. Композитні матеріали на основі полімерів, армовані НЧ, називаються ПНКМ. Малі розміри НЧ дозволяють заповнювати тріщини та незайняті простори і тим самим зменшувати концентрацію напружень, що зумовлює збільшення міцності ПНКМ. Завдяки своїй великій площі поверхні, НЧ забезпечують міцніший зв'язок з атомами матриці, що дозволяє більш плавно та рівномірно передавати напруження від полімерної матриці до армованого волокна під впливом зовнішніх сил. Отже, НЧ сприяють ефективному перерозподілу напружень від полімерної матриці до матеріалу армування під впливом зовнішніх сил, покращуючи жорсткість та механічні характеристики НКПМ. Найбільш ефективно збільшують механічні властивості вуглецеві нанотрубки (ВНТ) та графен, оскільки вони мають максимально досягнуту міцність, високу стабільність, хімічну сумісність з полімерною матрицею та велику долю поверхневих атомів.

В таблиці 1 наведені найкращі механічні характеристики ПНКМ [7-9]

Наповнювач (наноматеріал)	Полімерна матриця	Концентрація	Максимальна міцність при розтязі	Максимальний модуль Юнга
Al ₂ O ₃	Епоксидна	1.25 мас.%	132 МПа	4.5 GPa
ZnO	Поліестер	5 мас.%	105 МПа	3.8 GPa
SiO ₂	Епоксидна	5 ммас.%	115 МПа	5.2 GPa
MgO	Епоксидна	3 ммас.%	98 МПа	3.5 GPa
ВНТ	Епоксидна	0.3 мас.%	220 МПа	7.8 GPa
Багатошарові ВНТ	Полістирен	0.01 мас.%	400 МПа	10 GPa
Графен	Поліпропилен	0,8 мас.%	180 МПа	6.5 GPa
Оксид графену	Епоксидна	0.5 мас.%	195 МПа	7.2 GPa

Аналіз наведених даних вказує, що армування полімерів НЧ оксидів металів дають можливість збільшити міцності ПНКМ до максимальної величин на рівні 100 Мпа, при концентрації присадки на рівні 3-5%. Найефективнішими НМ армування для підвищення міцності та модуля пружності є ВНТ та графен, які досягають значень у 2 рази більших, ніж відповідні показники для НЧ і при концентраціях, які на прядок менші.

Такі ПНКМ були використані [8] для виготовлення корпусів маломірних морських суден, що забезпечило зниження їх ваги на 30–40% та привело до зменшення витрати палива і зменшення забруднення. ПНКМ застосовують для конструкцій гвинтів, лопатів морських вітротурбін, перегородок на судні, а також полиць для багажу, обшивка кают та меблів у каютах.

Крім збільшення міцності матеріалу, НЧ змінюють фундаментальні властивості як матеріалу матриці, так і частинок армування. Взаємодія між НЧ та полімерами залежить від типу полімеру та фізико-хімічних властивостей НЧ,

що впливає на їхні властивості. Зміна властивостей НЧ та матриці зумовлена взаємодіями поверхневих атомів НЧ з атомами матриці та взаємодії між НЧ. За рахунок великої кількості поверхневих атомів така інтенсивна взаємодія зумовлює процеси *самоорганізації* [10], що призводить до утворення специфічних структур на межі з ближнім та дальнім порядком. Атоми НЧ утворюють зв'язки з атомами матриці, що змінює властивості матриці та фізико-хімічні властивості НЧ, наприклад зміну ширини забороненої зони та оптичну прозорість НЧ і електричну провідність матриці.

Також НМ на основі графіту або C_{60} , мають низький коефіцієнт тертя за рахунок лускатої структури графіту у складі композиту особливо на зовнішніх частинах твердої речовини композитного матеріалу (зменшує тертя). Зазвичай знос деталей відбувається через збільшене тертя між поверхнями, навіть з повітрям ті мікрочастинками у ньому. Як правило, висока чистота графіту більш бажана, щоб мінімізувати знос та покращити властивості композитних матеріалів, хоча цей параметр може бути не пріоритетним, у присутності абразивних наповнювачів (скловолокна, вуглецевого волокна, окремих армуючих компонентів та добавок).

При додаванні НЧ SiO_2 до полімерної матриці вінілхлориду, при концентраціях 5–10 мас% SiO_2 , відбуваються процеси самоорганізації при переходу на поверхню НЧ специфічних функціональних груп ($-OH$, $-COOH$), що приводить до створення складних структур з макромолекулами полімеру. Аналіз за допомогою інфрачервоної спектроскопії, з використанням перетворення Фур'є, підтверджує [11] утворення структурних зв'язків $Si-O-Si$ за рахунок самоорганізації НЧ та структурних зав'язків $Si-OH$ та $Si-COOH$ за рахунок самоорганізації НЧ з помірною матрицею. Показано, що додавання 1% вагової частки НЧ кремнезему (SiO_2) у поліетилен ($(C_2H_4)_n$) може збільшити стійкість до руйнування, порівняно з чистою матрицею, більш ніж у 2,5 разів.

Самоорганізовані наноструктури змінюють електронну структуру поліетилену високої щільності (HDPE), що проявляється у зменшенні ширини забороненої зони, від значення 4,36 до 3,39 еВ, при концентрації 5 мас% НЧ SiO_2 . Відбувається [12] зміна показника заломлення від значення 1,540 до 1,565 та зміна коефіцієнта поглинання від значення $2,1 \cdot 10^3$ до значення $3,2 \cdot 10^3$, діелектрична проникність змінюється від 3,1 до 4,5, а електропровідність від $2,1 \cdot 10^{-12}$ См/м до значення $1,4 \cdot 10^{12}$ См/м. Завдяки цим ефектам ПНКМ SiO_2 демонструють перспективні властивості для оптоелектроніки та захисних покриттів.

У випадку поліетилену [13] спостерігається зміна оптичних та електричних властивостей ПНКМ армованого НЧ SiO_2 . При зміні концентрації НЧ SiO_2 від 0 до 5 мас% та 10 мас%: ширина забороненої зони 7,8 еВ, 7,2 еВ та 6,9 еВ, діелектрична провідність 2,3, 2,9 та 3,3 відповідно та провідність 10^{-16} См/м, $6 \cdot 10^{-17}$ та $4 \cdot 10^{-17}$ См/м, відповідно.

ПНКМ армовані НЧ ZnO можуть значно підвищувати корозійну стійкість металевих поверхонь (наприклад сталі) у агресивних середовищах [14]. Посилення бар'єрної здатності покриття НЧ ZnO збільшують шлях дифузії корозійних агентів (Cl^- , H_2O), що уповільнює їх доступ до металевої поверхні. ZnO може частково розчинятися з утворенням Zn^{2+} і реагувати з активними

ділянками на поверхні металу, формуючи захисний шар, який гальмує подальший корозійний процес.

Дослідження показали, що ZnO-полімерні композити значно краще захищають сталь у кислотному середовищі (наприклад 5 % HCl), ніж чисті полімери [14]. Отже, НЧ ZnO не лише покращують захисні властивості полімерного покриття, а створює бар'єр, що діє як активний інгібітор корозії.

ПНКМ мають важливе значення для роботи сучасних навігаційних та сенсорних систем, оскільки дозволяють поєднати корозійну стійкість полімерів із електричними та оптичними властивостями, необхідними у морській галузі.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Козицький С.В. Корнієвич С. Г. Використання полімерних композиційних матеріалів для забезпечення актуальних потреб у сучасних матеріалах на судні // Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції "Морський та річковий флот: експлуатація і ремонт", Одеса, НУОМА, 2026. С.73-77.

2. Kumar Phany. Principles of Nanotechnology /Ph. Kumar / /2Nd.Edish, Scitech Publications, 2020. – 115 p.

3. Козицький С. В. Мікро- та нанорозмірні кристали сульфиду цинку отримані методом високотемпературного синтезу, що самопоширюється // Фізика аеродисперсних систем. – 2023, №61. с. 32–42. DOI: 10.18524/0367-1631.2023.61.290948

4. Poletaev N. I. Formation of Condensed Combustion Products in Metal Dust Flames Nucleation Stage // Combustion, Explosion, and Shock Waves, 2015, Vol. 51, No. 3, pp. 299–312. DOI:10.1134/S001050821503003X

5. Kozytyskyi S. V. Kiriian S. V. Properties and behavior of nanoparticles // Фізика аеродисперсних систем. – 2022, №60. с. 15–26. DOI: <https://doi.org/10.18524/0367-1631.2022.60.265983>

6. Козицький С. В., С. В. Кіріян Властивості наноструктурованих матеріалів // Суднові енергетичні установки- науково-технічний збірник. Вип. 45, 2022р. С.123-133 DOI: 10.31653/smf45.2022. 123-133

7. Fazlar Rahman, et al. Al₂O₃/ZnO nanoparticle-embedded bio-hybrid composites: A route to enhanced mechanical strength / Composites Communications. Volume 59, November 2025, 102567 DOI:10.1016/j.coco.2025.102567

8. Hongwei Li , et al. Recent research progress and advanced applications of silica/polymer nanocomposites // Nanotechnology Reviews Vol. 11, Issue 1. DOI:10.1515/ntrev 2022 0484

9. Alejandro López-Moreno, et al. Threading Through Macrocycles Enhances the Performance of Carbon Nanotubes as Polymer Fillers // ACS Nano. Vol 10. Issue 8, 2016. p. 8012–8018 DOI:10.48550/arXiv.1608.00916

10. Kozytysky S V., KiriianS.V. Self-organization of nano-sized metal-containing lubricant additives // Суднові енергетичні установки: Науково-технічний збірник. Вип.44, 2022. с.10-17 DOI: 10.31653/smf44.2022. 20-27

11. Xie Q., Li H., et al. Organic polymer composite with inorganic SiO₂ particles for mechanical robustness and self-cleaning anti-reflective coatings // Journal:

Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects (2025). DOI:<https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2024.135564>

12. A. A. Nabiyeu, O. I. Ivankov, et al. High-Dose Gamma Irradiation Effects on HDPE/SiO₂ Nanocomposite Films: Structure, Crystallinity, Defects, Radiation Endurance, Dispersion, and Interfacial Behavior // Journal: Polymer Degradation and Stability, Volume 245, March 2026, 111851-2026. <https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2025.111851>

13. Asif A. Nabiyeu, Andrzej Olejniczak/ at al. Composite Films of HDPE with SiO₂ and ZrO₂ Nanoparticles: The Structure and Interfacial Effects // Nanomaterials 2021, 11(10), 2673. <https://doi.org/10.3390/nano11102673>

14. Raluca Şomoghi, Augustin Semenescu, at al. The Impact of ZnO Nanofillers on Mechanical and Anti Corrosion Performances of Epoxy Composites // Polymers 2024, 16(14), 2054; <https://doi.org/10.3390/polym16142054>

Латиш О.М. Довиденко Ю.М.
Національний університет «Одеська морська академія»

Використання наноматеріалів для підвищення зносостійкості і довговічності деталей машин і механізмів

Використання наноматеріалів показує значний технічний та економічний ефект, оскільки збільшується строк експлуатації виробу, зменшується витрата палива за рахунок зменшення коефіцієнту тертя. Сучасні технології виробництва дозволяють гарантувати раціональне проектування з помірними коефіцієнтами запасу міцності, а також мінімізувати витрати при виробництві і експлуатації виробу. Так при підвищенні довговічності деталей машин скорочуються витрати на запасні частини і матеріали для їх виготовлення, зменшується кількість персоналу і трудомісткість робіт при експлуатації, технічному обслуговуванні та ремонті. Збільшення терміну служби машин рівноцінне збільшенню їх випуску на тих же виробничих площадках. Вирішуючи завдання підвищення надійності і довговічності машин, тим самим опосередковано збільшуються виробничі потужності машинобудівних підприємств. Великий вплив на вибір наноматеріалів має економічна складова, яка обумовлюється високою вартістю наноматеріалів.

Важливою проблемою є необхідність забезпечення екологічності виробництва наноматеріалів. Вагомою ознакою при виборі того чи іншого наноматеріалів має бути екологічність виробництва та їх використання в деталях машин і механізмів. Відомо, що 10 % відомих нанотехнологічних процесів і наноматеріалів мають високий рівень небезпеки, 24 % – середній рівень і 66 % – низький рівень.

Основними компонентами наномасил є базова олива (мастило), нанодобавки та поверхнево-активні речовини. Наночастинки, як правило, є колоїдними твердими частинками в мастильній оливі. Нанодобавки покращують фрикційні властивості, протизносні властивості та властивості масил під час роботи в умовах екстремального тиску. Невеликий розмір наночастинок дозволяє проникати в зону контакту, що зменшує тертя та знос. Успішність використання наночастинок залежить від таких факторів, як сумісність з базовими оливами, розмір, морфологія, концентрація та стабільність дисперсії.

Мастила. Зменшення тертя та зносу в механічних парах, що ковзають, за допомогою мастила є найдавнішим методом. Мастило розділяє контактні поверхні за допомогою плівки між сполученими поверхнями, тим самим зменшуючи їхній контакт. На ефективність мастила впливають багато факторів, таких як індекс в'язкості, температура спалаху, температура застигання, термічна стабільність та стійкість до окислення. Вибір правильних змащувальних матеріалів відіграє важливу роль у змащуванні. Біомастила складаються з рослинних олій. Рослинні олії отримують з рослин методом розчинника та методом пресування. Щоб не залежити від запасів вуглеводнів, біомастила є найкращою альтернативою масилам на мінеральній основі. Рослинні олії в

основному складаються з тригліцеридів, тобто гліцерину з трьома жирними кислотами і мають кращі мастильні властивості, біологічно розкладаються, є поновлюваними, мають високий індекс в'язкості, високу температуру спалаху і низьку токсичність.

Характеристики біомастил.

Бавовняна олія: більш схильна до окислення (для підвищення стабільності використовуються антиоксиданти), має хороші протизносні властивості.

Соева олія: Великий відсоток поліненасичених кислот.

Соняшникова олія: краща стійкість до окислення, краща розчинність добавок, виявляє хороші, протизносні властивості.

Пальмова олія: виявляє хороші протизносні властивості, зменшує кількість отруйних газів у навколишньому середовищі.

Оливкова олія; стійка до окислення.

Механізм змащування шляхом додання наночастинок. Наночастинки додаються до мастила для поліпшення його трибологічних властивостей. Важливо розуміти механізм змащування наночастинок у мастилах. Механізми змащування бувають двох типів, а саме: прямий і непрямий механізм змащування.

Механізм кулькового підшипника та механізм захисної плівки входять до механізму прямого змащування, а механізм відновлення та полірування входять до механізму непрямого змащування.

Наночастинки мають сферичну або квазісферичну форму. Отже, в механізмі кулькового підшипника (кочення) наночастинки діють як кульковий підшипник і котяться між сполученими поверхнями. Цей метод змащування краще підходить для трибологічного застосування меншого навантаження, щоб зберегти форму і жорсткість наночастинок.

Механізм відновлення в якому наночастинки утворюють аморфний шар на поверхні тертя, тим самим зменшуючи площу контакту. Реакція між наночастинками та підкладкою утворює трибоплівку в заданому середовищі, що завдяки цьому механізму відбувається зменшення коефіцієнта тертя та збільшення зносостійкості. Поліпшення поверхні здійснюється з використанням механізму полірування за допомогою наночастинок шляхом згладжування поверхні тертя. Проміжки між шорсткими нерівностями заповнюються наночастинками, що зменшує тертя та знос. У механізмі відновлення наночастинки здатні заповнювати мікро-западини на поверхнях тертя і утворювати антифрикційні, зносостійкі та адгезійні плівки (покриття). До складу шаруватих модифікаторів таких наноматеріалів входять наночастинки ди-і трисульфиду молібдену, диселеніду молібдену, дисульфиду вольфраму і графіт.

Активні компоненти продукту діють безпосередньо на кристалічні решітки металів, створюючи зв'язок на молекулярному рівні і проникаючи у міжкристалічний простір поверхневих шарів. Як результат створюється дуже тонкий і дуже міцний захисний шар.

Ідея реалізації ефекту беззносності й для безрозбірного відновлення трибосистем. На базі металоплакувальних присадок з'явилися методи й засоби для безрозбірного відновлення машин і механізмів Smart-self technologies

(інтелектуальні технології самовідновлення). До відновлювальних присадок, які дають найбільший техніко-економічний ефект, варто віднести кондиціонери металу й інші ПАР, а також добавки модифікаторів. Достатньо ефективними вважаються ревіталізанти (геотрибомодифікатори або геомодифікатори тертя). Їх дія полягає в утворенні антифрикційних і зносостійких вуглецево-металокерамічних покриттів на поверхнях тертя. Відновлюючі наноматеріали відрізняються також видом ПАР.

Наноприсадки на основі фулеренів містять фулерени (англ. Fullerene) – молекулярні форми вуглецю з можливою кількістю атомів від 20 до 940, розташованих у вершинах багатокутників, що утворюють сферу. Наявність фулеренів у присадках до мастильних матеріалів ініціює на поверхнях тертя утворення захисної фулереново-полімерної плівки товщиною 100 нм. Утворена плівка захищає поверхні деталей машин від термічної та окисної деструкції, збільшує термін експлуатації вузлів тертя у 2–3 рази, розширює робочий інтервал тисків вузлів тертя у 1,5–2 рази.

Наночастинки. Наночастинки класифікуються за різними типами залежно від їхнього застосування. Наночастинки як добавки до мастильних олив викликають інтерес завдяки своїм трибологічним властивостям. Нанодобавки покращують характеристики мастила такі як: витримують екстремальний тиск, забезпечують антикорозійність, протизносність, покращують антиоксидантні властивості, які можуть бути використані в різних трибологічних задачах. За хімічним складом наночастинки-добавки класифікуються як металеві, на основі оксидів металів, на основі сульфідів, на основі нітридів, на основі вуглецю та на основі нанокompозитів (Рис 1). Прикладами металевих наночастинок-добавок є Ni, Fe, Au, Ag, Cu, Zn. Металеві частинки утворюють адсорбовану плівку між поверхнями, що стикаються, і створюють ефект кулькового підшипника, зменшуючи таким чином тертя і знос. Металеві оксиди мають такий самий механізм змащення, як і металеві наночастинки.

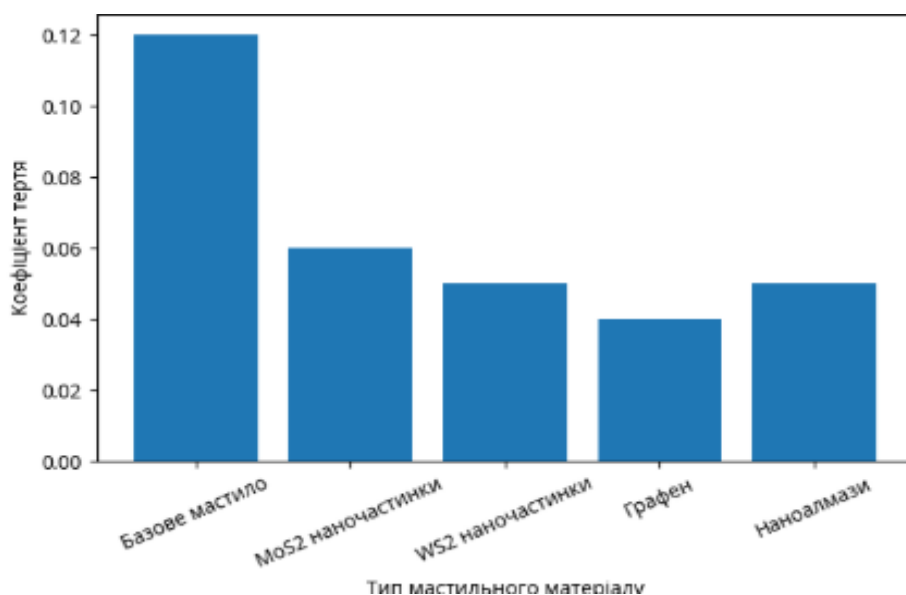


Рис. 1. Вплив наноматеріалів на коефіцієнт тертя

Сульфіди також належать до класу наночастинок-добавок, які мають механізм захисної плівки. Прикладами сульфідних наночастинок є CuS , MoS_2 і WS_2 .

Інший клас наночастинок — це наночастинки на основі вуглецю, а саме вуглецеві нанотрубки, частинки алмазу та графен (Рис. 2, Рис. 3).

Гібридні багатофазні тверді наночастинки це ще один клас добавок, до якого входять $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$, $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$, Cu/SiO_2 , $\text{Cu}/$ оксид графену тощо.

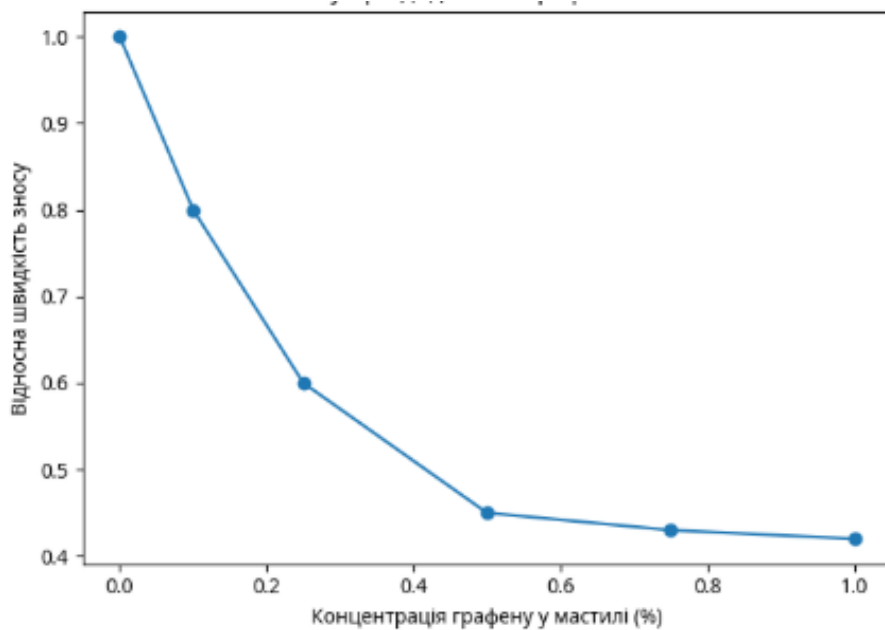


Рис. 2. Зменшення зносу при додаванні графенових наночастинок.

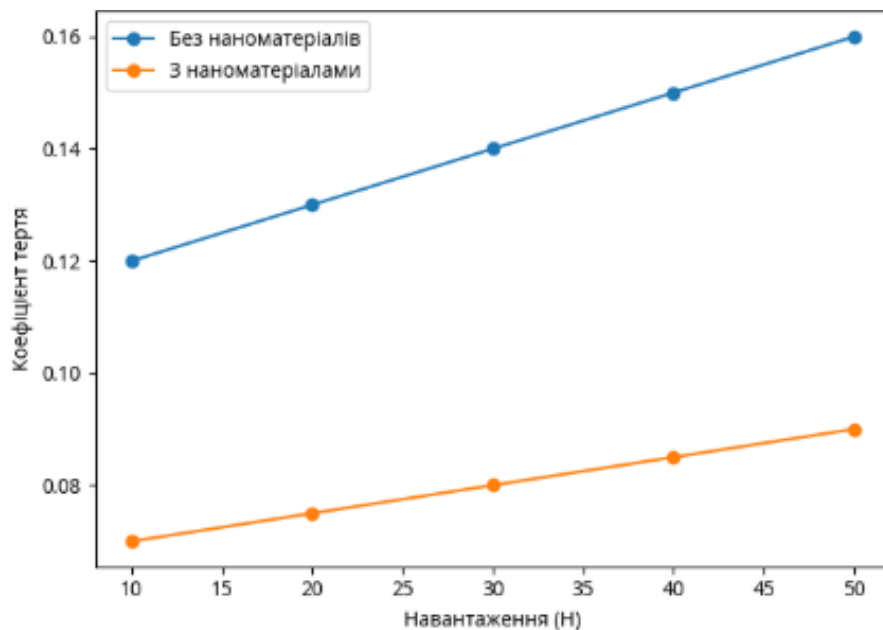


Рис. 3. Порівняння тертя при додаванні графенових наночастинок при різному навантаженні.

Параметри ефективності наночастинок.

Розмір наночастинок. Трибологічні характеристики наномастила залежать від розміру наночастинок, який впливає на трибологічні властивості наномастила. Менший розмір наночастинок сприяє їх проникненню в поверхні механічних пар, та допомагає зменшити тертя і зношування. Твердість доданих наночастинок не повинна перевищувати твердість механічної пари, оскільки це призведе до подряпин. При виборі розміру наночастинок важливо враховувати середньоквадратичну шорсткість змащеної поверхні. Частинки, розмір яких перевищує необхідний, призводять до зниження мастильних властивостей, оскільки великі частинки осідають на контактній поверхні. На однорідність мастила також впливає розмір наночастинок. Дисперсію наночастинок можна збільшити, зменшивши розмір частинок.

Морфологія наночастинок. Форма та структура наночастинок відіграють дуже важливу роль у їх трибологічному застосуванні. Існує п'ять різних форм наночастинок: сферична, гранулярна, трубчаста, цибулеподібна та листоподібна. Поверхнева енергія наночастинок є великою, і для досягнення рівноваги оптимальною є сферична форма. Для частинок сферичної форми поверхнева енергія є однорідною в усіх напрямках, і ці частинки демонструють механізм кулькового підшипника. Частинки сферичної форми мають високу несучу здатність і володіють характеристиками які витримують екстремальний тиск. Наночастинки сферичної форми мають точковий контакт з протилежним тілом. Інший тип - наночастинки цибулеподібної форми, які мають сферичну форму зовні, а всередині - ламінарну. Цей тип форми має перевагу, оскільки має меншу схильність до утворення зв'язків, що призводить до зменшення взаємодії між поверхнею і частинками. Структура графена і MoS₂ має форму пластинчастого листа, що робить їх кращими мастильними матеріалами. (Таблиця 1). Ці типи мастильних матеріалів зменшують знос завдяки процесу ексфліотації, що відбувається між сусідніми шарами під дією зсувного напруження.

Таблиця 1

Наноматеріал	Тип	Основні властивості	Застосування
Наночастинки MoS ₂ (дисульфід молібдену)	Шаруватий наноматеріал	Утворює ковзні шари між поверхнями	Двигуни автомобілів, підшипники
Наночастинки WS ₂	Шаруватий сульфід	Зменшує контакт метал-метал	Аерокосмічна техніка
Графен	Двовимірний матеріал	Формує тонку захисну плівку	Мікромеханічні системи
Наноалмази	Вуглецеві наночастинки	Полірують поверхні та зменшують знос	Прецизійні механізми
TiO ₂ (діоксид титану)	Оксидні наночастинки	Створює захисний шар	Індустріальні редуктори

Стабільність дисперсії наночастинок. Через високе співвідношення площі поверхні до об'єму наночастинок мають високу поверхневу енергію. Для досягнення рівноваги частинки в суспензії агломеруються і злипаються між собою. Стабільність дисперсії наночастинок є важливою, оскільки агломерація наночастинок впливає на швидкість седиментації і, в свою чергу, на втрату зносостійкості та змащувальних властивостей. Низька стабільність дисперсії призводить до седиментації та засмічення. Для ефективного складу нанозмащувача необхідна стабільна суспензія.

Для зменшення агломерації та досягнення стабільної дисперсії наночастинок використовуються різні методи: перемішування магнітною силою, ультразвукова обробка зондом, гомогенізація, змішування з високим зсувом та кульове подрібнення. Методи, що використовуються для моніторингу стабільності дисперсії, – це зет-потенціал, спектральна поглинаюча здатність, седиментація та металографічний мікрографічний тест стабільності. Метод підвищення стабільності дисперсії наночастинок в оліях – це модифікація поверхні наночастинок або поверхнево-активні речовини. У методі модифікації поверхні органічний модифікуючий агент покращує поверхневі властивості наночастинок. Теретова кислота є найпоширенішим модифікуючим агентом, який поглинається навколо наночастинок, тим самим зменшуючи їх поверхневу енергію і запобігаючи агломерації. Поверхнево-активна речовина, також відома як диспергатор, є іншим методом забезпечення стабільності дисперсії частинки. Поверхнево-активні речовини додають до наномасил для підвищення стабільності дисперсії. Зазвичай використовуються такі поверхнево-активні речовини: олеїнова кислота, бензалконію хлорид (SDS), Triton TMX102.

Концентрація наночастинок та її роль. Концентрація наночастинок є важливим фактором у зменшенні тертя між поверхнями. Додавання надлишку наночастинок не обов'язково означає, що це зменшить тертя та знос, тому важливою є оптимальна концентрація (Рис. 4).

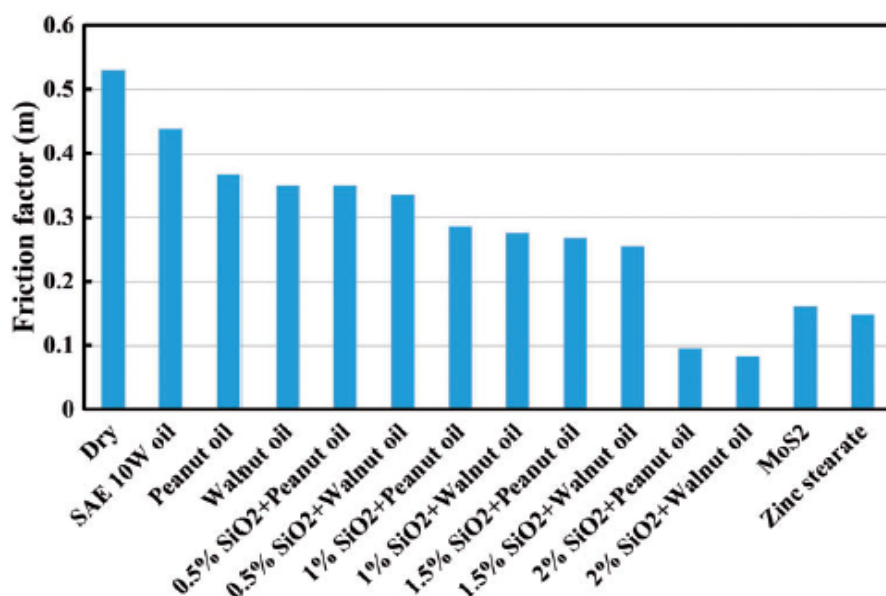


Рис. 4. Коефіцієнти тертя для різних відсотків SiO₂ в мастильних матеріалах на рослинній основі

Оптимальна концентрація наночастинок залежить від деяких факторів, а саме: методу диспергування, тривалості диспергування, наночастинок та умов трибологічних випробувань. На трибологічні властивості також впливають інші параметри, такі як тип базової оливи, шорсткість протилежної поверхні тощо.

Підсумок. Наночастинки як добавки до мінеральних так біомастил показали свою ефективність. Змащувальні матеріали з додаванням наночастинок зменшують тертя та знос, працюють як охолоджуючі рідини та захищають поверхню від корозії. Механізм змащування наночастинок, є складним, оскільки існує велика кількість наночастинок, і кожна наночастинка працює по-різному для різних застосувань. Наведені матеріали можуть бути корисними при проведенні теоретичних і експериментальних досліджень з продовження ресурсу та експлуатації деталей машин і механізмів машинобудівної галузі.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. The delivery of nanoparticles / A. A. Hashim. – InTech: Croatia, 2012. – 552 p.
2. ISO/TR 11360:2010. Nanotechnologies – Methodology for the classification and categorization of nanomaterials.
3. W. Dai, B. Kheireddin, H. Gao, H. Liang, Roles of nanoparticles in oil lubrication, *Tribology International*, vol. 102, pp. 88-98, 2016, doi:10.1016/j.triboint.2016.05.020
4. Zhengchuan Z., Konoplianchenko Ye. V., Tarelnyk V. B., Guanjun L., Xin D., Yao J., & Zhaoyang S. (2022). Industry Application of the Coatings on the Bearing Bush by Electro Spark Alloying Technology. *Scientific Bulletin of Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas*, (1(52)), 15–23. Вилучено з: [https://doi.org/10.31471/1993-9965-2022-1\(52\)-15-23](https://doi.org/10.31471/1993-9965-2022-1(52)-15-23)
5. Korduban O., Kryshchuk T., & Medvedskij M. (2021). A new method for the synthesis of nanomaterials for the needs of nanotechnologies. *Reports of the National Academy of Sciences of Ukraine*, (4), 77–85. Вилучено з: <https://doi.org/10.15407/dopovidi2021.04.077>
6. Триботехнічні матеріали [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://www.tsatu.edu.ua/tsst/wp-content/uploads/sites/6/lekcija-11-trybotehnichni-materialy-z-dyscypliny-trybotehnika-133-hm.pdf>
7. 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.
8. Богач В.М. Підвищення ефективності суднових дизелів шляхом удосконалення лубрикаторних систем / В.М .Богач.- Одеса: НУ «ОМА», 2020. -294с.
9. 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.

Огурцов Д.В., Козьмініх М.А., Шестопалов К.О.
Національний університет «Одеська морська академія»

Особливості застосування живильних насосів у суднових системах утилізації скидної теплоти на основі органічного циклу Ренкіна

Підвищення енергоефективності суднових енергетичних установок є одним із ключових напрямів зменшення витрат палива та скорочення викидів парникових газів у морському транспорті. Значна частина енергії, що надходить із паливом до суднового двигуна, втрачається у вигляді скидної теплоти з вихлопними газами, продувочним повітрям та водою системи охолодження двигуна. Одним із перспективних напрямів утилізації низькопотенційної теплоти на суднах є застосування установок на основі органічного циклу Ренкіна (ОЦР), які здатні ефективно працювати при температурах джерела теплоти 70–120 °С. Зокрема, теплота води охолодження циліндрів двигуна може використовуватися як джерело тепла для ОЦР-установок і забезпечувати додаткове виробництво електроенергії на борту судна. Проте практична реалізація таких систем супроводжується низкою технічних проблем, серед яких важливе місце займають особливості роботи живильних насосів у контурі ОЦР [1].

Робота живильного насоса в ОЦР пов'язана з низкою унікальних технічних проблем, які відрізняють її від роботи насосів у традиційних парових циклах. Ці проблеми зумовлені термодинамічними властивостями органічних рідин (низька температура кипіння, мала в'язкість, стан насичення рідини) і специфічними режимами роботи (мала витрата при високому напорі).

У системах ОРЦ високий коефіцієнт зворотної роботи робить вибір насоса першочерговим проєктним завданням, де фактичний ККД всього насосного агрегату на рівні системи, а не тільки ізентропійний ККД самого насоса, визначає життєздатність установки, особливо в малопотужних додатках і режимах роботи, відмінних від розрахункових.

Вибір типу насоса є фундаментальним проєктним рішенням, яке визначає робочі параметри, можливості управління і загальну архітектуру системи ОЦР. Насоси, що застосовуються в таких установках, класифікуються за принципом дії на дві основні групи. До першої групи належать гідравлічні діафрагмові насоси, які забезпечують високу герметичність, що є критичним для точного дозування. Також розглядаються поршневі насоси, основною перевагою яких є здатність створювати високий тиск у системах зі значним перепадом тиску. Окремо варто відзначити шестеренні насоси. Вони мають високий потенціал саме для мікро-ОЦР систем (1–10 кВт), однак їх ефективність суттєво залежить від величини зазорів, що впливає на механічні втрати. Що стосується динамічних насосів, то для систем середньої та високої потужності найбільш доцільним є використання багатоступінчастих відцентрових насосів, які ефективні при високих витратах. Альтернативою виступають роторно-струменеві насоси (Roto-Jet), що працюють у широкому діапазоні тисків, проте їх недоліком є нижчий ККД. Об'ємні насоси здатні створювати високий тиск при малих витратах, що робить їх потенційно придатними для малогабаритних

ОЦР. Однак їх продуктивність майже лінійно залежить від швидкості обертання. Ця характеристика істотно ускладнює управління при часткових навантаженнях, оскільки зниження швидкості для зменшення витрати переводить електродвигун і частотно-регульований привід в режими з низькою ефективністю, що призводить до різкого зростання частки електричних витрат [2, 3].

Кавітація є однією з найкритичніших проблем для насосів ОЦР, оскільки органічні рідини часто перекачуються при температурах, близьких до точки насичення. Через низькі температури кипіння органічні рідини схильні до закипання у всмоктувальному патрубку або всередині насоса при найменшому падінні тиску. Це вимагає забезпечення значного кавітаційного запасу (NPSH) або переохолодження рідини (subcooling) перед насосом [2, 3]. На відміну від води, кавітація в органічних рідинах (таких як R123, R245fa) супроводжується істотним «термодинамічним ефектом». При утворенні бульбашок пари температура навколишньої рідини знижується, що уповільнює ріст бульбашок. Цей ефект теоретично дозволяє насосам працювати при меншому NPSH, ніж передбачають стандартні формули для холодної води, однак він ускладнює точне прогнозування кавітаційного зриву [2, 3]. Для запобігання кавітації та забезпечення стабільної роботи часто потрібне переохолодження рідини на вході в насос на 5–20 °С і більше, що збільшує вимоги до площі конденсатора або вимагає установки додаткового теплообмінника-переохолоджувача [2-4]. Без належного переохолодження (наприклад, при 1,4 м висоти стовпа рідини) спостерігається різке падіння напору і ККД, а також зростання споживаної потужності [5].

В ОЦР насос споживає значно більшу частку виробленої турбіною потужності в порівнянні з водяними циклами, що робить його ефективність критично важливою. Високе енергоспоживання (Back Work Ratio - BWR) – відношення роботи насоса до роботи турбіни – в ОЦР набагато вище, ніж в парових циклах (де воно становить < 2%) що обумовлено термодинамічними властивостями органічних робочих тіл, зокрема, більш крутою лінією насичення рідини на *T-S* діаграмі в порівнянні з водою. Це призводить до більшого зростання ентальпії при стисненні рідини відносно падіння ентальпії в турбіні [6, 7]. Для органічних рідин, таких як R1234yf або R245fa, теоретичний BWR може досягати 17–19%, а в нерозрахункових режимах або при низькому ККД насоса - до 93%, що робить систему енергетично неефективною [8]. Незважаючи на заявлені виробниками ККД (60–80%), в реальних мікро-ОЦР (1–10 кВт) ефективність насосів часто виявляється вкрай низькою - в діапазоні 7–33%. Це пов'язано з тим, що стандартні насоси погано адаптовані до малих витрат і високих перепадів тиску, характерних для мікро-ОЦР [6, 9].

Низька в'язкість органічних рідин створює серйозні проблеми для механічних вузлів насоса. Органічні рідини (наприклад, R134a) мають набагато меншу в'язкість, ніж вода або мастило. У насосах із самозмащувальними підшипниками (де робоча рідина використовується як мастило) це може призвести до переходу від гідродинамічного режиму мастила до змішаного, викликаючи підвищений знос і тертя. У високошвидкісних відцентрових насосах використання холодоагенту для змащення підшипників збільшує втрати на

тертя дисків (disc friction losses), хоча для малов'язких рідин вони нижчі, ніж для води [10]. У об'ємних насосах (шестерних, поршневих) низька в'язкість призводить до підвищених внутрішніх витоків через зазори, що знижує об'ємний ККД (volumetric efficiency), особливо при високих перепадах тиску [6, 11].

Значна частина енергії втрачається не в гідравлічній частині, а в електро-двигуні і частотному перетворювачі, особливо при роботі на низьких обертах, коли мотор працює з недовантаженням [6].

Насос повинен адаптуватися до змінних умов теплового джерела і навколишнього середовища. Зміни температури навколишнього середовища (зима/літо) суттєво впливають на тиск конденсації. Це змушує насос працювати в нерозрахункових режимах, де його ефективність може різко падати, а споживання енергії зростати (наприклад, BWR може зростати з 0,05 влітку до 0,19 взимку) [9]. Використання поршневих або мембранних (діафрагмових) насосів, популярних в мікро-ОЦР через їх герметичність, призводить до значних пульсацій витрати і тиску (до ± 50 кг/год), що негативно позначається на роботі випарника і турбіни. При високих швидкостях обертання насоса (вище 10 Гц в деяких експериментах) може виникати нестабільність потоку і кавітація, що обмежує робочий діапазон турбіни і знижує загальне виробництво енергії. Для забезпечення необхідного напору при малій витраті часто потрібні дуже високі швидкості обертання (до 31 000 об/хв для відцентрових насосів). Це ускладнює конструкцію підшипників і ущільнень [3, 4].

З огляду на вартість, токсичність або займистість багатьох органічних рідин, витoki в зовнішнє середовище неприпустимі. Це вимагає використання герметичних конструкцій (наприклад, насосів з магнітною муфтою або діафрагменних насосів). Однак діафрагменні насоси, хоч і вирішують проблему витоків, часто мають нижчий ККД та страждають від кавітації у всмоктувальних клапанах [3, 6].

Аналіз показує, що навіть за наявності високих заявлених ККД окремих компонентів, реальний сумарний електричний ККД насосного агрегату в малопотужних ОРЦ часто не перевищує 7–25%, що може повністю нівелювати вироблену турбіною енергію. Вибір типу насоса, забезпечення належного кавітаційного запасу, мінімізація пульсацій і оптимізація роботи електроприводу є критичними факторами для підвищення ефективності системи.

Отже, для забезпечення стабільної та енергоефективної роботи органічного циклу Ренкіна необхідний комплексний підхід до проєктування і вибору живильного насоса, що включає врахування термодинамічних властивостей робочого тіла, умов експлуатації та режимів роботи. Саме оптимізація насосного вузла виступає одним з основних напрямів підвищення продуктивності та економічної доцільності органічного циклу Ренкіна.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Larsen U., Haglund F., Elmegaard B. Development, experimental testing and techno-economic assessment of a fully automated marine organic Rankine cycle

prototype for jacket cooling water heat recovery // *Energy*. 2021. Vol. 228. 120596. DOI: 10.1016/j.energy.2021.120596.

2. Li W., Yu Z. Cavitation models with thermodynamic effect for organic fluid cavitating flows in organic Rankine cycle systems: A review // *Thermal Science and Engineering Progress*. 2021. Vol. 26. Art. 101079. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tsep.2021.101079>.

3. Li W., Mckeown A., Yu Z. Correction of cavitation with thermodynamic effect for a diaphragm pump in organic Rankine cycle systems // *Energy Reports*. 2020. Vol. 6. P. 2956–2972. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.egy.2020.10.013>.

4. Yang X. et al. Operation of an organic Rankine cycle dependent on pumping flow rates and expander torques // *Energy*. 2015. Vol. 90, Part 1. P. 864–878. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2015.07.121>.

5. Leontaritis A.; Pallis P.; Karellas S.; Papastergiou A.; Antoniou N.; Vourliotis P.; Kakalis N.; Dimopoulos G. Experimental study on a low temperature ORC unit for onboard waste heat recovery from marine diesel engines. In *Proceedings of the 3rd International Seminar on ORC Power Systems, Brussels, Belgium, 2015*. Paper ID 55.

6. Zeleny Z., Vodicka V., Novotny V., Mascuch J. Gear pump for low power output ORC – an efficiency analysis // *Energy Procedia*. 2017. Vol. 129. P. 1002–1009. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.09.227>.

7. Yang Y. et al. Experimental study and performance analysis of a hydraulic diaphragm metering pump used in organic Rankine cycle system // *Applied Thermal Engineering*. 2018. Vol. 132. P. 605–612. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2018.01.001>.

8. Borsukiewicz-Gozdur A. Pumping work in the organic Rankine cycle // *Applied Thermal Engineering*. 2013. Vol. 51, Issue 1–2. P. 781–786. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2012.10.033>.

9. Wang H.-X., Lei B., Wu Y.-T. Control strategies of pumps in organic Rankine cycle under variable condensing conditions // *Applied Thermal Engineering*. 2023. Vol. 234. Art. 121226. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2023.121226>.

12. Michael P. W., Khalid H., Wanke T. An Investigation of External Gear Pump Efficiency and Stribeck Values // *SAE Technical Paper*. 2012. No. 2012-01-2041. DOI: <https://doi.org/10.4271/2012-01-2041>.

11. Zhang Z., Yang S., Zhang B., Fang X. Experimental study on hydraulic performance and cavitation characteristics of a R134a refrigerant self-lubricating centrifugal pump // *International Journal of Refrigeration*. 2025. Vol. 169. P. 204–213. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2024.10.027>.

Improving the efficiency of hardening the working surfaces of ship technical equipment (STE) parts restored by surfacing.

Introduction

Friction and wear of parts are largely determined by the shape and height of the roughness, as well as the direction of the machining strokes.

Fine and numerous irregularities provide greater wear resistance than irregularities of the same height but with a large pitch.

With liquid friction and small roughness heights, the direction of the machining marks is irrelevant. However, as roughness increases, it is more advantageous for the direction of the marks on the machined surface to coincide with the movement of the part.

The height of the irregularities and the direction of the machining strokes on the machined surface influence the coefficient of sliding friction. The lowest coefficient of friction is observed when the strokes are perpendicular to the rubbing surfaces or when they are randomly arranged, as occurs after superfinishing.

Annotation

The feasibility of restoring worn marine technical equipment (MTE) parts by surfacing with low-carbon materials followed by hardening is demonstrated. Methods for carburizing the surface layer, which increase hardening efficiency, are presented.

Surfacing is one of the most common methods for restoring worn marine technical equipment (MTE) parts. This method can produce a surface layer (or layers) with special properties (wear resistance, antifriction, etc.). Most surfacing work is performed using an electric arc.

It is especially important to achieve uniformity of the deposited metal during surfacing, and therefore its properties, across the entire surface of the welded part.

The purpose of this study is:

in the study of the patterns of hardening processes of working surfaces of ship technical equipment parts restored by surfacing.

Presentation of research material

The physical and mechanical properties of the deposited layer largely depend on its carbon content. However, surfacing with materials such as Np-30, Np-35, Np-40, Np-50, Np-65, Np-65G, and Np-65KhGSA, which contain 0.30% or more carbon, increases the hardness of the deposited layer and requires the use of special techno-

logical techniques (preheating before deposition followed by slow cooling, etc.). Otherwise, cracks and other defects may appear.

However, implementing these technological techniques to produce a high-quality weld when surfacing with carbon surfacing materials is not always possible or economically feasible. Therefore, to produce high-quality, defect-free deposited surface layers, low-carbon surfacing materials such as Sv 08, which are supplied as wire or strip, are recommended. These materials are readily available and inexpensive. However, surfaces deposited with these materials often lack the required physical and mechanical properties. Various hardening methods are used to address this shortcoming.

The most widely used hardening method, plastic deformation, can increase surface microhardness by up to 1.5 times.

In our opinion, the most effective is surface friction hardening (SFH), which can increase the microhardness of the surface layer by two or more times compared to the base layer. The thickness and microhardness of the hardened zone depend on its carbon content [1].

Experiments have shown [2] that friction hardening is advisable for parts whose worn surfaces have been restored by surfacing with low-carbon surfacing materials with a carbon content in the surface layer of at least 0.23%.

During the restoration of worn parts by electric arc surfacing, the base metal and electrode are mixed. Moreover, depending on the surfacing modes, the proportion of the base metal in single-layer surfacing can reach 65%. To determine the carbon content in the deposited layer, it is recommended to use the following formula:

$$C_{ac.} = \frac{C_{om} - C_{el.}}{1 + \frac{\alpha_d}{U_o} K} + C_{el.} \geq 0,23\%,$$

where C_{ac} , C_{om} , C_{el} are the amount of carbon in the deposited layer, base metal and electrode metal, respectively, in %; α_d is the deposition coefficient, g/(A h); U_o is the welding arc voltage, V; K is a constant coefficient for a given deposition method, taking into account the arc efficiency, deposition method, density and type of deposited material. When depositing carbon and low-carbon steels in a CO₂ environment, this coefficient is equal to

$$K = 1,44 \eta_u,$$

where η_u is the effective arc efficiency.

To prevent overheating of parts, surfacing should be performed in two passes, with the beads overlapping by no more than 1/2 and no less than 1/3 of the bead width.

The thickness of the hardened layer after pulverized arc welding with a carbon content of 0.23% reaches 120...150 mcm.

In many cases, the depth of the hardened layer should be greater than 150 mcm. For this purpose, other methods for increasing the surface layer are recommended, including the use of quenching, ultrasonic treatment, and other methods alongside

pulverized arc welding, which simultaneously increase the carbon content in the surface layer.

The most common method for increasing the carbon content in the surface layer is carburizing, which is performed in either solid or gaseous media.

Solid-medium carburizing involves placing the part in a carburizing box and filling it with a carburizer consisting of 50-60% activated carbon with additives and activators. When heated in a furnace to 900-950°C, the charcoal reacts with atmospheric oxygen, forming carbon monoxide CO, which dissociates at the surface of the part by the reaction



The released atomic carbon diffuses deep into the metal. A case-hardening layer 1 mm thick can be achieved in 9.5–10.5 hours, with a carbon content of 0.8–1.0% in the surface layer.

Gas case-hardening involves heating steel parts in furnaces to 900–950°C in a carbon-containing atmosphere, which can be methane:



Gas carburizing reduces the carbon saturation time somewhat, as there is no need to heat the carburizing box and the process can be mechanized.

Nitrocarburizing (gas cyaniding) involves simultaneously saturating the surface of parts with carbon and nitrogen at temperatures of 840–860°C in a gas mixture of carburizing gas and ammonia. The process lasts from 1 to 10 hours for a layer thickness of 0.1–1.0 mm.

One method for intensively saturating the surface of parts with carbon is carburizing steel welded parts in a polystyrene-toluene solution. In this case, a carburized layer 1 mm thick can be obtained in a few minutes [3]. This efficiency in saturating the surface layer with carbon is explained by the following. At the carburizing temperature range, polymer molecules cannot withstand the heat and decompose, creating an increased concentration of active carbon-containing compounds with a high concentration of free radicals—highly aggressive compounds—on the metal surface. These radicals, by actively interacting with the metal surface, release carbon atoms, saturating the surface with carbon. Cyanidation can also be performed using a polymer solution.

Another method for intensifying the saturation process is heating the metal in aqueous electrolytes [4]. Its essence lies in the fact that the part and the body of the bath with electrolyte are connected to a direct current source. The electrolyte contains a saturating component: compounds of carbon, nitrogen, sulfur, etc. At voltages of 100–200 V and a current of tens of amperes per square centimeter, dissociation of the electrolyte occurs, which boils on the surface of the part and is separated from it by a continuous steam jacket. Conduction through this jacket is achieved by electrical discharges, heating the part to a temperature above the Ac3 point. Electrical discharges lead to the release of the saturating component in the shell around the part, its absorption on the surface of the part and diffusion into the metal. After holding under voltage for 1.5 minutes, the electric current is turned off, which leads to

hardening of the part directly in the electrolyte. The component can serve as either a cathode or an anode.

The method of impregnating steel welded components with carbon and other elements by heating the metal in appropriate aqueous electrolytes significantly increases the saturation rate. However, compared to the method discussed above, this method requires further research into the selection of processing modes, electrolyte compositions, the design of the welding unit itself, and other factors.

A method of impregnating steel components with carbon in an electric arc burning between two graphite electrodes is also noteworthy. Heating the component with an electric arc, the atmosphere of which is saturated with atomic carbon, causes its diffusion into the surface layer of the component (the component is not connected to the electrical circuit). This method is simple and readily available for marine applications (a welding transformer and a special torch for graphite elements are sufficient).

Another method for carburizing the surface layer of a low-carbon component is to treat it with a reverse-polarity carbon arc. In this case, the carbon rod acts as the anode, and the base metal acts as the cathode. With reverse polarity, the molten metal (steel) exhibits exceptional fluidity and mobility, producing a smooth weld surface. The molten metal is intensively carburized, with a carbon content reaching 0.6–1.0%. As a result of enhanced evaporation of the electrode material, the atmosphere of the reverse-polarity arc is greatly enriched with carbon vapor, which dissolves in the metal. This method can be used in production settings as a simple and convenient way to form a carburized metal layer on the surface of a component.

An analysis of the considered methods for carburizing the surface layer shows that each may be most effective only under specific conditions and methods for restoring and strengthening the working surfaces of STS components. Therefore, to determine the limits of effectiveness of these methods or the values of their potentials, it is necessary to complete the following steps.

1. Determine the qualitative and quantitative indicators of each carburizing method in accordance with RD 31.55.03.06-85 [5].
2. Determine the numerical values of the indicators using the corresponding graphical or analytical dependencies of RD 31.55.03.06-85.
3. Convert the indicator values into dimensionless numbers and determine the potentials of the methods and directions for maximizing individual indicators, using the dependence [6]:

$$D_{welj} = \sqrt[n]{\prod_{i=1}^n d_{welji}^{\lambda_i}},$$

where D_{welj} and d_{welji} are dimensionless numbers (potentials) estimated by the j -th method for all indicators, taking into account their weights, respectively and the i -th indicator of the j -th restoration method; n is the number of all indicators whose values in it do not differ by more than 10% or are related by common features; λ_i - is a scaling coefficient taking into account the weight of the i -th indicator.

Figure 1 shows the curves for the change in the friction coefficient:

depending on the total roughness of the rubbing surfaces, which reflect the phenomenon of frictional seizure between low-roughness surfaces, as well as mechani-

cal engagement and shearing of rough surfaces. As we can see, a surface with lower roughness does not always have a lower friction coefficient than a more roughly finished surface. At low roughness, contact between two solids leads to molecular adhesion of the surfaces and an increase in the coefficient of friction, and therefore wear. Increased roughness can lead to a breakdown of the oil film, even under relatively light loads, and a transition to dry friction, accompanied by intense wear.

Strain hardening (work hardening) increases the hardness of the surface layer, resulting in reduced interpenetration and deformation of microprotrusions on the rubbing surfaces.

Work hardening prevents the development of plastic deformations in the surface layer of rubbing parts, which can lead to cold welding (adhesion or seizure), leading to the most intense wear.

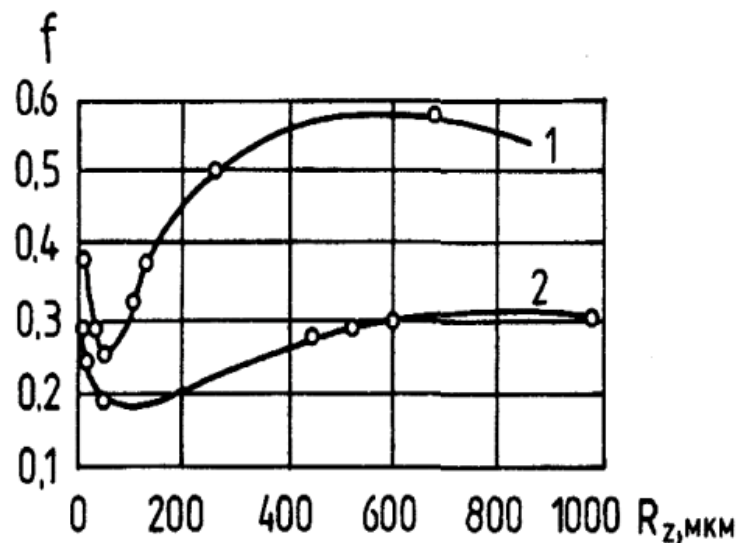


Fig. 1. Dependence of the friction coefficient f on the total roughness R_z of the rubbing bodies: 1 - cast iron on steel; 2 - bronze on steel.

Experience in operating machinery and mechanisms shows that the durability and reliability of STE depends primarily on the quality of the thinnest layers of the components' working surfaces, where fatigue and corrosion wear and failure processes originate and develop.

The solution of this problem lies in the further implementation of technological processes for the restoration and strengthening of WMS components. One of the most effective methods for restoring STE components is electric arc surfacing (EAS) in a protective gas environment (PG).

EAS in a carbon dioxide (CO_2) environment is considered simpler and more convenient to manufacture. The main advantages of this method include its simplicity, cost-effectiveness, the ability to deposit a thin metal layer, low heat input into the base metal, and the high performance of the component being restored. Disadvantages include the low electrical conductivity of CO_2 , which causes arc instability and intense metal spatter, amounting to 10% to 12%. This significantly reduces the cost-effectiveness of STE.

Therefore, gas mixtures are increasingly being used for EAS in a PG environment. Certain gas combinations in gas mixtures significantly improve operational

and economic performance during the restoration of welding components: reduced metal spatter, improved weld formation quality, etc.

The main components of the system are: a 1M61 screw-cutting lathe, a VSZh-303 arc power source, and a surfacing head. The surfacing mode, i.e., the set of controlled parameters that ensure a high-quality layer, includes: surfacing speed, longitudinal head feed, wire feed speed, welding current, and carbon dioxide supply. Each of these parameters is controlled by a corresponding unit.

The 1M61 screw-cutting lathe is the core of the entire system. The spindle speed is significantly reduced by installing a worm gear between the main electric motor and the driven pulley. The longitudinal feed of the welding head, mounted on the machine support, is provided by rotating the lead screw and is set using a set of corresponding control handles on the machine's gearbox.

The welding head is designed to continuously feed the welding wire into the welding zone, while shielding gas is supplied through a flexible tube.

The CO₂ flow rate can be varied by rotating the needle of the adjustable rotameter on the welding head's control panel and monitoring the position of the float in the glass tube.

The wire feed speed is adjusted by switching the control handles on the welding head's gearbox housing in accordance with the data plate attached to it. The welding rectifier ensures a stable arc thanks to its precise volt-ampere characteristic. The deposition current is set by turning the knob on the welding rectifier and is regulated by the ammeter reading.

Conclusions and Recommendations

Thus, to improve the effectiveness of hardening the working surfaces of welding components restored by surfacing, for specific production conditions, the following is necessary:

1. Worn welding components should be restored by surfacing with low-carbon materials, ensuring a defect-free deposited layer;
2. To improve the physical and mechanical properties of the deposited layer, harden it, taking into account that these properties depend on its carbon content;
3. The carbon content obtained by mixing the deposited layer with the base metal should be determined using the proposed formula. When hardening by friction, it should be at least 0.23%.
4. To further improve the effectiveness of hardening surfaces deposited with low-carbon materials, additionally carburize them using one of the methods discussed.
5. To select the optimal method of carburization and thereby obtain the greatest strengthening efficiency, carry out the specified measures with the determination of the potential of these methods and the directions for their maximization.

REFERENCES

1. Барлоу Р., Прошан Ф. Статистична теорія надійності та випробування надійності. – К.: Наукова думка, 2021.-328 с.
2. Mozhayev A. S. General logical-probabilistic method of analyzing the reliability of complex systems. Uch. Selishcha 2024.-68 p.
3. Рябінін І. А. Надійність та безпека структурно складних систем. – К.: Наукова думка, 2022, 278 с.
4. Fleischer G. Energetische methode der Bestimmung des Verschleihes // Schmier-
ungstechnik. - 2023. - В. 4. - Р.9-12.
5. Дроздов Ю. Н., Юдін Є. Г., Белов А. І. Прикладна трибологія (тертя, знос,
мастило) / під. ред. Ю. Н. Дроздова. – Рівне, Лібра, 2017. – 604 с.
6. Пружанський Л. Ю. Стиральна здатність обробленої поверхні. – Львів.:
ВМА, 2024. – 640 с.

ДВИГУНИ ТА ЕНЕРГЕТИЧНІ УСТАНОВКИ

УДК 629.426

Аболешкін С.Є., Кардашев Д.Л.

Національний університет «Одеська морська академія»

Порівняння амплітуд гармонік збурювальних моментів суднових дизелів при використанні спрощених теоретичних та дійсних індикаторних діаграм

Згідно високим вимогам Регістрових суспільств (наприклад [1,2]) для суден які знаходяться в експлуатації необхідно періодично проводити оцінку ризику виникнення резонансних крутильних коливань валопроводу.

При виконанні аналізу пропульсивного комплексу судна на крутильні коливання одним з найбільш трудомістких завдань є розрахунок резонансної амплітуди крутильних коливань. Цей розрахунок складається з визначення власних частот коливальної системи та амплітуд збурювальних та демпфіруючих моментів. У зв'язку з тим, що у світовому судновому дизелебудуванні постійно йде зростання циліндрових потужностей і параметрів робочого процесу дизелів, завдання підвищення точності розрахунку гармонійних моментів суднових ДВС, що збурюють, є актуальною. При зміні циліндрової потужності у вигляді середнього індикаторного тиску пропорційно максимальному тиску згоряння величина гармонійного збурення з прийнятною точністю визначається за відповідними формулами і номограмами. У сучасних суднових високофорсованих дизелях, середній ефективний тиск яких має величину 1,7 МПа і більше, часто використовуються системи обмеження максимального тиску згоряння [3-5, 9]. Це пов'язано з необхідністю підтримувати допустимий рівень механічних напружень в циліндропоршневої групі зі зростанням тисків в циліндрах. Також має значення максимальна температура циклу, коли утворюються сполуки NOx. Системи обмеження максимального тиску мають різний принцип дії. Найчастіше застосовуються методи [3-9] упорскування палива із запізненням та парціального впорскування палива.

У деяких випадках на двигунах з електронним керуванням використовується зміна фактичного ступеня стиснення. Це здійснюється шляхом зміни часу закриття випускного клапана [9].

Величина гармонійних моментів, що збурюють, в двигунах з такими системами відрізняється від тієї, яку можна визначити за допомогою гармонійних коефіцієнтів, представлених у роботах [6,8]. З метою підвищення точності розрахунку резонансних амплітуд крутильних коливань систем з такими двигунами доцільно одержати відповідні гармонічні коефіцієнти. Для розрахунку цих коефіцієнтів необхідно визначити величину моментів, що збурюють, від сил тиску газів. Так як на практиці отримати індикаторні діаграми для таких двигунів не завжди можливо, для оцінки величини їх моментів, що збурюють, в теорії можна застосовувати спрощені індикаторні діаграми. Спрощена індикаторна діаграма відображає лише основні параметри циклу, але не враховує реальну кривизну індикаторної діаграми в момент упорскування та згоряння

палива. У зв'язку з цим виникає проблема точності розрахунку таким методом гармонійних моментів, що збурюють.

Метою роботи є оцінка допустимості застосування спрощених індикаторних діаграм визначення гармонійних складових збурювальних моментів коливальної системи сучасних судових дизелів.

Дійсна індикаторна діаграма є фактичною залежність тиску в циліндрі від об'єму циліндра або від кута ПКВ (у розгорнутому вигляді). На ній відбито всі тонкощі робочого процесу дизельного двигуна. Спрощена теоретична індикаторна діаграма відображає лише основні показники робочого процесу: тиск початку стиснення, тиск кінця стиснення, максимальний тиск згоряння, ступінь попереднього розширення, тиск кінця розширення. При виконанні теплових розрахунків цього цілком достатньо, щоб оцінити потужність і коефіцієнт корисної дії циклу. При виконанні динамічних розрахунків двигуна і розкладанні цих функцій гармонійний ряд може з'явитися значне розходження через відмінності у формі кривих. В роботах з гармонійного аналізу індикаторних діаграм найбільш значущими називаються гармоніки 1-6 порядків (для двотактного дизеля) [6,8]. Однак дослідження крутильних коливань судових головних пропульсивних установок показує, що навіть малі значення збурювальних моментів високих порядків можуть викликати небезпечні крутильні коливання колінчастих валів за моторними формами, особливо в двигунах без демпферів [1,2,8]. Приклад дійсної та спрощеної індикаторних діаграм малообертового двотактного дизеля на номінальній потужності представлені на рис. 1.

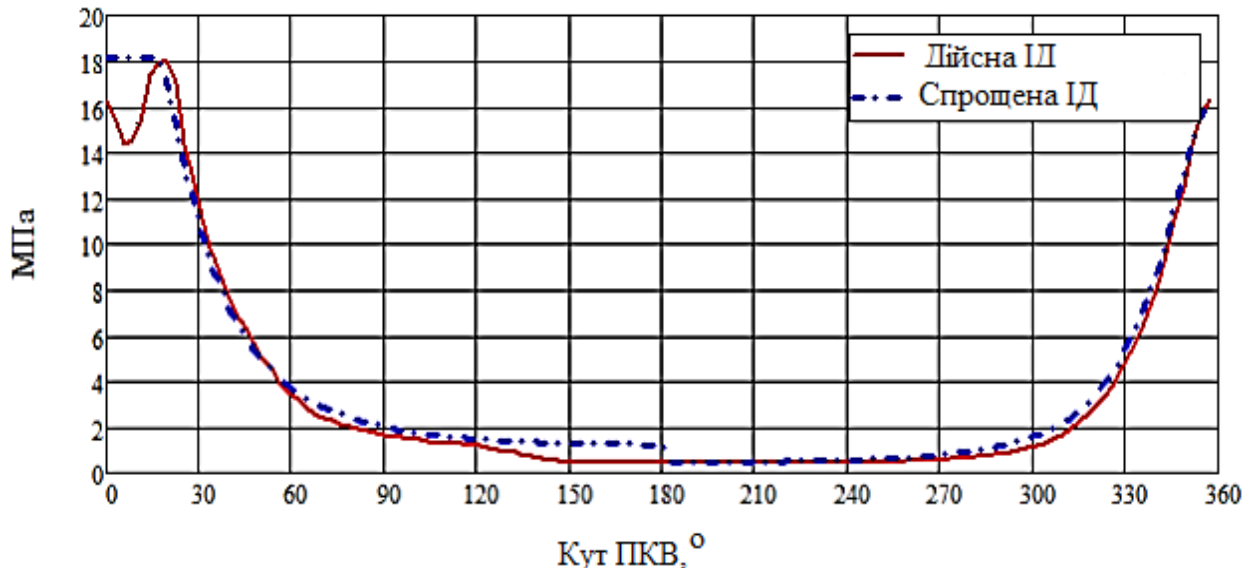


Рис. 1. Дійсна та спрощена індикаторні діаграми малообертового двотактного дизеля по куту ПКВ

При побудові використовувалися відомі дані про потужність дизеля, тиск наддуву, ступеня стиснення, максимальний тиск згоряння. Дійсна індикаторна діаграма була отримана в процесі ходових випробувань судна, на якому встановлено цей двигун. Досліджуваний двигун оснащений електронним блоком управління, і індикаторна діаграма була отримана з програмного забезпечення пульта управління головним двигуном.

Побудова діаграми крутного моменту виконано за відомими формулами динамічних розрахунків кривошипно-шатунних механізмів (рис. 2) [8-12].

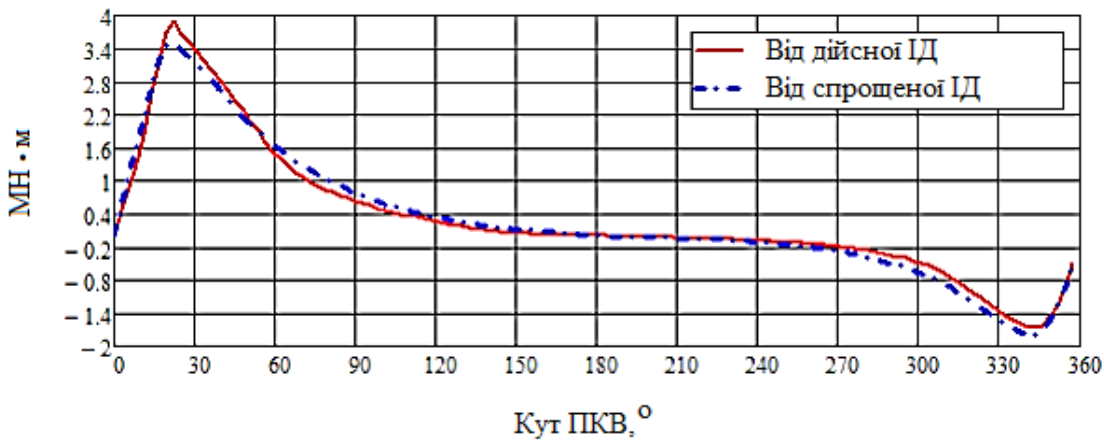


Рис. 2. Діаграми крутного моменту від сил тиску газів малообертового двотактного дизеля по куту ПКВ

Індикаторні діаграми було отримано у вигляді таблиць. Діаграми крутного моменту від сил тиску газів також отримані в табличній формі. Гармонічний аналіз діаграми моменту, що крутить, виконаний за допомогою швидкого перетворення Фур'є в системі MathCad XV. Отримані амплітуди гармонійних складових показано на рис. 3.

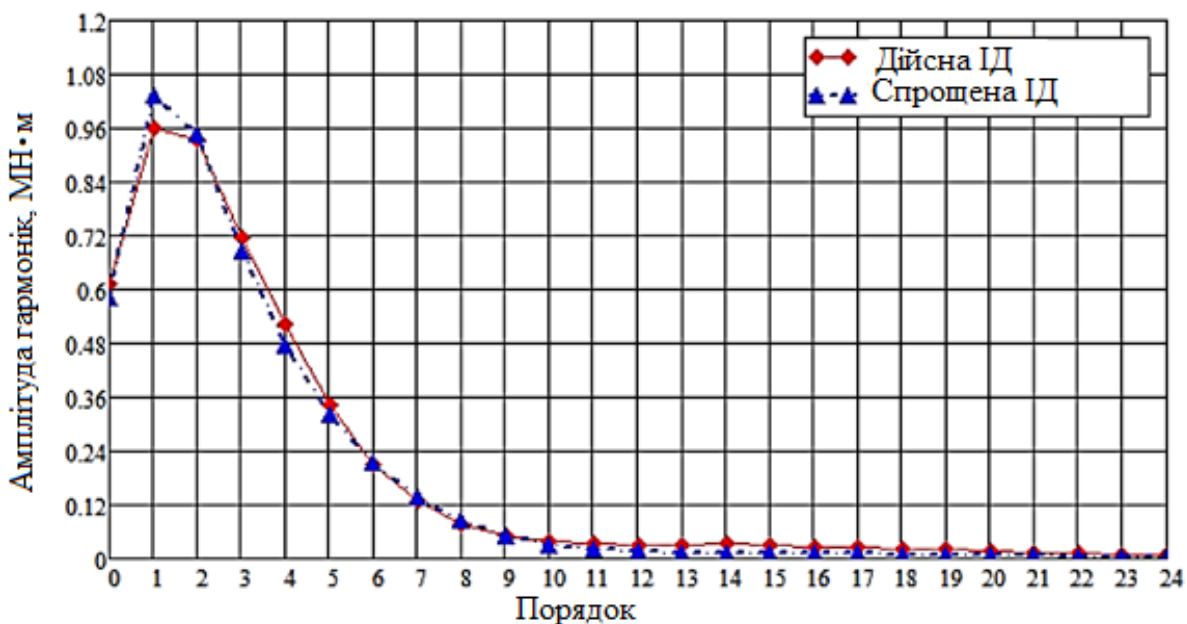


Рис. 3. Амплітуди гармонік крутного моменту

З рис. 3 слід, що амплітуди порядкових гармонік, отриманих із застосуванням дійсної індикаторної діаграми, не зменшуються зі збільшенням порядку, як це відбувається у випадку з дизелями, що мають класичні кути впорскування палива (саме це відображає спрощена теоретична індикаторна діаграма). Натомість амплітуда порядкових гармонік зростає з 12-го по 14-й порядок, після чого знижується. Враховуючи це, доцільно розглядати резонанси до 24-го порядку, коли в досліджуваній системі є двигун, що забезпечує підтримку максимального тиску згоряння шляхом зміни кутів упорскування палива.

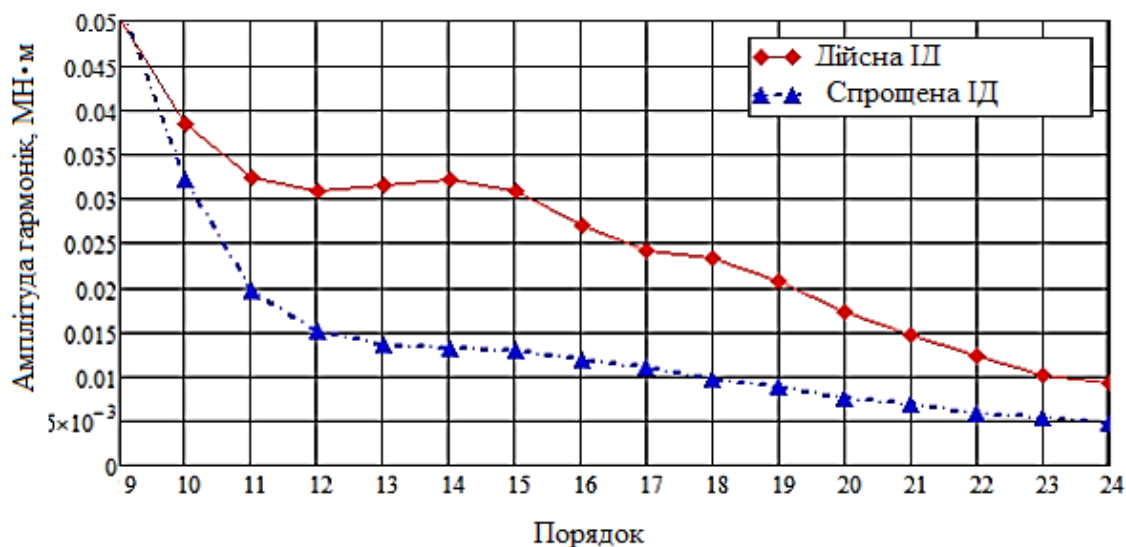


Рис.4. Амплітуди гармонік порядків 10-24

Як впливає з рис. 3, помітна різниця в амплітудах гармонік спостерігається для 1-5 порядків, а також для 10-20 порядків (збільшено для наочності на рис.4).

З погляду оцінки точності розрахунків резонансних амплітуд крутильних коливань найбільший інтерес представляє відношення між амплітудами гармонік. Для оцінки відносної величини амплітуд можна представити результати гармонійного аналізу за допомогою відносного параметра λ_i (рис. 5):

$$\lambda_i = \frac{a_i^D}{a_i^{СП}}$$

де - a_i^D амплітуда гармоніки і-го порядку діаграми крутного моменту від сил тиску газів, побудованої з використанням дійсної індикаторної діаграми;
 - $a_i^{СП}$ Амплітуда гармоніки і-го порядку діаграми крутного моменту від сил тиску газів, побудованої з використанням спрощеної теоретичної індикаторної діаграми.

Оцінка допустимості застосування спрощених індикаторних діаграм для визначення гармонійних моментів, що збуджують коливальну систему сучасних суднових дизелів, показала наступне:

- У багатьох сучасних суднових дизелях існує фактор, що знижує точність розрахунку моментів, що збуджують, з використанням спрощених індикаторних діаграм. Він полягає в тому, що дизелі можуть оснащуватися системами підтримки максимального тиску згоряння, щоб уникнути його перевищення. Це призводить до ускладнення форми кривої дійсної індикаторної діаграми двигуна.

- Для дизелів, оснащених такими системами, точність розрахунку гармонійних моментів, що збуджують, з використанням спрощених індикаторних діаграм є незадовільною.

- Фактична величина гармонік вищого порядку може перевищувати розрахункову, отриману при використанні спрощеної індикаторної діаграми,

більш ніж 2 рази. Таку розбіжність треба враховувати під час проведення розрахунків резонансних амплітуд крутильних коливань.

- Доцільно при аналізі на крутильні коливання пропульсивних установок, до складу яких входять дизелі, що мають системи обмеження максимального тиску, слід враховувати резонанси до 24-го порядку, а не до 12-го, як вимагають Правила Регістру.

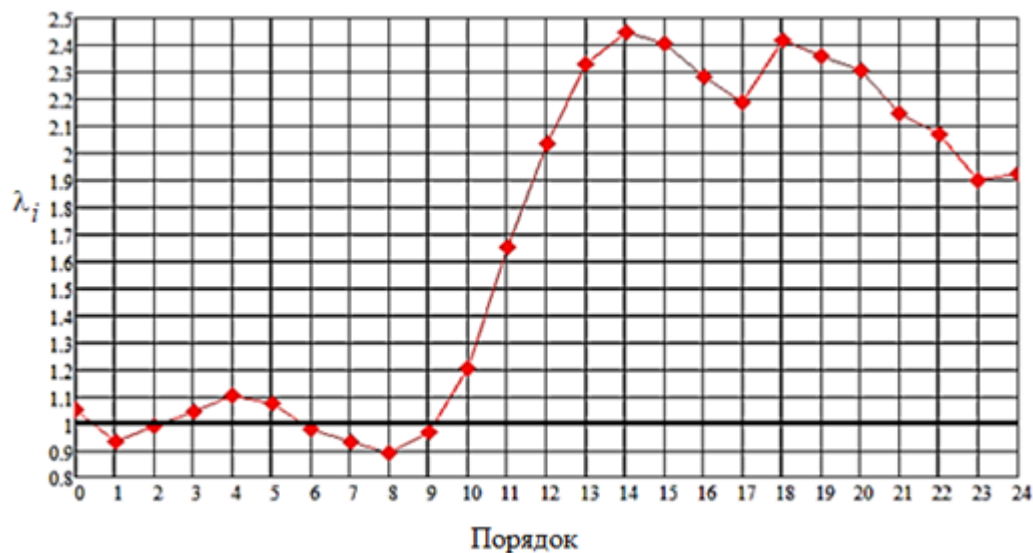


Рис.5. Величина параметра λ_i

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. International standard ISO 3046-5: Reciprocating internal combustion engines- Performance- Part 5: Torsional vibrations.-2001. - p.1-10.
2. Lloyd's Register (2022, July). Rules and Regulations for the Classification of ships (Part 5: Main And Auxiliary Machinery - Chapter 8: Shaft Vibration And Alignment), Lloyd's Register, UK.
3. K. Bala showry and A.V. Sita Rama Raju, "Simulation of Injection Angles on Combustion Performance Using Multiple Injection Strategy in HSDI Diesel Engine by CFD," Int. J. Engineering and Technology, vol. 2, no. 4, pp. 234-239, 2010.
4. Van Si Hoang, Van Vang Le Simulating the Torsional Vibration Signal of Two-Stroke Marine Diesel Engine with Normal Firing and Mis-Firing// *Naše more*, 2022., Vol. 6, №. 3, pp. 143-148 DOI 10.17818/NM/2022/3.4.
5. Lin, Terry, Tan, Andy, Howard, Ian, Pan, Jie, Crosby, Peter, & Mathew, Joseph Development of a diagnostic tool for condition monitoring of rotating machinery// In Hardwick, J (Ed.) Proceedings of the 15th Annual ICOMS Asset Management Conference 2011: Deliver Business Improvement through Asset Management. Asset Management Council Limited, Australia, P. 1-9.
6. Xiaowei Xu, Zhenxing Liu, Jiangdong Wu, Jiaming Xing and Xiaoqing Wang Misfire fault diagnosis of range extender based on harmonic analysis // *International Journal of Automotive Technology*, 2019.-Vol. 20, №. 1, P. 99-108. DOI 10.1007/s12239-019-0009-8.

7. Drowing S., Abramczyk N., Żuk D. Analysis of changes in the angular velocity of the crankshaft of the marine engine for diagnosing the wear and location the failure of the fuel injection system //Mechanics and Mechanical Engineering, 2021.- Vol. 25, №1, P.72-76. <https://doi.org/10.2478/mme-2021-0010/>.
8. Xiaowei Xu, Zhenxing Liu, Jiangdong Wu, Jiaming Xing and Xiaoqing Wang Misfire fault diagnosis of range extender based on harmonic analysis // International Journal of Automotive Technology, 2019.-Vol. 20, №. 1, P. 99–108. DOI 10.1007/s12239-019-0009-8.
9. Malcolm L. Pounder's marine diesel engines and gas turbines. 10th edition. Oxford.: Elsevier publisher house, 2021. 957 p.
10. W. Schiffer Advanced methods for static and dynamic shafting calculations/Brodogradnja,2007,v.58, №2, P. 158-164.
11. S. Citron, J. O'Higgins, and L. Chen. Cylinder by cylinder engine pressure torque waveform determination utilizing crankshaft speed fluctuation. SAE paper No. 890486, 1989.
12. Luu, D. D., Hanh, C. D. (2020). Automatic calculation of torsional vibrations on marine propulsion plant using marine two-stroke diesel engine: Algorithms and Software. Journal of The Institution of Engineers (India): Series C, 102 (1), 51-58. <https://doi.org/10.1007/s40032-020-00626-y>.

Будашко В.В., Чуйко Я.І.

Національний Університет «Одеська Морська Академія»

Підвищення енергоефективності суден за рахунок впровадження розподільних мереж постійного струму та гібридних технологій

Анотація: У статті представлено комплексний аналіз еволюції суднових електроенергетичних систем, з акцентом на переході від традиційних схем змінного струму до сучасної концепції Onboard DC Grid. Основна увага приділяється вирішенню проблеми низької енергоефективності дизель-генераторів при фіксованій частоті обертання, що характерно для класичних АС-мереж. Обґрунтовано, що впровадження єдиної магістральної шини постійного струму дозволяє реалізувати гібридний підхід, інтегруючи джерела та споживачів через силову електроніку, що дає змогу відв'язати швидкість генераторів від частоти мережі та оптимізувати витрату палива в широкому діапазоні навантажень. У роботі розглянуто архітектуру системи, методи живлення споживачів та переваги безпосередньої інтеграції гібридних накопичувачів енергії (HESS) для згладжування піків і забезпечення резерву потужності.

Ключові слова: бортова мережа постійного струму, Onboard DC Grid, генератори змінної частоти обертання, гібридні системи накопичення енергії (HESS), оптимізація витрати палива

Budashko V. V., Dr. of Science, Professor

<https://orcid.org/0000-0003-4873-5236>

Chuiko Y.I., Master student

<https://orcid.org/0009-0004-5696-4981>

National University "Odessa Maritime Academy"

ENHANCING SHIP ENERGY EFFICIENCY THROUGH THE IMPLEMENTATION OF DC DISTRIBUTION GRIDS AND HYBRID TECHNOLOGIES

Abstract: The article presents a comprehensive analysis of the evolution of shipboard power systems, with an emphasis on the transition from traditional AC schemes to the modern Onboard DC Grid concept. The main focus is on addressing the issue of low energy efficiency in diesel generators operating at fixed rotational speeds, which is characteristic of classic AC networks. It is substantiated that the implementation of a common main DC bus enables a hybrid approach, integrating sources and consumers via power electronics, thereby allowing the decoupling of generator speed from grid frequency and optimizing fuel consumption across a wide load range. The paper examines the system architecture, consumer power supply methods, and the benefits of directly integrating Hybrid Energy Storage Systems (HESS) for peak shaving and providing power reserve.

Keywords: shipboard DC network, Onboard DC Grid, variable speed generators, Hybrid Energy Storage Systems (HESS), fuel consumption optimization.

Наприкінці ХІХ століття, коли судна уперше почали електрифікуватися (насамперед для освітлення), комерційно доступною та надійною була лише система постійного струму, розроблена Томасом Едісоном. Основними споживачами були лампи розжарювання та малопотужні електродвигуни. Також вважалося, що при низькій напрузі DC є безпечнішим і простішим в управлінні.

Перехід до трифазного змінного струму (AC) розпочався в середині ХХ століття в міру зростання вимог до потужності та ефективності. Постійний струм не може легко та ефективно змінювати свою напругу. Для передачі великої потужності на великі відстані при малій напрузі потрібен високий струм. Високий струм призводить до великих втрат енергії в кабелях і вимагає використання дуже товстих і важких мідних кабелів. Змінний струм дозволяє практично без втрат трансформувати напругу за допомогою трансформаторів. Генератори змінного струму (синхронні генератори) також виявилися простішими та ефективнішими для вироблення великих потужностей порівняно з їхніми DC-аналогами. Вони не мають колектора, що спрощує конструкцію, знижує складність охолодження та підвищує загальну надійність. Супутньою причиною продовжувати використовувати змінний струм було масове використання трифазного асинхронного двигуна, який не має щіток і колектора, що є основними джерелами зношування, іскріння та необхідності обслуговування. AC-двигуни надзвичайно прості, компактні, надійні та можуть працювати десятиліттями з мінімальним обслуговуванням.

Тенденції до зниження викидів та ефективного управління ресурсами спонукають інженерів до пошуку нових методів генерації, розподілу та використання енергії. Головний недолік класичних AC-систем — необхідність підтримання фіксованої частоти в мережі. Це змушує дизель-генератори (ДГ) працювати з постійною швидкістю обертання, незалежно від реального навантаження. У режимах малих навантажень, таких як динамічне позиціонування (DP) або маневрування в порту, ДГ працюють у зоні вкрай низького ККД, що призводить до перевитрати палива та підвищених викидів.

Проект під назвою «Onboard DC Grid» від компанії АББ пропонує використовувати комбінацію струму DC та AC. Концепція пропонує залишити традиційні джерела вироблення енергії, але зробити їх більш економічними шляхом застосування струму DC у ланцюгу розподілу. Система є логічним розширенням ланок постійного струму (DC-links), які й так уже існують у перетворювачах частоти (VFD) на будь-якому сучасному судні з електроприводом. Фактично, ці DC-ланки, які зазвичай живлять понад 80% потужних споживачів, об'єднуються в єдину головну шину DC.

У системі Onboard DC Grid реалізована зонна концепція розподілу енергії, де центральним елементом виступає магістральна шина постійного струму (рис. 1).

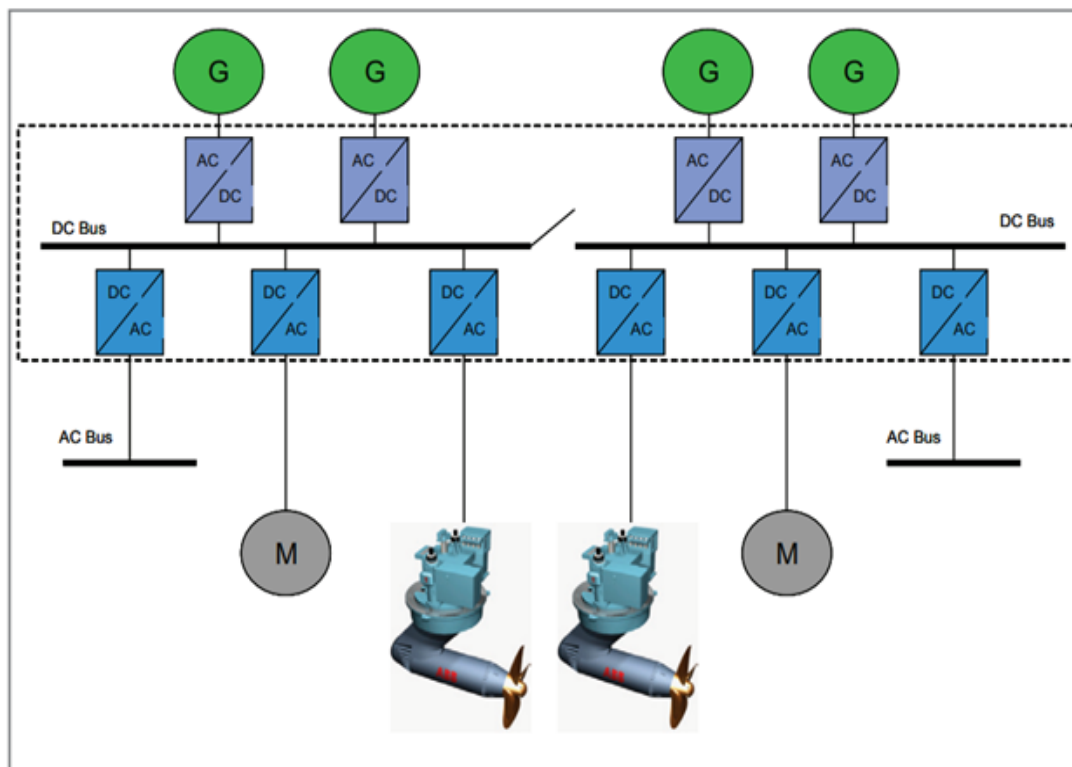


Рисунок 1 – Система Onboard DC Grid

Схема потоків енергії у системі Onboard DC Grid організована наступним чином:

- Джерела енергії, а саме, традиційні синхронні генератори, підключаються до головної шини DC через керовані випрямлячі (AC/DC). Це дозволяє відв'язати частоту обертання дизелів від частоти мережі, оптимізуючи витрату палива.
- Потужні споживачі, такі як головні електродвигуни (азиподи, гребні гвинти) та підрулювальні пристрої, живляться безпосередньо від шини DC через індивідуальні інверторні модулі (DC/AC).
- Для живлення традиційних суднових споживачів (насоси, вентилятори, камбузне обладнання, освітлення) використовуються спеціалізовані інвертори, що формують мережу. Мережа 440 В створюється одним або декількома (для резервування) потужними інверторами, що перетворюють постійний струм шини на трифазний змінний струм фіксованої частоти. Це дозволяє зберегти стандартні асинхронні електродвигуни без необхідності їх заміни на спеціальні DC-моделі. Мережа 220 В для побутових потреб використовує окремі інвертори з вихідними фільтрами. Вони формують напругу ідеальної синусоїдальної форми, ізолюючи споживачів від можливих гармонічних спотворень, що виникають у силовому ланцюгу.
- Потужні насоси або вентилятори, що вимагають регулювання швидкості, підключаються до шини DC через власні інвертори. Це виключає ланку випрямлення (всередині звичайного перетворювача частоти), зменшуючи габарити приводу та теплові втрати.

Головна перевага Onboard DC Grid — відв'язування швидкості обертання дизель-генераторів від частоти. У класичних системах змінного струму

(АС) жорстка вимога підтримувати частоту 60 Гц (або 50 Гц) змушує дизель-генератори працювати на фіксованій номінальній швидкості, незалежно від того, чи завантажені вони на 100%, чи на 10%. Це призводить до значних механічних втрат та неоптимального згорання палива на часткових режимах. В архітектурі Onboard DC Grid генератори підключаються до головної шини через активні випрямлячі. Це усуває пряму залежність між обертами валу двигуна та частотою мережі. Система управління потужністю (PMS) отримує свободу динамічно змінювати швидкість обертання дизеля залежно від миттєвого навантаження.

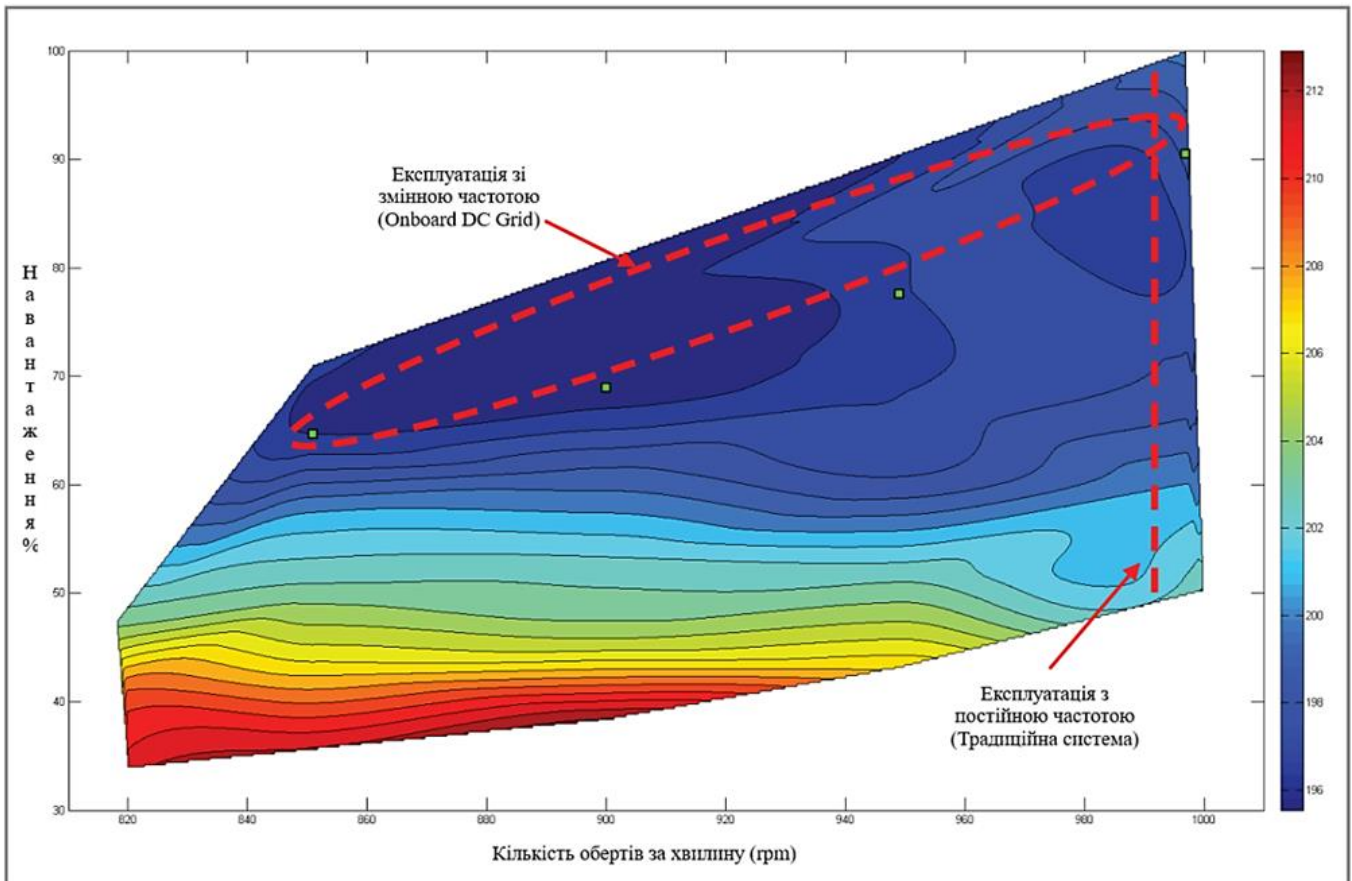


Рисунок 2 - Випробування двигуна при змінній швидкості обертання та навантаження (колірна шкала відображає питому витрату палива (SFOC) у г/кВт·год)

На Рисунку 2 наведено карту ефективності двигуна, де ізолінії (кольорова шкала) відображають питому витрату палива (SFOC — Specific Fuel Oil Consumption, г/кВт·год). Графік наочно демонструє різницю двох підходів. У традиційній системі (фіксована швидкість) робоча точка двигуна переміщується горизонтально вздовж лінії максимальних обертів (верхня межа графіка). При зниженні навантаження робоча точка неминуче потрапляє в зони з високим SFOC, що означає різке падіння ККД та перевитрату палива.

У системі Onboard DC Grid система PMS дозволяє двигуну знижувати оберти пропорційно до зниження навантаження. Робоча точка рухається по оптимальній траєкторії, залишаючись у зоні "економічного оптимуму" (синя зона) навіть при навантаженнях 30–50%. Такий алгоритм роботи буде дуже ефективним для суден із профілем роботи Dynamic Positioning (DP), наприклад

судна постачання платформ (PSV), які більшість часу проводять у режимах очікування або утримання позиції з низьким завантаженням генераторів. Можливість роботи на змінних обертах у таких сценаріях забезпечує зниження витрати палива та шкідливих викидів до 20–30% порівняно з традиційними системами.

Архітектура DC-шини за своєю природою ідеально підходить для інтеграції гібридних систем накопичення енергії (HESS — Hybrid Energy Storage System). Акумуляторні батареї або суперконденсатори є пристроями постійного струму. У традиційній AC-системі для їх підключення потрібен окремий складний двонаправлений перетворювач AC/DC. У системі Onboard DC Grid вони підключаються до головної шини DC через простіший та ефективніший двонаправлений DC/DC-перетворювач.

HESS виконують у системі кілька функцій:

- Згладжування піків: батареї можуть видавати потужність при різких піках навантаження (наприклад, увімкнення підрулювального пристрою), дозволяючи ДГ працювати в більш стабільному режимі.
- Придушення перехідних процесів: у суворих погодних умовах HESS поглинають або видають енергію, компенсуючи швидкі коливання навантаження від гребних гвинтів, що знижує навантаження на дизельні двигуни.
- Резерв потужності: Батареї забезпечують миттєвий резерв потужності, дозволяючи зупинити один із працюючих ДГ.

Застосування гібридних DC-систем активно досліджується та впроваджується. На судах з інтегрованими енергетичними системами в суворих морських умовах, застосування HESS (батареї та суперконденсатори) для придушення перехідних процесів дозволило знизити коливання частоти та напруги в мережі на 63.0% та 74.5% відповідно, значно підвищуючи якість електроенергії та безпеку судна.

Прикладом сучасного використання такої технології є нещодавно (у 2025 році) введене в експлуатацію судно для встановлення вітряних турбін (WTIV) під назвою Norse Wind (рис.3). На цьому судні генератори заряджають акумуляторні батареї, які потім живлять усі бортові системи. Коли заряд знижується, генератори запускаються періодично, щоб підзарядити батареї, що значно зменшує витрату палива. Для зарядки генератор запускається в режимі, в якому його ККД роботи найбільший (найменша кількість палива на 1 кВт виробленої енергії).

Norse Wind також є першим у світі WTIV, спроектованим з повною системою розподілу електроенергії постійного струму (DC power distribution system). На відміну від звичайних суден, WTIV споживає значно більше електроенергії під час операцій, тому система постійного струму була інтегрована для подолання неефективності та високого енергоспоживання традиційних систем змінного струму (AC).

Завдяки інтелектуальному управлінню швидкістю генераторів вона знижує витрату палива, підвищує ефективність експлуатації та покращує екологічні показники. Встановлена гібридна пропульсивна система з акумуляторами

може повністю замінити вихідну потужність одного головного двигуна. За оцінками, при встановленні вітряних турбін судно Norse Wind, порівняно з традиційним монтажним судном, повинно приблизно на 60 відсотків менше створювати повітряних забруднень.



Рисунок 3 – Судно Norse Wind

Попри очевидні переваги, перехід на DC-мережі створює нові складні інженерні завдання в галузі захисту та стабільності. На відміну від мереж AC, де струм природним чином проходить через нуль 100 або 120 разів на секунду (що спрощує гасіння дуги у вимикачі), струм КЗ у системі DC не має природного нуля. Це вимагає застосування більш складних, швидкодійних і дорогих DC-переривників. Джерела струму КЗ у DC-мережі численні, це не тільки генератори (через випрямлячі), а й миттєвий розряд внутрішніх конденсаторів самих перетворювачів, а також зворотний внесок енергії від обертових AC-двигунів та накопичувачів (HESS). Сучасні DC-системи вирішують цю проблему комбінацією швидкодійних запобіжників та керованих напівпровідникових вимикачів (наприклад, IGBT у перетворювачах), які можуть заблокувати струм несправності значно швидше, ніж традиційні механічні переривники.

Пропульсивні приводи та інші споживачі з активними перетворювачами поведуться як навантаження постійної потужності (CPL - Constant Power Load). CPL у DC-мережі має характеристику негативного імпедансу (при зниженні напруги струм зростає, щоб зберегти потужність постійною). Такий фактор може призвести до коливань і нестабільності у всій енергосистемі. Для забезпечення стабільності системи потрібен ретельний динамічний аналіз і проектування енергетичних систем управління (PMS), здатних демпфувати ці коливання.

Висновок. Історичний перехід від DC до AC був зумовлений ефективністю трансформації та надійністю асинхронних двигунів. Сьогодні, на новому витку технологічного розвитку, силова електроніка дозволяє повернутися до концепції розподілу постійного струму, використовуючи її сильні сторони та нівелюючи недоліки. Хоча залишаються складні інженерні завдання, пов'язані зі стабільністю CPL та організацією селективного захисту від струмів КЗ, підтверджені переваги у вигляді економії палива та гнучкості компоновання роблять гібридні DC-мережі однією з ключових технологій для наступного покоління суден.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. ABB. Onboard DC Grid: The step forward in Power Generation and Propulsion. Режим доступу: URL:<https://www.abb.com/global/en>
2. Ding, Y., Ma, S., Liu, G., Sui, C., & Xiang, L. Optimization of sizing and energy management in hybrid energy storage systems for transient suppression in ship power systems under adverse sea conditions. International Journal of Electrical Power & Energy Systems. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2025.110864>
3. Budashko, V. Formalization of design for physical model of the azimuth thruster with two degrees of freedom by computational fluid dynamics methods [Text] / V., Budashko // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2017. – V. 3. – № 7(87). – P. 40–49. Doi:[10.15587/1729-4061.2017.101298](https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.101298).
4. Fossen, T. (2021) Handbook of Marine Craft Hydrodynamics and Motion Control. 2nd edn. Wiley. Available at: <https://www.perlego.com/book/2761053/handbook-of-marine-craft-hydrodynamics-and-motion-control-pdf> (Accessed: 12 January 2024).
5. Schwager, P., Tiede, L., Scholz, T., Gehrke, K., & Vehse, M. Efficiency analysis and performance modelling of a photovoltaic system for cruise ship cabins with battery storage using direct current distribution networks. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2024.110447>
6. American Bureau of Shipping (ABS). Requirements for Direct Current (DC) Power Distribution Systems for Marine and Offshore Applications, 2022. Режим доступу: URL: [https://ww2.eagle.org/content/dam/eagle/rules-and-guides/current/other/293-requirements-for-direct-current-\(dc\)-power-distribution-systems-for-marine-and-offshore-applications/293-dc-power-reqts-july22.pdf](https://ww2.eagle.org/content/dam/eagle/rules-and-guides/current/other/293-requirements-for-direct-current-(dc)-power-distribution-systems-for-marine-and-offshore-applications/293-dc-power-reqts-july22.pdf)
7. Park, D., & Zadeh, M. K. Dynamic Modeling and Stability Analysis of Onboard DC Power System for Hybrid Electric Ships. Режим доступу: URL:<https://ntnuopen.ntnu.no/ntnu-xmlui/bitstream/handle/11250/2650944/Park.pdf?sequence=4>
8. Будашко, В. В. Підвищення ефективності функціонування суднових енергетичних установок комбінованих пропульсивних комплексів. Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.22.20 – Експлуатація та ремонт засобів транспорту (0701 – транспорт і

- транспортна інфраструктура). – Національний університет «Одеська морська академія», Одеса, 2017, 422 с. Режим доступу: \WWW/ URL: http://onma.edu.ua/wp-content/uploads/2016/09/Thesis_Budashko_END-1.pdf – 5.9.2018 р. – Загол. з екрану.
9. Budashko, V., Sandler, A., & Khniunin, S. (2023). Improving the method of linear-quadratic control over a physical model of vessel with azimuthal thrusters. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1(2 (121)), 49–71. Doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.273934>.
10. Budashko, V. Formalization of design for physical model of the azimuth thruster with two degrees of freedom by computational fluid dynamics methods [Text] / V., Budashko // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. – 2017. – V. 3. – № 7(87). – P. 40–49. Doi: [10.15587/1729-4061.2017.101298](https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.101298).
11. Glad, T., & Ljung, L. (2000). *Control Theory* (1st ed.). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781315274737>.
12. Budashko, V. Thrusters physical model formalization with regard to situational and identification factors of motion modes [Text] / V. Budashko // 2020 International Conference on Electrical, Communication, and Computer Engineering (ICECCE), Istanbul, 12-13 June 2020, Turkey: IEEE. Pp. 1-6. Doi: [10.1109/ICECCE49384.2020.9179301](https://doi.org/10.1109/ICECCE49384.2020.9179301).
13. Babadi, M. K. Effect of hull form coefficients on the vessel sea-keeping performance [Text] / M. K. Babadi, H. Ghassemi; Department of Ocean Engineering, AmirKabir University of Technology // *Journal of Marine Science and Technology*. – 2013. – 11 p. Doi: [10.6119/JMST-013-0117-2](https://doi.org/10.6119/JMST-013-0117-2).
14. Budashko, V. Optimization of the control system for an electric power system operating on a constant power hyperbole [Text] / V. Budashko, A. Sandler, V. Shevchenko // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. – 2022. – V. 1. – № 8(115). – P. 6-17. ISSN 1729-3774. Doi: [10.15587/1729-4061.2022.252172](https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.252172).
15. Carrera, A. Cognitive system for autonomous underwater intervention [Text] / A. Carrera, N. Palomeras, N. Hurtós, P. Kormushev, M. Carreras // *Pattern Recognition Letters*. – 2015. – V. 67(1). – P. 91–99. Doi: [10.1016/j.patrec.2015.06.010](https://doi.org/10.1016/j.patrec.2015.06.010).
16. Budashko, V. Diagnosis of the Technical Condition of High-tech Complexes by Probabilistic Methods [Text] / V. Budashko, A. Sandler, V. Shevchenko // *International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation (TransNav)*. – 2022. – V. 16. – № 1. – P. 105-111. ISSN 2083-6473, ISSN 2083-6481 (electronic version). Doi: [10.12716/1001.16.01.11](https://doi.org/10.12716/1001.16.01.11).
17. Budashko, V., Sandler, A., & Khniunin, S. (2023). Improving the method of linear-quadratic control over a physical model of vessel with azimuthal thrusters. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1(2 (121)), 49–71. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.273934>.
18. Budashko, V. The synthesis of control system to synchronize ship generator assemblies [Text] / V. Budashko, V. Shevchenko // *Eastern-European Journal of En-*

terprise Technologies. – 2021. – V. 1. – № 2(109). – P. 45-63. ISSN 1729-3774. Doi: [10.15587/1729-4061.2021.225517](https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.225517).

19. Budashko, V. Solving a task of coordinated control over a ship automated electric power system under a changing load [Text] / V. Budashko, V. Shevchenko // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2021. – V. 2. – № 2(110). – P. 54-70. ISSN 1729-3774. Doi: [10.15587/1729-4061.2021.229033](https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.229033).

20. Sandler, A. Improving tools for diagnosing technical condition of ship electric power installations [Text] / A. Sandler, V. Budashko // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2022. – V. 5. – № 5(119). – P. 25-33. ISSN 1729-3774. Doi: [10.15587/1729-4061.2022.266267](https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.266267).

21. Sandler, A., Budashko, V., Khniunin, S., Bogach, V. (2023). Improving the mathematical model of a fiber-optic inclinometer for vibration diagnostics of elements in the propulsion system with sliding bearings. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies: Applied physics, 5 (5(125)), 24-31. Doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.289773>.

Analyse of marine diesel engine performance

1. Introduction

On low speed engines there are well known in seamanship mechanical drives for determining the basic parameters of the working process and indicator power of cylinders. They cannot be used for medium-and high-speed diesel engine because of mechanical drives inertia. For those of diesel engines, which make up the majority of the offshore and fishing fleet, only electronic control systems may be used.

Capabilities of most electronic systems are focused mainly on getting the indicator working process parameters such as maximum combustion pressure P_{max} , maximum compression pressure P_{comp} , mean indicated pressure MIP . However, besides these there are several other important diagnostic parameters of fuel injection equipment and gas distribution mechanism. Their control allows you to assess more accurately the technical condition and to adjust the marine diesel engines. First of all fuel injection timing and valve timing is included into such settings.

In the problem of determining the working process parameters, there is a problem of data synchronization, i.e. representation of them, depending on the phase rotation of the crankshaft, for example $p_{cyl}=f(\varphi)$. Traditionally, this problem is solved by means of sensors on the flywheel. Disadvantages of this method are that it is difficult to consider all the factors that influence the phase error. Besides, setting the sync sensor requires preliminary diesel preparation and definite expanses.

Thus, there are two problems to be solved for the perfect modeling and condition monitoring of marine diesel in operation: 1) parallel determination of the indicator work process parameters and timing of fuel injection and gas istribution;

2) the solution of sync problem in terms of improving its accuracy and efficiency.

An important element of diagnosis of a diesel engine is a characterization of turbocharging. On the main engine turbines tachometer and charge air pressure gauges can be installed. On the turbines for auxiliary diesel engines, as a rule, there are no such devices. In this article we shall discuss how during the operation such important parameter, as the rotational speed of the turbocharger can be determined. The above problems are solved in the PC based system for diesel condition monitoring.

2- Diesel engine performance analyzing system

The purpose of the system is to diagnose main and auxiliary marine diesel engines see Fig. 1. Also it can be used on other mobile and stationary diesel power plants. Gas pressure sensor and vibro sensor are included into the standard version. The system measures and calculates the following: RPM , P_{max} , P_{comp} , MIP , *indicated power, fuel injection and valves timing, gas pressure, fuel injection and valves vibro diagrams.*

Fuel injection and valves timing as well as estimation of technical condition of separate units are determined by means of contact vibrosensor. It records high



Fig. 1. Equipment of the diesel engine performance analyzing system

frequency signals that occur during the ascent and landing injector and valves timing during engine working cycle, see Fig. 2.

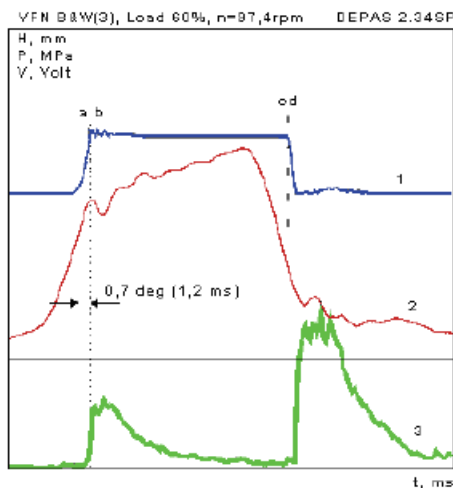


Fig. 2. Fuel injection timing with the help of vibrodiagram

Due to analyzing of fuel injection equipment and valve timing mechanism vibrodiagrams together with working process indicator diagram the spectrum of monitored parameters has been significantly widened. The engine cylinder technical condition diagnosis became possible not only by cylinder gas pressure but also by key data of fuel injection and valve timing.

3. Data synchronization method

The Top Dead Center (TDC) of a piston is calculated by analyzing diagrams of gas pressure in the working cylinder. Design algorithm of synchronization is based on the fact that in case of pure compression (without fuel injection and combustion) in the cylinder, the speed degree of increasing gas pressure is equal to zero: $dP/dFi=0$ at TDC position of the piston, see Fig. 3. On the referent diagram of pressure the site of pure compression before the beginning of combustion is allocated. Factors of non-linear mathematical model of a curve dP/dFi are calculated by means

of minimization method. Mathematical data synchronization method leads to precise calculation of MIP and indicated power.

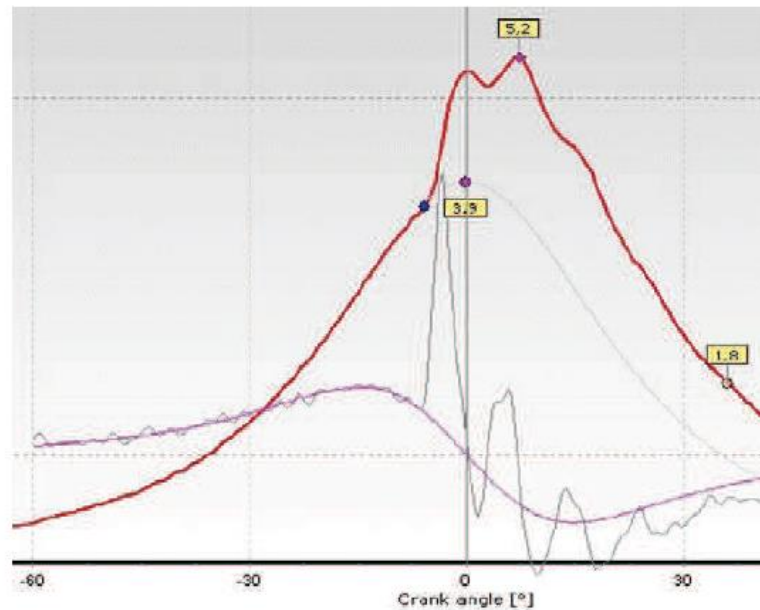


Fig. 3. TDC determination with the help of dP/dFi mode

4. Example 1. Four-stroke engine

Diagnosing the working cylinder of a medium speed diesel engine is shown at Fig. 4. Fig. 4A shows the indicator diagrams of work process and results of the work process basic parameters calculation: indicated power, MIP, the maximum compression and combustion pressure, the angle of the start of combustion, etc. Fig. 4B shows the vibrodiagrams of fuel injection and gas distribution which is recorded simultaneously with the indicator diagrams. It may be noted the normal operation of fuel equipment according to specified vibroimpulses (without distortion) of rising (15° bTDC) and setting (4° aTDC) needle.

The first to the left vibroimpulse characterizes the signal while closing the inlet valves. Fractional value of the vibroimpulse shows the fact that inlet valves do not close simultaneously. It is a defect of gas distribution mechanism.

5. Example 2. Two-stroke engine

Another example of S60MC two-stroke low-speed main engine work process diagnosis shown on Fig. 5.

Reference points on diagrams:

1. Point on the indicator diagram which corresponds to a moment of the beginning of fuel self-ignition,
2. Geometrical advance angle of fuel feed by HPFP (a plunger is beginning to close the cut-off port),

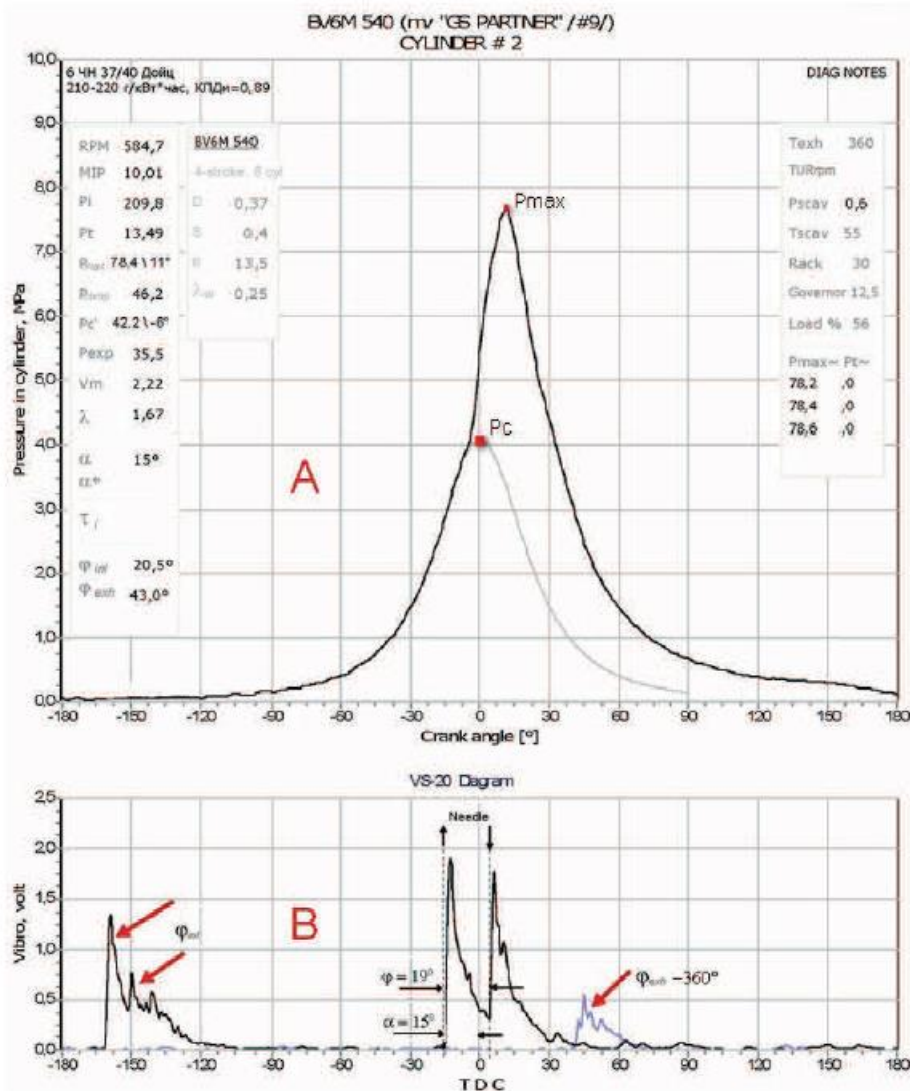


Fig. 4. Medium speed diesel engine working process

3. Fuel feed cut off (the low edge of HPFP plunger is starting to open the cut-off port),
4. Rising of injector circulation valve and termination of fuel circulation ($P \sim 1.0 \text{MPa}$),
5. Rising of injector needle ($P = 25.0 \text{MPa}$) – real angle of the fuel injection beginning,
6. Injector needle fit – real angle of the fuel injection termination,
7. Injector circulation valve fit – the beginning of fuel circulation,
8. Angle of complete closing of the exhaust valve – valve plate fit in its seat,
9. Angle of the beginning of damper action at the end of exhaust valve stroke,
10. Increase of a high-frequency noise level while opening the exhaust valve.

According to diagrams on Fig. 5 and obtained parameters, the condition of the cylinder, the high pressure fuel equipment and mechanism of gas distribution is normal.

6. Determining the speed of TURBOCHARGER

Charge air pressure depends on the speed of turbocharger. In connection with this problem of its operational definition is especially important during the operation

for all types of diesel engines. To determine the frequency of turbocharger rotation the amplitude spectrum of acoustic signal of an air compressor was used. The spectrum of the main engine turbocharger, see Fig. 6 and auxiliary engine turbocharger see Fig. 7. The spectral analysis showed that the

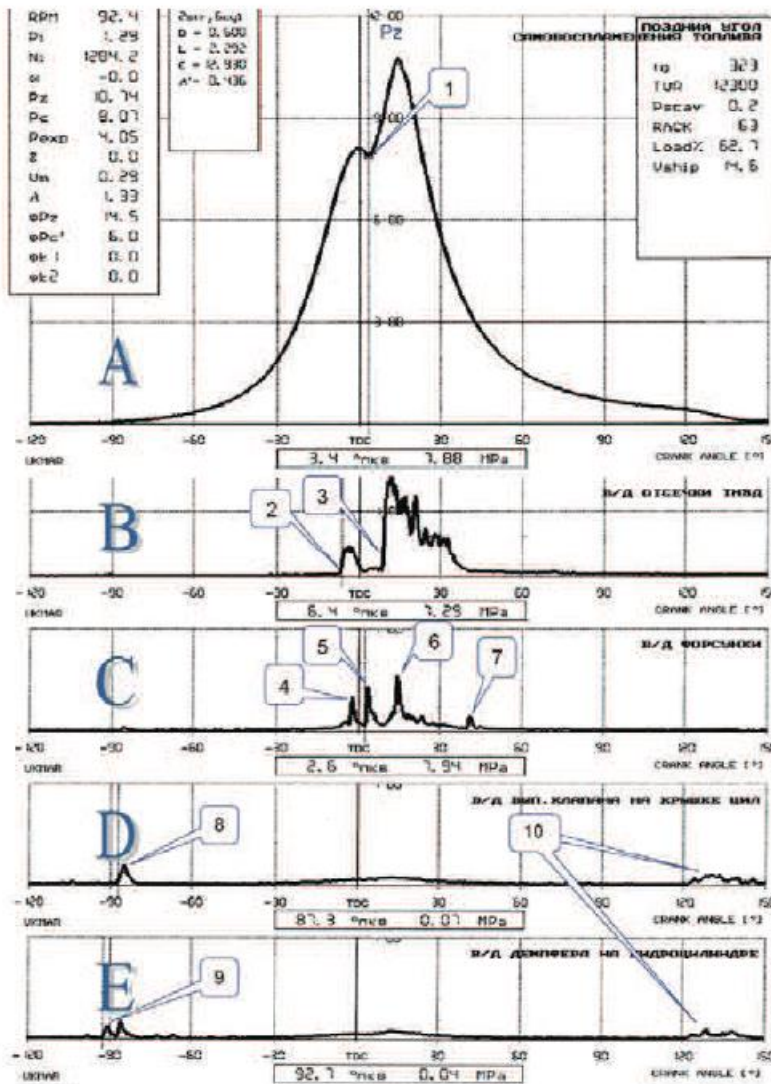


Fig. 5. Two-stroke low-speed main diesel engine working process

compressor side is generating audio signal with a frequency equal to the frequency of rotation multiplied by the number of blades.

7. Conclusions

Diagrams and data shown in Fig. 4-7 are greatly valuable for engineers as they illustrate technical condition of working cylinder, its high pressure fuel equipment and auxiliary systems.

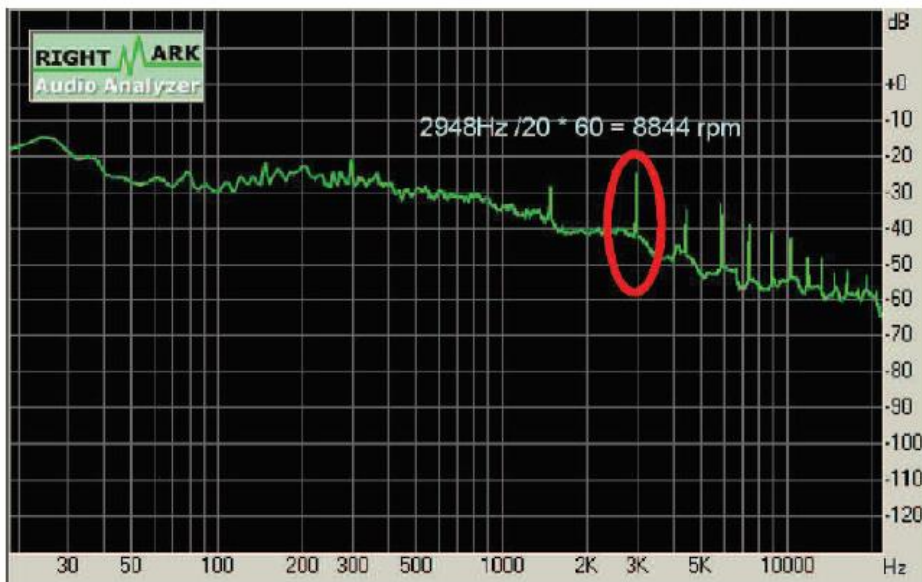


Fig. 6. Caption: Spectrum of the main engine turbocharger

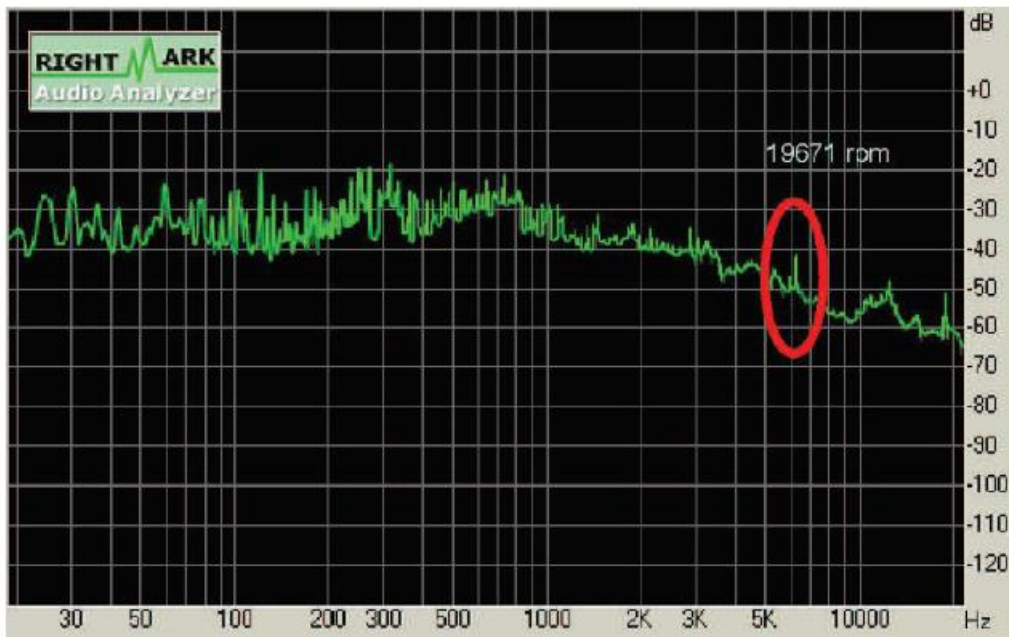


Fig. 7. Spectrum of the auxiliary diesel engine turbocharger

This method of working process monitoring can be very useful in practice. Besides, the received from ship's diesel data will help to create more real models in PC based Engine Room simulators.

REFERENCES

Analyse of marine diesel engine performance.
https://www.academia.edu/85883030/Analyse_of_marine_diesel_engine_performance

Дулдієр О.П.

Національний університет «Одеська морська академія»

Необхідні умови для оцінки якості горіння по кольору полум'я

Для морського флоту екологічні питання мають глобальний характер. Судноплавні компанії прагнуть звести до мінімуму вплив теплоенергетичних процесів на навколишнє середовище. Як наслідок, розробка нових напрямків дослідження технологій спалювання палива для захисту навколишнього середовища для них є актуальною.

Теоретичні дослідження газодинамічних властивостей процесу горіння спрямовані на вивчення умов досягнення максимального значення енергетичної ефективності та мінімального впливу технологічних процесів на навколишнє середовище, які необхідні для конкретних топкових пристроїв. Це дозволяє сформулювати вимоги для технічних засобів забезпечення якості процесу горіння, керуючих умов та стану процесу згоряння палива.

Оскільки внутрішні газодинамічні процеси короткочасні і протікають з високими швидкостями утворення проміжних продуктів, то ними нехтують, а для забезпечення процесу горіння використовуються дані стану продуктів при завершенні горіння, в той час як швидкість виділення тепла, як результуючий параметр, визначається станом газодинамічних складових проміжних процесів.

В топкових пристроях дослідження технології процесу вигорання палива базується на комплексному термодинамічному аналізі потоку його скалярної структури.

Експериментальні дослідження процесу вигорання палива не дають повних відомостей про закономірності та пов'язаних з цим характеристик внутрішніх процесів перетворення палива та при його змішуванні у потоці продуктів згоряння з повітрям. Зміна подачі в область горіння кожної із зазначених компонент в теоретичних передумовах констатуються досить об'єктивно.

З урахуванням вище сказаного завдання даних тез є визначення умов об'єднання скалярних характеристик окремих процесів горіння з метою отримання більш достовірних даних та їх оцінки, а також за допомогою опису досягти максимального наближення до реального.

Об'ємні взаємозв'язки, що визначають якість (енергетичну ефективність) процесу, є основними інформативними джерелами при його дослідженні.

Якість процесу як один із показників скалярної структури горіння, може оцінюватись візуально по прозорості і кольору полум'я (колір має бути солом'яно-жовтим або яскраво-жовтогарячим).

Колір однозначно визначається спектральним розподілом енергії по спектру і температурі за формулою Планка. Відомо - рівним інтервалам зміни температури в скалярній структурі полум'я (у «зворотніх мікрокельвінах») відповідають однакові зміни кольоровості полум'я.

Для аналізу вищесказаного необхідно визначити:
структуру і характеристики випромінювання;

діапазон спектрального інтервалу;
 діапазон енергій, яка переноситься обраному спектральному інтервалі;
 оптичні характеристики полум'я.

Для цього необхідно дати об'ємне уявлення про зміну його параметрів при зміні тепло- та масообміну як усередині, так і на межах об'ємів. Звідси випливають вимоги до виконання досліджень нестационарних процесів, які спричинені змінними градієнтами параметрів, джерелами тепла та стоку у фіксованих координатах. Ці процеси визначаються координатами та типом топкового пристрою спільно з витокком і стоком нових та проміжних параметрів. Вони в умовах стаціонарного полум'я формують та визначають швидкості зміни параметрів через нелінійність підведення палива, фізико-хімічних та газодинамічних процесів. Характеристики полум'я за призначенням: потрібних щільностей світлового потоку, необхідних оптичних властивостей та температури, повноти згоряння – ентальпії та ін.

Основні процеси, що протікають в турбулентному полум'ї (рис. 1) визначають порядок рівнянь та алгоритм розрахунку, а саме змінні:

- швидкості підведення та взаємодії палива та повітря;
- градієнти температури в об'ємі горіння та її координатам;
- маси, щільності, концентрації та якості розпилювання координатами;
- теплофізичні властивості вихідних, проміжних та кінцевих продуктів;
- коефіцієнт надлишку повітря;
- зовнішні, внутрішні та проміжні продукти у перерізі потоку;
- умови поверхні горіння відносно осі симетрії.

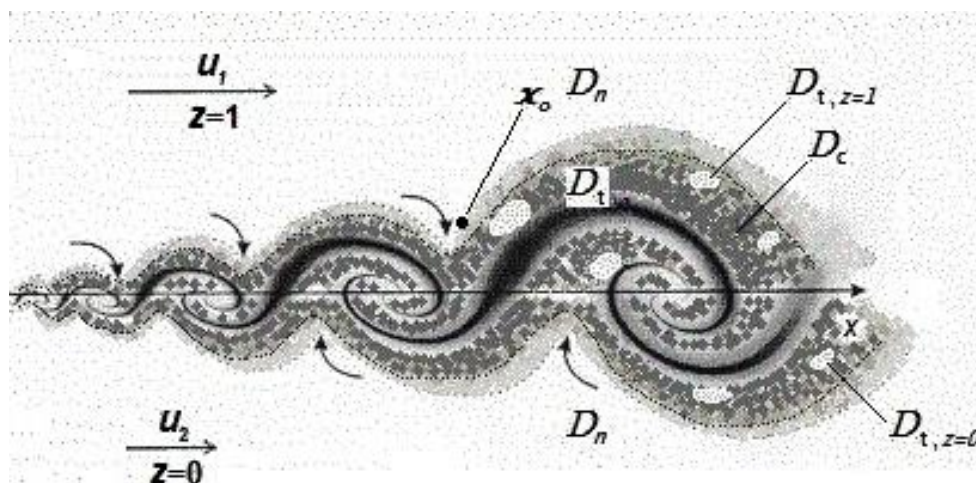


Рис.1. Структура турбулентного полум'я, яка запозичена з публікації [2].

На цьому рисунку $D_t - D_n$ області з турбулентним і нетурбулентним потоком. $D_{t,z} - D_{n,z}$ – об'єми в турбулентному потоці з постійним значенням відновленої концентрації палива, D_c – область з неоднорідним полем відновленої концентрації палива (область випромінювання). При цьому турбулентний потік містить весь можливий спектр випромінювання, тобто весь набір джерел утворення кольору, в той час як нетурбулентна область може містити в основному тільки джерела випромінювання малої інтенсивності (або взагалі їх не

мати, якщо область розташована далеко від зони з неоднорідним полем відновленої концентрації палива).

Визначення цієї інформації є необхідною умовою для вирішення задачі оцінки якості процесу горіння і базується на аналізі скалярної структури процесу і оптичних властивостей виділених областей по слідуючим вихідним даним:

- кількість випромінюваної полум'ям енергії;
- межі зміни його оптичних характеристик;
- зміни яскравості і спектрального складу випромінювання;
- межі зміни колірних і спектральних характеристик.

Враховуючи наведені аргументи та сформульовані напрями досліджень процесу горіння палива в обсязі з урахуванням зазначених його особливостей, на перший план висувається завдання оцінки взаємозв'язку подачі палива та повітря з характеристиками випромінювання при вигорянні палива в заданому топковому пристрою. Вибору методу дослідження передуює математичний опис формування, розвитку та вигорання. Це дозволяє врахувати взаємодії окремих фаз у потоці продуктів горіння зі змінними теплоємностями та ентальпіями.

Опис нестационарних перетворень у полум'ї з метою оцінки ентальпій за теплою реакцій визначається методом наближеного розрахунку узагальненого параметра z - відновленої концентрації палива [1,3].

Формування скалярної структури процесу в зоні турбулентного змішування супутних потоків визначається за формулою

$$z = \frac{Stc_m - c_o + 1}{1 + St},$$

де c_m і c_o – відповідно концентрації палива і повітря; St - стехіометричний коефіцієнт горіння.

Як видно з рисунку 1 в потоці з неоднорідним полем відновленої концентрації палива виділяють області випромінювання, які розділені межами з випадковою зміною положення:

- сумішшю продуктів згорання з повітрям;
- сумішшю продуктів згорання і палива;
- турбулентного дифузійного горіння.

В цих областях випромінювання визначається змінними складових скалярної структури процесу, які можуть бути визначені по полю відновленої концентрації палива між нулем і z . В залежності від початкових умов в зоні горіння формується відповідна скалярна структура процесу горіння. Такі зміни мають детерміністські властивості, які дозволяють по новому підходити до оцінювання процесу горіння. Дослідження оптичних властивостей такої скалярної структури в неізотермічних реагуючих турбулентних потоках є складною проблемою.

Однак вона істотно спрощується з визначенням параметра відновленої концентрації, який є об'єднуючим параметром процесу. При цьому всі компоненти змінюються аналогічно за єдиною скалярною структурою.

Особливостями рішень завдань з вищеперерахованими умовами, що спрощують опис протікання реальних процесів на основі інтегральних рівнянь газової динаміки, є чисельний метод для визначення характеристик вигорання палива, що представляється у вигляді різницевої сітки довільної конфігурації.

Виходячи з теоретичних положень [1,3], концентрації компонентів скалярної структури в зоні дифузійного горіння визначаються по залежностям:

$$c_m = \begin{cases} \frac{z - z_s}{1 - z_s} & z > z_s \\ 0 & z < z_s \end{cases}; \quad c_o = \begin{cases} 1 - \frac{z}{z_s} & z < z_s \\ 0 & z > z_s \end{cases};$$

$$c_{nz} = \begin{cases} \frac{1 - z}{1 - z_s} \frac{z_s}{St} & z > z_s \\ \frac{z}{z_s} & z < z_s \end{cases}; \quad \frac{I_0 - I_{01}}{I_{0s} - I_{01}} = \begin{cases} \frac{z - z_s}{1 - z_s} & z > z_s \\ 0 & z < z_s \end{cases}.$$

Ентальпія на фронті полум'я визначається по умові

$$I_{0s} = I_{01} + Q_H^p z_s.$$

При визначенні теплоємності суміші використовується залежність

$$c_p = \sum_{l=1}^N c_{pl} c_l.$$

Миттєве значення щільності плотності визначається по залежності

$$\rho = \frac{\sum_{l=1}^N \frac{\rho_l}{\mu_l}}{\sum_{l=1}^N \frac{c_l}{\mu_l}}.$$

Система рівнянь дифузійної турбулентної моделі в наближенні граничного шару для осісиметричного потоку включає в себе рівняння:

руху

$$\langle \rho \rangle \langle u \rangle \frac{\partial \langle u \rangle}{\partial \langle x \rangle} + \langle \rho \rangle v_0 \frac{\partial \langle u \rangle}{\partial y} = \frac{1}{y} \frac{\partial}{\partial y} \left[\langle \rho \rangle v_{t,y} \frac{\partial \langle u \rangle}{\partial y} \right] - \frac{\partial \langle p \rangle}{\partial x} - (\langle \rho \rangle - \rho_0) g,$$

неперевності

$$\frac{\partial \langle \rho \rangle \langle u \rangle}{\partial x} + \frac{1}{y} \frac{\partial}{\partial y} \langle \rho \rangle y v_0 = 0, \quad v_0 = \frac{\langle \rho v \rangle}{\langle \rho \rangle},$$

турбулентної дифузії

$$\langle \rho \rangle \langle u \rangle \frac{\partial \langle z \rangle}{\partial x} + \langle \rho \rangle v_0 \frac{\partial \langle z \rangle}{\partial y} = \frac{1}{y} \frac{\partial}{\partial y} \left[\langle \rho \rangle \frac{v_t}{Sc} y \frac{\partial \langle z \rangle}{\partial y} \right],$$

енергії турбулентності

$$\langle \rho \rangle \langle u \rangle \frac{\partial \langle e \rangle}{\partial x} + \langle \rho \rangle v_0 \frac{\partial \langle e \rangle}{\partial y} = \frac{1}{y} \frac{\partial}{\partial y} \left[\langle \rho \rangle \kappa_2 v_t y \frac{\partial \langle e \rangle}{\partial y} \right] - \langle \rho \rangle v_t \left(\frac{\partial \langle u \rangle}{\partial y} \right)^2 - \beta_2 \left[1 + \frac{v_t}{e} \left| \frac{\partial \langle u \rangle}{\partial y} \right| \right] \frac{\langle \rho \rangle e^2}{v_t}$$

коефіцієнта турбулентної в'язкості

$$\langle \rho \rangle \langle u \rangle \frac{\partial \langle v_e \rangle}{\partial x} + \langle \rho \rangle v_0 \frac{\partial \langle v_e \rangle}{\partial y} = \frac{1}{y} \frac{1}{\partial y} \left[\langle \rho \rangle \kappa_3 v_t y \frac{\partial \langle v_e \rangle}{\partial y} \right] + \beta_3 \frac{\langle \rho \rangle v_e^2}{e} \left(\frac{\partial \langle u \rangle}{\partial y} \right)^2 - \beta_4 \langle \rho \rangle v_t \left| \frac{\partial \langle u \rangle}{\partial y} \right|$$

дисперсії пульсації концентрації

$$\langle \rho \rangle \langle u \rangle \frac{\partial \sigma^2}{\partial x} + \langle \rho \rangle v_0 \frac{\partial \sigma^2}{\partial y} = \frac{1}{y} \frac{\partial}{\partial y} \left[\langle \rho \rangle \kappa_1 v_t y \frac{\partial \sigma^2}{\partial y} \right] + 2 \langle \rho \rangle \frac{v_t}{Sc} \left(\frac{\partial \langle z \rangle}{\partial y} \right)^2 - \beta_1 \left[1 + \frac{v_t}{e} \left| \frac{\partial \langle u \rangle}{\partial y} \right| \right] \frac{\langle \rho \rangle e \sigma^2}{v_t}$$

Розв'язання цих рівнянь дозволяє наблизити теоретичні дані до реального їх застосування в котлових установках, що призведе до значної покращення якості спалювання палива.

Наведений матеріал визначає проблемні напрями досліджень процесу горіння для відкритих систем. До переліку основних проблемних напрямів досліджень вищеперерахованих показників ставляться:

- форма полум'я в топці;
- використання палив широкого фракційного складу;
- режими роботи існуючих топкових пристроїв;
- розробка методу контролю процесів у топкових пристроях;
- регулювання та керування процесом вигорання факела;
- взаємодії проміжних процесів, що формують вигорання палива;
- газодинамічні процеси утворення, вигорання палива, а також дифузійні процеси в об'ємі;
- утворення проміжних радикалів (зокрема сажі) у факелі.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Kuznetsov V.R., Sabel'nikov V.A. Turbulence and Combustion. New York : Hemisphere 14 Publishing, 1990. 362 p.
2. Нужнов Ю.В. Метод ASMTURBC автономного статистического моделирования диффузионного турбулентного горения и некоторые результаты его тестирования. // Вестник КазНУ. Серия: математика, механика, информатика. 2015. Т. 14, № 2. С.119-130.
3. Дулдиер А.П., Бурденко А.Ф. Математическая модель турбулентного диффузионного горения в топке котла // Судовые энергетические установки: науч. – техн. сб. –2000.- Вып. 5.- Одесса: ОГМА. – с.28-30.

Забезпечення вимог міжнародної програми Green Logistics під час експлуатації суден морського транспорту

Сучасні логістичні системи, що пов'язані з забезпеченням перевезень суднами морського транспорту, значно впливають на екологічний стан як портових та прибережних, також і морських та океанських акваторій, що зумовлює необхідність переходу до зеленої логістики [1]. Зростання інтенсивності вантажоперевезень, які виконуються суднами різного дедвейту та призначення, використання як джерела енергії палива нафтового походження, неминуча наявність баластних переходів для деяких типів морських суден (перш за все для таких, що транспортують нафту, нафтопродукти, зріджений природний або нафтовий газ) призводять до підвищення рівня викидів парникових газів, що негативно впливає на кліматичні зміни. Основною проблемою є необхідність інтеграції екологічних стандартів у логістичні процеси під час мінімізації витрат та збереженні конкурентоспроможності судноплавних компаній. Однак, реалізація таких рішень стикається з рядом викликів, включаючи високу вартість нових технологій та низьку готовність ринку до інновацій.

Зелена логістика включає будь-яку бізнес-практику, яка мінімізує вплив логістичної мережі та поставок на довкілля. Стійка логістика чи екологічна логістика забезпечують високий прибуток, не жертвуючи комерційним прибутком чи благополуччям планети [2].

Оскільки 75% світової міжнародної торгівлі залежить від морського транспорту, судноплавство стало критично важливим стовпом глобальної логістики. Зі швидким розширенням міжнародної торгівлі масштаби морських перевезень продовжують зростати, що призводить до дедалі більш перевантажених та жвавих морських шляхах.

Однією з проблем забезпечення зеленої логістики є попередження зіткнення суден, наслідком чого стають неконтрольовані розливи нафтопродуктів у морське середовища та викиди шкідливих речовин у повітря. Часті зіткнення суден стали серйозною проблемою безпеки. Ця проблема особливо актуальна в портових районах, де частота перетинів та зіткнень суден значно зросла, що значно збільшує ризик зіткнень [3]. Примітно, що 45,3% випадків травмування та смертельних випадків відбуваються в портових водах [4]. Щоб зменшити частоту морських аварій та полегшити навантаження на членів екіпажу, інтелектуальні судна стають ключовим напрямком у майбутньому морського транспорту [5]. Оскільки вимоги до операційного середовища та ефективності судноплавства продовжують зростати, інтелектуальні судна повинні не лише мати передові можливості автономної навігації, але й бути здатними сприймати, прогнозувати та приймати рішення в режимі реального часу в складних морських середовищах [6]. Це вимагає ефективною обробки даних з багатьох джерел та глибокого розуміння динамічних навігаційних умов [7]. Однак морське середовище є дуже динамічним, і величезний обсяг навігаційних даних, разом з

його складними взаємозв'язками, створює значні проблеми для сприйняття та процесів прийняття рішень інтелектуальними суднами [8]. Сучасні технології запобігання зіткненням можна узагальнити у три основні процеси: прогнозування руху, виявлення зіткнень та попередження зіткнень.

Іншою складовою забезпечення вимог програми Green Logistics є зниження викидів у довкілля діоксидів вуглецю.

Транспорт є одним з основних джерел забруднення довкілля, тому важливо активно розвивати зелену логістику, спрямовану на зменшення негативного впливу морських транспортних засобів. Логістика, як ключова складова ланцюга постачання, відіграє важливу роль у світовій економіці, але також є одним з основних джерел забруднення повітря. За даними Світового банку, транспорт відповідає за близько 25 % загальних викидів парникових газів у світі. Зелена логістика передбачає врахування екологічного впливу компанії під час організації її логістичних процесів. Вона охоплює весь ланцюг постачань і спрямована на зменшення негативного впливу на навколишнє середовище без шкоди для економічної діяльності компанії. Це досягається через впровадження різних змін у логістичних процесах, таких як вибір екологічних постачальників, вдосконалення інфраструктури, оптимізація процесів завантаження та розвантаження суден, визначення оптимального часу прибуття суден до порту призначення. Існує безліч рішень, які дозволяють поєднати ефективність логістики зі сталим розвитком. Хоча впровадження зеленої логістики вимагає змін у діяльності судноплавних компанії та певних витрат часу і ресурсів, такі інвестиції можуть принести значну користь у довгостроковій перспективі.

Основними елементами зеленої логістики є:

- зниження викидів парникових газів;
- зменшення енергоспоживання;
- перехід на використання екологічних джерел енергії;
- оптимізація логістичних операцій.

Виклики, з якими стикаються судноплавні компанії під час впровадженні зеленої логістики, пов'язані з високими початковими інвестиціями, недостатньою інфраструктурою, а також нестачею стимулів з боку держави.

У світі країни поступово впроваджують стратегії зеленої логістики. Багато європейських країн вже встановили нормативи щодо викидів транспорту, спонукаючи компанії до зменшення викидів CO₂ та інших забруднюючих речовин. Країни Азії, такі як Японія та Китай, також активно розвивають зелену логістику, зосереджуючись на використанні суден з електричними батареями під час здійснення внутрішніх морських та річкових перевезень, використанні альтернативних палив зі зменшеним вмістом або повною відсутністю вуглецю у його складі, оптимізацією швидкості судна, мінімізацією стоянкового часу як під час очікування вантажних операцій, також і під час їх проведення.

Україна, як морська держава, стикається з викликами збереження довкілля. Незважаючи на те, що Національна стратегія розвитку до 2030 року включає в себе заходи з покращення екологічних показників, проблема забезпечення вимог Green Logistics під час морських перевезень залишається нерозв'язаною. Українські судноплавні компанії повільно переходять до зеленої логістики че-

рез високі витрати та брак розвиненої інфраструктури. Зелена логістика має безліч переваг, і якщо використовувати їх правильно, це може сприяти поліпшенню екологічної ситуації, зокрема, шляхом зменшення трафіку, особливо у великих портах, обмеженням викидів та повному запобіганню розливів шкідливих речовин. Виконання цих вимог знизить негативний вплив на середовище, а також зменшить витрати.

Одним із основних напрямків розвитку зеленої логістики у морському транспорті є впровадження енергоефективних суден та використання альтернативних джерел енергії. Це дозволяє значно знизити рівень викидів CO₂ у повітря. Водночас актуальним засобом забезпечення зеленої логістики є оптимізацією транспортних маршрутів, щоб зменшити витрати палива і підвищити ефективність використання ресурсів.

Актуальність розв'язання завдань з зеленої логістики зумовлюється тим, що близько 80...90 % світових вантажів перевозяться морем. Щороку контейнерні судна викидають приблизно 1 мільярд метричних тонн вуглекислого газу, що становить близько трьох відсотків усіх глобальних викидів парникових газів, а також величезну кількість токсичних відходів, які залишаються в океанах.

Данська компанія Maersk, чії судна викинули 38 мільйонів тонн CO₂ у 2024 році, замовила вісім нових суден, що працюють на вуглецево-нейтральному метанолі, щоб досягти своїх амбітних екологічних цілей. Японські та норвезькі судноплавні компанії також активно впроваджують інновації в морському вантажному секторі, зокрема, створюючи повністю електричні танкери та перше у світі автономне електричне вантажне судно. Це судно може управлятися та швартуватися дистанційно за допомогою радарів, інфрачервоних сенсорів і камер, інтегрованих у систему автоматичного управління.

Скорочення відстаней транспортування також є частиною зеленої логістики. Канали розподілу є важливою складовою логістичних процесів, і стратегія зеленої логістики зосереджена на зниженні викидів шляхом скорочення довжини транспортних маршрутів, використання сучасних морських транспортних суден з ефективнішими двигунами та контролю швидкісних обмежень для зменшення споживання палива. Впровадження екологічно чистих каналів розподілу спрямоване на мінімізацію негативного впливу на довкілля.

Використання екологічно чистих видів палива може знизити рівень забруднення повітряного та водного середовища, зменшуючи потребу в видобутку нафтових джерел енергії.

Відновлювана енергія є невичерпною, на відміну від викопного палива, яке може вичерпатися менш ніж за десять-п'ятнадцять років. Проте, альтернативні джерела енергії, такі як сонячна, вітрова, геотермальна та гідроенергія, залишатимуться доступними назавжди. Хоча впровадження відновлюваної енергетики може спершу бути дорогим, у довгостроковій перспективі ці витрати зменшаться. До того ж, використання цих джерел енергії допомагає захистити довкілля, зменшуючи викиди парникових газів, що позитивно впливає на здоров'я людей.

Переваги зеленої логістики охоплюють компанію, її постачальників і партнерів, клієнтів та суспільство загалом. Серед них:

1) підвищення довгострокової прибутковості: зелена логістика скорочує відходи, витрати та викиди вуглецю на всіх етапах доставки. Хоча це потребує початкових інвестицій, подальша економія значно перевищує витрати. Дослідження показали, що компанії з високим рівнем стійкості досягають кращих результатів у довгостроковій перспективі;

2) нові чи розширені шляхи морських перевезень: використання сталих ланцюгів постачання робить компанії привабливішими не тільки для клієнтів, але й для партнерів. Великі міжнародні корпорації оцінюють екологічну стійкість своїх постачальників, а ті, у свою чергу, інвестують у зменшення свого вуглецевого сліду;

3) задоволені та лояльні клієнти: сучасні клієнти хочуть швидкої доставки, екологічно чистої продукції та прозорості в процесі доставки. Компанії, які надають таку інформацію, залучають нових клієнтів і зберігають лояльність існуючих;

4) покращення репутації корпоративної відповідальності: публічне впровадження зеленої логістики допомагає компаніям зміцнити свою репутацію. Компанії, які ігнорують екологічні вимоги, ризикують втратити конкурентні переваги;

5) легший набір персоналу: на конкурентному ринку праці компанії, які впроваджують зелені ініціативи, приваблюють молодих спеціалістів, для яких важливі екологічні цінності.

Головними перешкодами, що гальмують розвиток зеленої логістики в Україні, є:

- пріоритетність економічної доцільності перед екологічними пріоритетами;
- неефективність системи державного управління у сфері охорони довкілля;
- недостатнє дотримання природоохоронного законодавства та екологічних прав і обов'язків фірм та компаній;
- недостатній контроль за дотриманням природоохоронного законодавства та відсутність необхідних механізмів відповідальності за його порушення;
- відсутність чіткого плану впровадження зеленої логістики у компаніях;
- недостатня мотивація для впровадження зеленої логістики;
- відсутність прямих зв'язків між ланцюгами постачання та екологічними показниками.

Безсумнівно, майбутнє зеленої логістики безпосередньо пов'язане з автоматизацією ланцюга постачання, що стало помітною тенденцією останніх років.

Зелена логістика, ймовірно, продовжить свій розвиток завдяки впровадженню штучного інтелекту, цифровізації даних та роботизації. Усі автоматизовані технології сприяють екологічній логістиці, зменшуючи залежність від забруднюючих джерел енергії.

Зелена логістика стає важливим елементом сучасного глобального бізнесу, що вимагає спільних зусиль уряду, бізнесу та громадян для забезпечення сталого майбутнього. В Україні це може стати ключовим фактором у досягненні екологічної стійкості та економічного зростання.

Екологічні стандарти та правила утворюють бар'єри для введення шкідливих речовин на споживчий ринок. Це змушує логістичних провайдерів нести витрати на технічне забезпечення інновацій у сфері зеленої логістики, як з професійних, так і з економічних міркувань. Розробка екологічно чистих механізмів ринкового функціонування, підтримана державою шляхом фінансової підтримки та субсидування інновацій, може суттєво сприяти розвитку зеленої логістики в Україні.

Викладене свідчить, наявність нерозв'язаної проблеми забезпечення вимог міжнародної програми Green Logistics під час експлуатації суден морського транспорту.

Розвиток зеленої логістики є важливим елементом сучасних логістичних систем в умовах зростаючих екологічних викликів. Основні проблеми впровадження зеленої логістики пов'язані з високими інвестиційними витратами, недостатньою інфраструктурою та обмеженими державними стимулюючими програмами. Незважаючи на ці виклики, перехід до екологічно безпечних логістичних рішень стає необхідністю для судноплавних компаній, що прагнуть відповідати вимогам сталого розвитку.

Перспективи розвитку зеленої логістики полягають у впровадженні новітніх технологій, таких як енергоефективні транспортні засоби, цифрові системи управління ланцюгами постачання та мінімізація часу знаходження морських суден під час очікування та проведення вантажних операцій. Також важливою є активна підтримка з боку держави та міжнародних організацій у вигляді фінансових стимулів і регуляторної підтримки, що може значно прискорити перехід до екологічно чистих логістичних процесів.

Отже, зелена логістика має потенціал стати невід'ємною частиною сталого розвитку економіки, а її впровадження дозволить зменшити негативний вплив на довкілля та підвищити ефективність процесів транспортування вантажів водними шляхами. Успішна інтеграція зеленої логістики сприятиме не лише екологічній стабільності, але й економічній вигоді для судноплавних компаній, що дозволить зберегти їх конкурентоспроможність у довгостроковій перспективі.

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. – Vol. 12(8). – P. 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 // Суднові енергетичні устано-

вки : науково-технічний збірник. – 2022. – Вип. 45. – Одеса : НУ «ОМА». – С. 5-16. doi: 10.31653/smf45.2022.5-16.

3. Сагін С.В., Сагін С.С. Визначення методу управління рухом суден морського транспорту під час забезпечення їх безпечного розходження // Водний транспорт. – 2023. – № 2(38). – 187-197. doi.org/10.33298/2226-8553.2023.2.38.19.

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

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

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

7. Zabloysky Yu.V., Sagin S.V. Maintaining Boundary and Hydrodynamic Lubrication Modes in Operating High-pressure Fuel Injection Pumps of Marine Diesel Engines // Indian Journal of Science and Technology. – 2016. – Vol 9(20). – P. 208-216. DOI: 10.17485/ijst/2016/v9i20/94490.

8. Сагін С.В., Столярик Т.О. Динаміка судових дизелів під час використання моторних мастил з різними структурними характеристиками // Автоматизація судових технічних засобів : наук. -техн. зб. – 2021. – Вип. 27. – С. 108-119. DOI: 10.31653/1819-3293-2021-1-27-108-119.

Константинов О.І.¹, Александровська Н.І.², Глек Я.О.², Хлієва О.Я.¹

¹Національний університет «Одеська морська академія»

²Одеський національний морський університет

Енергетична ефективність суднової ORC-установки потужністю 300 кВт при утилізації теплоти охолодження двигуна Wärtsilä 12V46F

Декарбонізація морського транспорту є одним із ключових напрямів розвитку сучасного суднобудування. Велика частина скидної теплоти, яка виділяється під час роботи судових дизельних двигунів, не використовується для корисної роботи. Одним із перспективних напрямів підвищення ефективності використання цієї енергії є застосування систем утилізації низькопотенційної теплоти на основі органічного циклу Ренкіна (ОЦР), які дозволяють перетворювати теплоту охолодження двигуна на електричну енергію. У зв'язку з цим актуальним є аналіз енергетичних характеристик судових ОЦР-установок з урахуванням реальних режимів роботи головного двигуна та умов експлуатації судна.

Для аналізу перспектив встановлення та експлуатації системи на основі ОЦР, яка утилізує теплоту охолодження двигуна Wärtsilä 12V46F (14400 кВт), доцільно прив'язатися к конкретній системі з певною номінальною вихідною електричною потужністю. Така прив'язка важлива для практичного їх впровадження, тому що більшість теоретичних дослідження, які стосуються аналізу судових систем на основі ОЦР, не мають такої прив'язки та як вихідні данні показують широкий інтервал теоретичних вихідних потужностей, які неможливо реалізувати на практиці при встановленні з двигуном однієї, або навіть двох систем на основі ОЦР. Як систему прототип було обрано модуль Climeon HeatPower 300 Marine.

Climeon HeatPower 300 Marine позиціонується виробником як морський модуль утилізації низькопотенційного тепла на базі органічного циклу Ренкіна, призначений для генерації електроенергії з низькотемпературних джерел тепла суднової енергетичної установки. Виробник заявляє [1], що для морської версії модуля наведено діапазон чистої електричної потужності 50–355 кВт.

Для аналізу енергетичної ефективності даного модуля на основі ОЦР були прийняті наступні вхідні данні: чиста електрична потужність (net power output) – 300 кВт, джерело теплоти – вода охолодження двигуна з температурою на вході 94 °С, робоче тіло – пентан, цикл регенеративний. Методика розрахунку, кількість теплоти, що відводиться з водою від двигуна та деякі додаткові данні наведені у попередніх роботах авторів [2, 3]. Термодинамічні властивості робочого тіла прийняті за [4].

Аналіз енергетичних характеристик роботи установки-прототипу виконувався для інтервала навантажень на двигун від 0.2 до 1,0 MCR та зміні температури заборотної води від 2 до 30 °С. При аналізі враховувалася зміна ізоентропного ККД турбіни в залежності від зміни масової витрати робочого тіла (пентану) у контурі, а також обмеження на вихідну електричну потужність

установки-прототипу (300 кВт). Проведений аналіз дозволить у подальшому оцінити доцільність застосування установки-прототипу на основі ОЦР на різних типах суден в залежності від режиму роботи головного двигуна та кліматичних умов експлуатації судна.

На рис. 1 наведено залежність вихідної електричної потужності установки-прототипу на основі ОЦР від навантаження на двигун та температури заборотної води. На рис. 1 можна умовно виділити дві області:

- область, де установка працює за своєю номінальною вихідною потужністю (режим обмеження номінальною потужністю установки на основі ОЦР) – плато на рис. 1 для навантажень 1,0-0,8 MCR та частково для 0,6-0,7 MCR;

- область, де установка працює з вихідною потужністю менше номінальної та ефективність її роботи визначається термодинамічною ефективністю циклу, внутрішнім ККД турбіни та кількістю підведеної у цикл теплоти (та, відповідно до цього, масовою витратою робочого тіла у циклі) – область під плато на рис. 1.

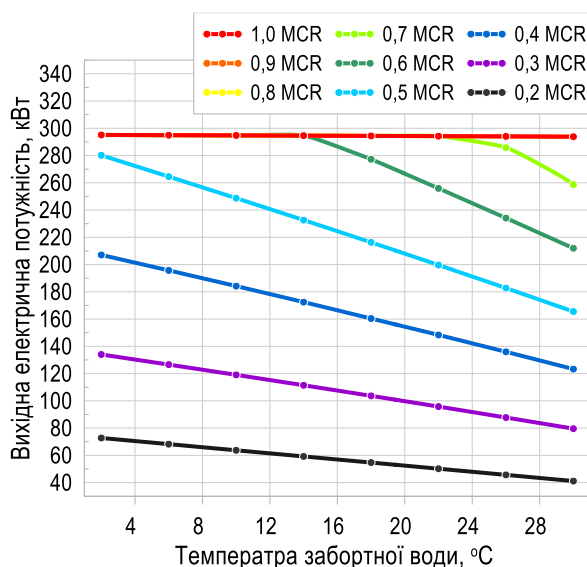


Рисунок 1. Залежність вихідної електричної потужності установки-прототипу (300 кВт) від температури заборотної води та навантаження на двигун Wärtsilä 12V46F

При режимах роботи на великих навантаженнях та низьких температурах заборотної води потенціальна вихідна електрична потужність вище, ніж номінальна потужність установки-прототипу. Тому робота установки прототипу регулюється таким чином, щоб турбіна видавала потужність не вище 300 кВт, зменшуючи подачу робочого тіла на неї – рис. 2. Зміна витрати робочого тіла як при режимі роботи з номінальною вихідною електричною потужністю призводить к падінню внутрішнього (ізоентропного) ККД турбіни – рис. 3, що призводить к падінню ККД дійсного ОЦР. Причому в цьому випадку (робота при номінальній вихідній потужності) зменшення витрати робочого тіла пояснюється переважно збільшення ступеня розширення робочого тіла у турбіні зі зменшенням температури заборотної води. Кількість підведеної теплоти не визначає вихідну потужність установки через обмеження номінальної потужності турбіни.

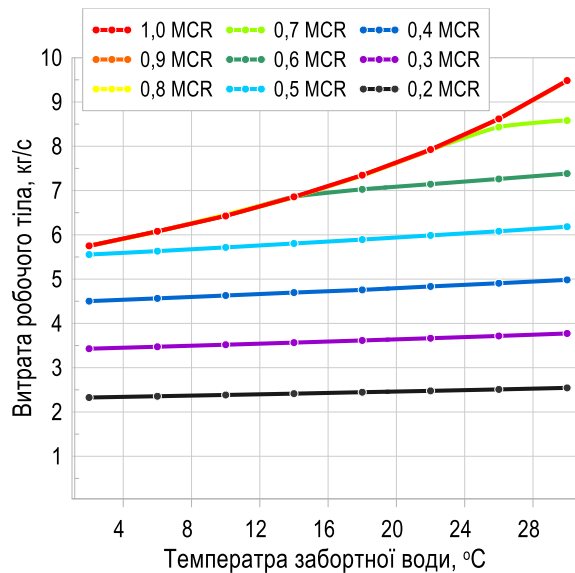


Рисунок 2. Залежність масової витрати робочого тіла, що подається на турбіну установки-прототипу (300 кВт) від температури забортної води та навантаження на двигун Wärtsilä 12V46F

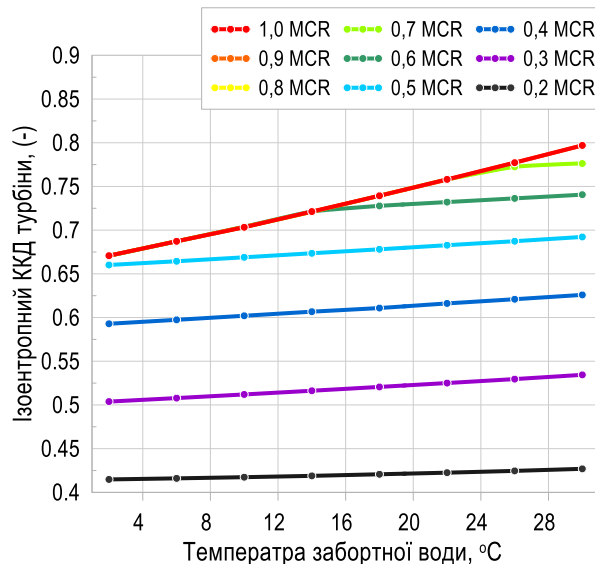


Рисунок 3. Залежність внутрішнього (ізоентропного) ККД турбіни у складі установки-прототипу (300 кВт) від температури забортної води та навантаження на двигун Wärtsilä 12V46F

Для випадку роботи установки при вихідній потужності нижче номіналу, масова витрата робочого тіла у контурі системи вже не так суттєво залежить від збільшення температури забортної води (зменшення роботи турбіни), а більше значення на витрату вже оказує зменшення навантаження двигуна (зменшення підведення теплоти у контур) – рис. 2.

Загальний висновок, який можна зробити полягає у тому, що установка-прототип на основі ОЦР з номінальною потужністю 300 кВт, яка працює для утилізації теплоти чотиритактного головного двигуна Wärtsilä 12V46F працює у номінальному режимі (у режимі обмеження теоретичної електричної вихідної потужності) при високих навантаженнях (1,0-0,8 MCR) у всьому проаналізованому інтервалі температур забортної води (2-30 °C), у режимі менше номіналу при навантаженнях 0,7-0,6 MCR та низькій температурі забортної

води, та у режимі менше номіналу при навантаженнях 0,5-0,2 MCR у всьому інтервалі температур заборотної води.

Отримані результати можуть бути використані при обґрунтуванні доцільності застосування ОЦР-установок різної номінальної потужності для суден з різними профілями експлуатації.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Climeon AB. HeatPower 300 Marine. <https://climeon.com/heatpower-300-marine/>

2. Хлієва О.Я., Константинов О. І. Аналіз раціональної конфігурації термодинамічного циклу Ренкіна та його ефективності при використанні різних «органічних» робочих тіл для рекуперації теплоти води охолодження двигуна Wärtsilä 12V46F. Судові енергетичні установки. 2025. Вип. 50. С. 141-155.

3. Хлієва О.Я., Константинов О. І. Енергетична ефективність суднової установки на основі органічного циклу Ренкіна для рекуперації теплоти води охолодження двигуна Wärtsilä 12V46F. Судові енергетичні установки. 2024. Вип. 49. С. 137-151.

4. Lemmon E. W., Bell I. H., Huber M. L., McLinden M. O. NIST Standard Reference Database 23: Reference Fluid Thermodynamic and Transport Properties-REFPROP, Version 10.0. NIST, Standard Reference Data Program, Gaithersburg, 2018.

Дунайський інститут Національного університету Одеська морська академія

Використання імітаційного статистичного аналізу даних під час діагностування технічного стану дизелів суден морського транспорту

В даний час актуальним науково-прикладним завданням в сфері управління життєвим циклом суден морського транспорту є перехід від концепції «реагувати та виправляти» до більш ефективної концепції – «прогнозувати та попереджати». Одним із способів діагностики надійності суден морського транспорту, їх енергетичних установок, допоміжного та навігаційного обладнання є методи статистичного аналізу вимірюваних експлуатаційних характеристик, енергетичних показників та технологічних параметрів [1, 2].

Класичні підходи до визначення показників надійності техніки у вигляді, наприклад, оцінки ймовірності безвідмовної роботи пов'язані з аналізом групи обладнання однакового призначення, що функціонує протягом деякого інтервалу часу з реєстрації випадкової величини часу до їх відмови. В даний час статистична концепція процесів, що лежить в основі теорії надійності техніки, зустрічає труднощі експериментальної перевірки для складної та наукомісткої продукції суднобудування, що виготовляється порівняно невеликою кількістю унікальних зразків техніки, тоді як термін їх життя становить десятки років. Для практичного підтвердження високих вимог до надійності суден морського транспорту та їх енергетичних установок надто мала серійність їхнього виробництва. Як правило, для морських суден – це не більше 10...15 однотипних одиниць одного проекту, для енергетичного обладнання – до 50 повністю однотипних теплових двигунів, які встановлюються на морських суднах різного класу, різної водотоннажності та різного району плавання. Крім того, аналіз життєвого циклу відбувається за великий інтервал часу спостережень та вимірювань. Наслідком цих обставин є недостатня статистична вибірка несприятливих подій відмов морської техніки щодо проведення якісного статистичного узагальнення її показників надійності у режимі реального часу [3, 4].

Дорогі натурні стенди та прискорені випробування практично ніколи не можуть створити умови технічної експлуатації адекватні реальним, одночасно з цим статистична вибірка таких експериментів не завжди переконлива для повного та точного діагностування характеристик надійності (безвідмовності, довговічності, збереження та ремонтпридатності). Однак економічні та енергетичні потреби суспільства дозволили сформулювати завдання управління надійністю та якістю експлуатації суден морського транспорту з метою зниження вартості та термінів їхнього будівництва, комплектації, сервісного обслуговування, а також своєчасного оновлення енергетичного та навігаційного обладнання в умовах жорсткої конкуренції на світовому ринку продукції суднобудування. Цей напрямок науково-прикладних досліджень пов'язаний із розробкою інформаційно-комунікаційної технології управління життєвим циклом.

В даний час розвиток комп'ютерної техніки та комп'ютерних технологій, засобів вимірювання та обробку даних (у тому числі застосовуваних безпосередньо на судах морського транспорту) забезпечили можливість контролю, діагностики та прогнозування експлуатаційних характеристик енергетичного обладнання безпосередньо на борту судна в реальних умовах плавання без збільшення трудомісткості його обслуговування [5, 6]. Комп'ютерна техніка дозволяє розв'язувати цей клас завдань на базі статистичних модельних досліджень з метою оптимального управління складними об'єктами морської техніки протягом усього життєвого циклу експлуатації суден. Результати статистичного моделювання процесів дозволяють оцінювати ризики (технічні, економічні та екологічні) під час експлуатації суден морського транспорту в реальних умовах та розв'язувати завдання забезпечення прийняттого значення ризиків на основі більш адекватних знань.

Існує два принципово різних підходи до визначення показників надійності – це методи прямих та непрямих вимірів. Прямим виміром показника надійності є визначення випадкового числа однотипних об'єктів, що відмовили в залежності від часу їх роботи до відмови – це виправдано для простих і малофункціональних пристроїв. Відмінною особливістю методів прямого вимірювання показників надійності є те, що чисельна оцінка ймовірності збереження чи втрати працездатності двигунів, обладнання та пристроїв не залежить від їхньої фізичної природи [7, 8].

У випадку непрямого виміру показників надійності технічного об'єкта використовують оцінку ймовірності події збереження чи втрати значень деяких його технологічних параметрів не більше допустимих значень залежно від часу функціонування цього об'єкта. Непрямі виміри використовуються для розв'язання завдань за допомогою систем функціональної діагностики. Тоді умовою втрати надійності буде подія збільшення / зменшення вимірюваних технологічних (діагностичних) параметрів вище / нижче деяких гранично допустимих значень. Показники надійності, отримані непрямим виміром, дають оцінку ймовірності більш масових та різноманітних за фізичною природою несприятливих подій чи повної втрати об'єктом працездатності (наприклад, втрати міцності через перевищення часу експлуатації чи зносу матеріалів). При цьому є можливість розрізняти характеристики надійності різних одиниць однотипного обладнання, формуючи технічний паспорт всієї історії їх життєвого циклу. Ця можливість має перевагу порівняно з традиційним усередненням їх часових показників надійності за множиною однотипних зразків техніки. Тому актуальним є підвищення ефективності системи управління технічною експлуатацією морських суден, їхніх енергетичних установок та їхнього обладнання, зниження термінів та вартості їх сервісного обслуговування на базі розвитку засобів безрозбірної параметричної діагностики та відповідних методів статистичної обробки отриманих даних.

Розглянемо основні припущення та гіпотези у відомих методичних підходах щодо досліджень надійності та якості енергетичного обладнання суден морського транспорту, які стримують вирішення завдань, сформульованих ра-

ніше. Область досліджень, пов'язаних із технічною діагностикою, передбачає розгляд трьох типів завдань:

- завдання діагностування – визначення технічного стану, в якому знаходиться об'єкт у теперішній час [9];
- завдання еволюції (або передісторії) його технічного стану з минулого до теперішнього часу [10];
- завдання прогнозування (з урахуванням результатів розв'язання першого та другого завдань) – передбачення технічного стану, у якому виявиться об'єкт у певний майбутній час [11].

Статистичний опис параметрів технологічних процесів з метою контролю технічного стану та діагностики суднового обладнання характеризується багатоваріантним підходом. При цьому завдання прогнозування зводиться до визначення ймовірності невиходу / виходу прогнозованого процесу за встановлені межі, коли відомі функції розподілу випадкової величини діагностичного показника $\xi(t)$, якій змінюється у моменти часу t_i ($i=1, 2, 3, \dots, n; t_i \in T_1$). Однак на практиці закони розподілу ймовірностей випадкової величини діагностичних показників $\xi(t)$, як правило, невідомі до їх вимірів та відповідної статистичної обробки емпіричних даних. Для складної наукомісткої морської техніки розв'язання цього науково-практичного завдання залишається в даний час актуальним та комерційно доцільним. Під час ймовірнісного прогнозування використовуються методи екстраполяції на основі рівнянь регресії для визначення величини прогнозованої змінної у вигляді математичного очікування $m_\xi(t)$ у моменти часу t_j ($j=n+1, n+2, \dots, n+m; t_j \in T_2$).

Математична статистика поділяє випадкові процеси на стаціонарні та нестаціонарні типи. Випадковий процес називається стаціонарним, якщо всі статистичні та змішані моменти інваріантні (незалежні) у часі. У той же час нестаціонарний випадковий процес відрізняється наявністю лінійного тренду або більш складної форми. Основними статистичними характеристиками, що мають велике значення для опису окремих реалізацій стаціонарних випадкових процесів, є наступні параметри: середнє вибіркоче значення та дисперсія, щільність ймовірності розподілу значень випадкової величини, функція коваріації, функція спектральної щільності потужності стаціонарної реалізації. На коротких інтервалах часу, коли вибірка часового ряду випадкової величини незначна і тренд може бути виявлений, процес може вважатися локально стаціонарним.

В цілому реальні фізичні процеси, що перебігають у складних судових системах протягом усього терміну експлуатації морського судна, завжди мають повільні нестаціонарні зміни внаслідок нестабільності зовнішніх умов експлуатації суден і внутрішніх умов навантаження обладнання, впливу агресивних робочих середовищ, вібрації, поступовому збільшенню ресурсу матеріалів і інше. Цей вид нестаціонарних процесів характеризується тим, що не надто сильно перевершує час кореляції. Проте в даний час під час розв'язання практичних завдань теорії надійності діє основне припущення у вигляді гіпотези постійної інтенсивності відмов обладнання. Це припущення дає змогу за-

стосувати математичний апарат Марківських випадкових процесів. На жаль, привабливість зазначеної гіпотези пов'язана з перевагами чисельного рішення лише простих інженерних завдань. Але, по суті, при таких припущеннях ігнорується можливість урахування накопичення «збитку» в системі через процеси поступового збільшення та досягнення регламентованого ресурсу експлуатації вузлів та матеріалів, погіршення їх експлуатаційних характеристик, зносу кінематичних сполучень у механізмах та подібних явищ, що існують для завдання опису нестационарних випадкових процесів у характеристиках надійності та втрати якості суднового обладнання.

Водночас, система моніторингу технічного стану суднового обладнання повинна передбачати розв'язання наступних завдань: фіксування вимірних значень діагностичних параметрів, аналіз тенденцій їх змін, прогноз технічного стану об'єкта контролю. Прогноз стану виконується з урахуванням передісторії зміни діагностичних параметрів із достатнім числом їх вимірів. Ця вимога не завжди виконується в повному обсязі, хоч і зроблено значні кроки у галузі розробки та впровадження засобів діагностики у морську практику. Досі існують лише поодинокі ефективні методи статистичного аналізу технічного стану суднового обладнання, еволюції його в часі та прогнозування небезпечних тенденцій його погіршення.

Статистичний аналіз складного обладнання з метою прогнозування його технічного стану значною мірою стримується складністю опису реальних фізичних явищ, що характеризуються як випадкові нестационарні процеси. У багатьох випадках у класі нестационарних випадкових процесів, що відповідають реальним фізичним явищам, можна виділити особливі категорії нестационарності, що полегшує завдання їх вимірювання та аналізу. Наприклад, деякі явища випадкового характеру можуть бути описані випадковим нестационарним процесом $\{y(t)\}$, кожна вибіркова функція якого має вигляд

$$y(t)=A(t)\cdot x(t);$$

де $x(t)$ – вибіркова функція стаціонарного випадкового процесу $\{x(t)\}$;

$A(t)$ – детермінований множник. Іншими словами, такий процес відноситься до нестационарних випадкових процесів, вибіркові функції яких мають детермінований тренд.

Якщо нестационарний процес відповідає конкретній моделі такого типу (що вимагатиме статистичного підтвердження допустимості подібних гіпотез) тоді для його опису немає необхідності проводити осереднення по всьому ансамблю. При цьому достатньо проводити осереднення по кожній вибірці на рівних інтервалах часу (наприклад, через кожні 100 год виробленого технічного ресурсу агрегату) та визначати лінійну швидкість зміни детермінованого множника або деякої їх сукупності.

На рис. 1 представлено ілюстрацію нестационарного методичного підходу до розв'язання такого завдання на прикладі можливої зміни експлуатаційних характеристик (градієнта швидкості зміни загального лужного числа та швидкості зміни вмісту механічних домішок) моторного мастила системи мащення

суднового дизеля враховуючи ймовірність їх потрапляння в область нормальних та неприпустимих значень

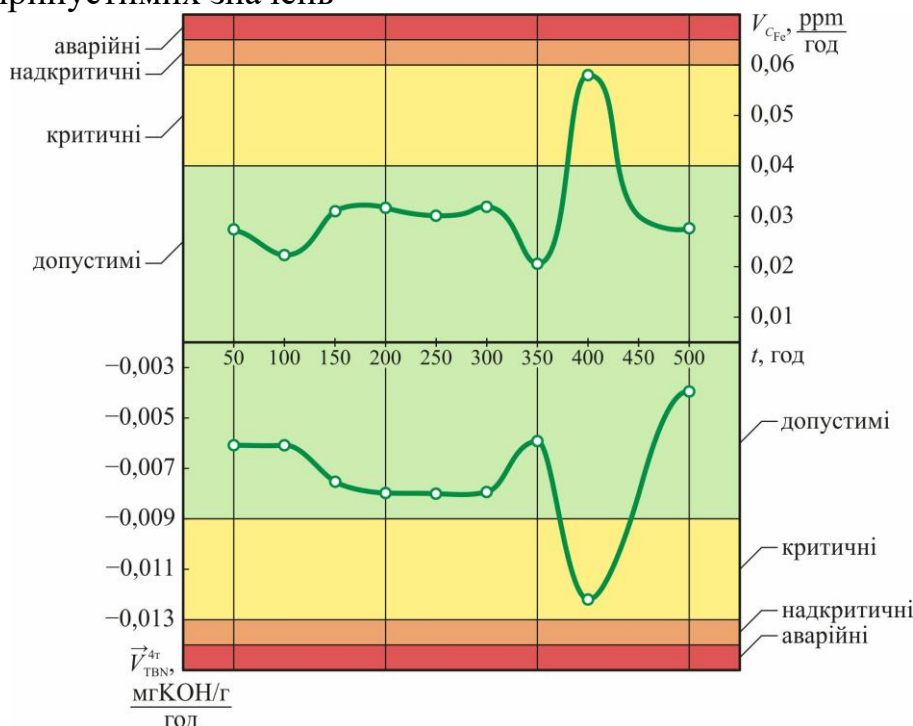


Рис. 1. Приклад статистичного опису процесів зміни експлуатаційних характеристик моторного масла в дискретних інтервалах часу

Графічні залежності, наведені на рис. 1, побудовані за експериментальними даними. При цьому область допустимих значень контрольованих параметрів розподілена в інтервалі від мінімального до максимального значення, а також виділені області контрольованих відхилень параметрів, що відповідають критичним, надкритичним та аварійним значенням.

Розрізнятимемо небажані зміни поточних параметрів технологічних процесів та відповідні зміни загального стану обладнання за очікуваним обсягом та трудомісткістю наступних ремонтно-відновлювальних робіт. Тут формальною ознакою ступеня небезпеки пошкодження обладнання є такі події, що мають випадковий час їхнього наступу:

- критичне, який вимагатиме проведення робіт мінімальної трудомісткості (без розбирання, без технологічної обробки чи заміни деталей дизеля) або лише зміни режиму його експлуатації;
- надкритичне, яке вимагатиме проведення відновлювальних робіт з частковим розбиранням та заміною деталей дизеля;
- аварійне, яке потребуватиме заміни однієї чи кількох деталей дизеля та виконання великого обсягу ремонтно-відновлювальних робіт.

У процесі тривалого експлуатаційного етапу життєвого циклу морської техніки змінюється і математичне очікування, і дисперсія випадкової величини контрольованого технологічного параметра судна, двигуна, устаткування чи суднової конструкції. Крім того, існує можливість регресійного опису зміни в часі не тільки математичного очікування та середньоквадратичного відхилення, а й максимального та мінімального значень цієї випадкової величини з

урахуванням допустимої похибки для реєстрації їх значень. Кожна із зазначених робіт може бути описана інтенсивністю відновлення, які разом із інтенсивністю зносу впливатимуть на коефіцієнт готовності обладнання. При цьому статистичний аналіз розуміється як процедури обчислення інтервальних значень очікуваних моментів часу, коли обладнання переходить із нормального стану до зазначених раніше небажаних станів.

Статистичний аналіз технологічних процесів за даними вимірюваних параметрів має включати низку обчислювальних процедур. Як правило, зміна технологічних характеристик судна є досить складним процесом, для прогнозу їх зміни використовується імовірнісний підхід. Устаткування, надійність якого контролюється технологічними та діагностичними інструментальними засобами, пропонується описувати статистичною моделлю зміни зазначених характеристик у процесі експлуатації судна. Слід зазначити, що форма представлення великих обсягів статистичної інформації у вигляді поточних значень параметрів усієї генеральної сукупності даних, що вимірюються, є недостатньо компактною і зручною для її зберігання. В цьому випадку доцільно їх зберігати у вигляді чисельних значень функцій розподілу (через кожні 50...100 год), а також у вигляді середніх вибірових величин, середньоквадратичних відхилень, чисельних значень експесів і коефіцієнтів асиметрії та мінімальних і максимальних значень. Кожен набір цих середніх статистичних значень може бути описаний кусково-лінійними рівняннями регресії функції часу. Ці фактичні дані повинні відображати всю передісторію розвитку технологічних процесів до поточного часу.

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. – Vol. 12(8). – P. 1440. <https://doi.org/10.3390/jmse12081440>.
2. Sagin S., Haichenia O., Karianskyi S., Kuropyatnyk O., Razinkin R., Sagin A., Volkov O. Improving Green Shipping by Using Alternative Fuels in Ship Diesel Engines // *Journal of Marine Science and Engineering*. – 2025. – № 13. – P. 589. <https://doi.org/10.3390/jmse1303058924>.
3. Чимшир В.І., Разінкін Р.О. Аналіз показників системи діагностування моторного мастила суднових довгоходових дизелів // *Суднові енергетичні установки: науково-технічний збірник*. – 2025. – Вип. 51. – С. 94-106. DOI: 10.31653/51.2025.94-106.
4. Разінкін Р.О. Забезпечення ресурсозберігаючої експлуатації суднових дизелів шляхом діагностування моторного мастила // *Водний транспорт. Збірник наукових праць*. – 2025. – Вип. 3(44). – С. 241-255. doi.org/10.33298/2226-8553.2025.3.43.24.
5. Sagin S., Kuropyatnyk O., Tkachenko I. Ensuring the environmental friendliness of marine diesel engines of specialized ships // *Суднові енергетичні установ-*

ки : науково-технічний збірник. – 2022. – Вип. 45. – Одеса : НУ «ОМА». – С. 5-16. doi: 10.31653/smf45.2022.5-16.

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

7. Zabloysky Yu.V., Sagin S.V. Maintaining Boundary and Hydrodynamic Lubrication Modes in Operating High-pressure Fuel Injection Pumps of Marine Diesel Engines // Indian Journal of Science and Technology. – 2016. – Vol 9(20). – P. 208-216. DOI: 10.17485/ijst/2016/v9i20/94490.

8. Сагін С.В., Столярик Т.О. Динаміка суднових дизелів під час використання моторних мастил з різними структурними характеристиками // Автоматизація суднових технічних засобів : наук. -техн. зб. – 2021. – Вип. 27. – С. 108-119. DOI: 10.31653/1819-3293-2021-1-27-108-119.

9. Сагін С.В., Мадей В.В., Сагін С.С., Чимшир В.І., Разінкін Р.О. Аналіз екологічної стійкості та енергетичної ефективності використання скрубберного очищення випускних газів дизелів суден морського транспорту // Суднові енергетичні установки: науково-технічний збірник. – 2023. – Вип. 47. – С. 157-171. doi: 10.31653/smf47.2023.157-171.

10. Сагін С.В., Куропятник О.А., Разінкін Р.О. Визначення впливу системи рециркуляції випускних газів на експлуатаційні показники роботи суднового малообертового дизеля // Суднові енергетичні установки: науково-технічний збірник. – 2024. – Вип. 49. – С. 124-136. doi: DOI: 10.31653/smf49.2024.124-136.

11. Разінкін Р.О. Діагностування технічного стану суднових дизелів за аналізом моторної оливи // Розвиток транспорту. – 2025. – Вип. 4(27). – С. 82-93. <https://doi.org/10.33082/td.2025.4-27.06>.

Сагін С.В., Куропятник О.А.
Національний університет «Одеська морська академія»

Забезпечення вимог MARPOL щодо емісії оксидів сірки шляхом використання палива, яке складають гідровані рослинні мастила

Забезпечення екологічності суден морського та внутрішнього водного транспорту є актуальним завданням, на розв'язання якого спрямовані дослідження науковців та технічні рекомендації фірм-виробників суднових дизелів. Головною метою цих досліджень та рекомендацій є зменшення забруднення водного та повітряного середовища під час експлуатації суднових енергетичних установок та систем, що забезпечують їх функціонування [1, 2]. Самим розповсюдженим типом теплових двигунів, що входять до складу суднових енергетичних установок є двигуні внутрішнього згорання (дизелі), які в порівнянні з іншими тепловими двигунами – паровими чи газовими турбінами – характеризуються більшим ефективним коефіцієнтом корисної дії та меншою питомою витратою палива. Саме ці обстави гарантують домінуюче розповсюдження дизелів на судах морського та внутрішнього водного транспорту та їх використання як головних та допоміжних двигунів.

Отримання ефективної потужності в судових дизелях неможливо без використання палива, кінцевим продуктом життєвого циклу якого є випускні гази, що потрапляють у довкілля та сприяють його забрудненню. Найбільш небезпечними речовинами, що входять до складу випускних газів суднових дизелів та негативно впливають на екологічність морських суден, є оксиди азоту NO_x та сірки SO_x . Саме зі зниженням емісії цих складових пов'язане завдання з підвищення екологічності роботи суден морського та внутрішнього водного транспорту [3, 4].

Відповідно до вимог Annex VI MARPOL рівень емісії оксидів сірки SO_x з випускними газами суднових дизелів регламентується вмістом сірки в паливі. Особлива увага щодо емісії оксидів сірки приділяється під час знаходження суден морського та внутрішнього водного транспорту у районах спеціального екологічного контролю – Sulphur emission control area (SECAs). Під час експлуатації суден всередині SECAs максимальний вміст сірки в паливі не повинен перевищувати 0,1 % за масою, в разі експлуатації поза SECAs дозволяється використання палива, вміст сірки у якому не перевищує 0,5 %. Екологічність роботи морських суден щодо емісії оксидів сірки також визначається відношенням $\left(\frac{\text{SO}_2}{\text{CO}_2}\right)$, значення якого повинно відповідати вмісту сірки у судовому паливі. Під час знаходження судна всередині SECAs значення відношення $\left(\frac{\text{SO}_2}{\text{CO}_2}\right)$ не повинно перевищувати 4,3 ppm/%, у випадку експлуатації судна поза SECAs – бути не більш за 21,7 ppm/%.

Саме під час знаходження морського судна в цих акваторіях проводився комплекс досліджень з визначення можливості керування емісією оксидів сірки шляхом використання палива біологічного походження, яке складають гідровані рослинні мастила.

Зменшення емісії оксидів сірки SO_x з випускними газами судових дизелів досягається двома основними шляхами – через використання спеціальних систем очищення випускних газів та через забезпечення роботи судових дизелів на паливі, вміст сірки в якому не перевищує 0,1 % сірки за масою.

Під час використання спеціальних систем очищення (найбільш розповсюдженими з яких є скрубери відкритого чи закритого типу) до потоку випускних газів подає прісна чи забортна (морська) вода, в якій розчинені спеціальні хімічні речовини. В зв'язку з реакцією цих речовин (як правило сильних неорганічних основ NaOH або KOH) та з'єднань, що містять сірку (у більшості випадків сірчистої кислоти H_2SO_3 та сірчаної кислоти H_2SO_4) утворюються сольові розчини які додатково розбавляються морською водою та видаляються за борт. При цьому вміст оксидів сірки SO_x у випускних газів суттєво знижується. Це дозволяє використовувати технології скрубєрного очищення в разі експлуатації судових дизелів на паливі, вміст сірки в якому може досягати 3,5 % за масою. Встановлення скрубєрних систем очищення вимагає початкових фінансових витрат на їх встановлення. Ще одним негативним фактором цих систем є збільшення аеродинамічного опору в газопускній системі дизелі. При цьому скрубєрні системи дозволяють використання палива зі вмістом сірки до 3,5 % за масою, які мають нижчу вартість [5, 6].

Під час використання палива, вміст сірки в якому не перебільшує 0,1 % за масою судовий дизель та його паливна система заздалегідь переводяться на експлуатаційні режими, що забезпечують ці умови [7, 8]. Тривалість цього переведення може досягати кількох годин та залежить від потужності дизелів та кількості палива з підвищеним вмістом сірки в паливній системі. У більшості випадків як такі палива використовуються палива нафтового походження категорії Low-sulfur fuel (зі вмістом сірки 0,08...0,1 % за масою), або Ultra-low-sulfur fuel (зі вмістом сірки до 0,05 % за масою). Основним недоліком використання подібних палив є їх більш висока вартість в порівнянні з паливом, вміст сірки в якому знаходиться в межах 0,5 %, та особливо з паливом зі вмістом сірки біля 3,5 % (використання якого можливо під час встановленні на дизелях скрубєрних систем очищення).

Дослідження виконувались на спеціалізованому морському судні класу Container Ship, призначеному для транспортування 8480 TEU. Судно здійснювало навігаційні переходи як всередині SECAs, також поза цих районів. До складу допоміжної енергетичної установки якого входили чотири судових середньооберткових дизеля Wartsila 6L32. Під час проведення експериментів судові дизелі Wartsila 6L32 експлуатувались на паливах нафтового походження DMA20 (у випадку знаходження судна всередині SECAs) та RMG350 (у випадку знаходження судна поза SECAs). Ці палива використовувались як основні. Як альтернативне паливо (визначення впливу якого на емісію оксидів сірки були присвячені дослідження) використовувалось паливо HVO – Ну-

drotreated Vegetable Oil, що відноситься до класу палива біологічного походження, яке складають гідровані рослинні мастила. Основні характеристики палив наведені у таблиці 1.

Таблиця 1. Характеристики моторних палив

Характеристика	Марка палива		
	DMA20	RMG350	HVO
Густина при 20°C, кг/м ³	874	912	918
В'язкість при 40°C, мм ² /с	10,7	342	322
Вміст сірки, %	0,084	0,42	0,018
Нижча теплотворна здатність, кДж/кг	42630	41110	44370

Експлуатація одного з дизелів виконувалась або на паливі нафтового походження – DMA20 чи RMG350, експлуатація трьох інших – на суміші цих палив з паливом HVO, при цьому вміст палива HVO у паливній суміші складав 10 %, 20 % та 30 % для різних дизелів. Саме на цих дизелях виконувались експериментальні дослідження з визначення ефективності використання палива біологічного походження HVO.

Як показник, за яким оцінювався вплив палива HVO на екологічність роботи морського судна, обиралось відношення $\left(\frac{SO_2}{CO_2}\right)$. Результати досліджень наведені у таблицях 2, 3 та подані на рис. 1.

Таблиця 2. Відношення $\left(\frac{SO_2}{CO_2}\right)$, ppm/%v, під час різних умов експлуатації суднових дизелів

Wartsila 6L32 та знаходження судна поза SECAs

Навантаження, %	Вид палива			
	RMG350 (100 %)	RMG350 (90 %) + HVO (10 %)	RMG350 (80 %) + HVO (20 %)	RMG350 (70 %) + HVO (30 %)
50	17,83	17,04	16,12	14,38
60	18,24	17,28	16,43	14,56
70	18,82	17,56	16,84	14,72
80	19,67	17,93	17,16	15,03

Таблиця 3. Відношення $\left(\frac{SO_2}{CO_2}\right)$, ppm/%v, під час різних умов експлуатації суднових дизелів

Wartsila 6L32 та знаходження судна всередині SECAs

Навантаження, %	Вид палива			
	DMA20 (100 %)	DMA20 (90 %) + HVO (10 %)	DMA20 (80 %) + HVO (20 %)	DMA20 (70 %) + HVO (30 %)
50	3,48	3,17	2,95	2,72
60	3,72	3,38	3,12	2,88
70	3,93	3,56	3,28	3,02
80	4,08	3,67	3,32	2,97

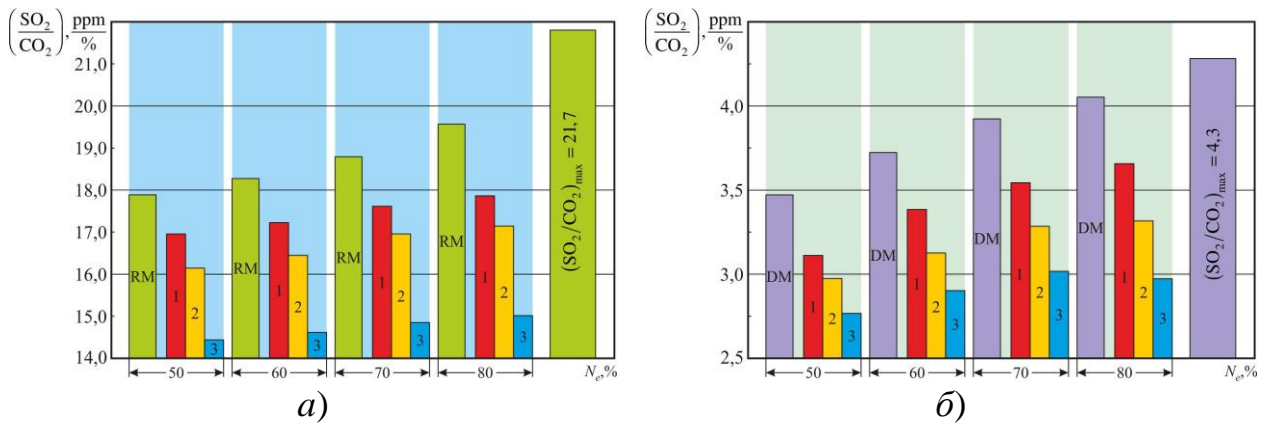


Рис. 1. Відношення $\left(\frac{\text{SO}_2}{\text{CO}_2}\right)$, ppm/%v, під час різних умов експлуатації суднових дизелів

Wartsila 6L32:

a – під час використання палива RMG350 та його суміші с паливом HVO;

б – під час використання палива DMA20 та його суміші с паливом HVO;

RM – паливо RMG350; DM – паливо DMA20; 1, 2, 3 – суміш палива RMG350 (або DMA20) та 10 %, 20 %, 30 % палива HVO відповідно

Відносне зменшення емісії SO_x під час використання палива біологічного походження, яке складають гідровані рослинні мастила розраховується як

$$\Delta\left(\frac{\text{SO}_2}{\text{CO}_2}\right) = \frac{\left(\frac{\text{SO}_2}{\text{CO}_2}\right)_{\text{RMG}} - \left(\frac{\text{SO}_2}{\text{CO}_2}\right)_{\text{HVO}}}{\left(\frac{\text{SO}_2}{\text{CO}_2}\right)_{\text{RMG}}} \cdot 100\%, \text{ або}$$

$$\Delta\left(\frac{\text{SO}_2}{\text{CO}_2}\right) = \frac{\left(\frac{\text{SO}_2}{\text{CO}_2}\right)_{\text{DMA}} - \left(\frac{\text{SO}_2}{\text{CO}_2}\right)_{\text{HVO}}}{\left(\frac{\text{SO}_2}{\text{CO}_2}\right)_{\text{DMA}}} \cdot 100\%;$$

де $\left(\frac{\text{SO}_2}{\text{CO}_2}\right)_{\text{RMG}}$, $\left(\frac{\text{SO}_2}{\text{CO}_2}\right)_{\text{DMA}}$ – значення відношення $\left(\frac{\text{SO}_2}{\text{CO}_2}\right)$ під час використання палива RMG350 або DMA20;

$\left(\frac{\text{SO}_2}{\text{CO}_2}\right)_{\text{HVO}}$ – значення відношення $\left(\frac{\text{SO}_2}{\text{CO}_2}\right)$ під час використання суміші палива RMG350 або DMA20 та HVO [27].

За наведеним виразом з врахуванням значень таблиць 2, 3 отримані величини відносного зменшення емісії SO_x під час використання палива біологічного походження, які узагальнені у таблицях 4, 5.

Таблиця 4. Відносне зменшення емісії SO_x, %, під час різних умов експлуатації суднових дизелів Wartsila 6L32 та знаходження судна поза SECAs

Навантаження, %	Вид палива		
	RMG350 (90 %) + HVO (10 %)	RMG350 (80 %) + HVO (20 %)	RMG350 (70 %) + HVO (30 %)
50	4,43	9,59	19,35
60	5,26	9,92	20,18
70	6,70	10,52	21,79
80	8,85	12,76	23,59

Таблиця 5. Відносне зменшення емісії SO_x, %, під час різних умов експлуатації суднових дизелів Wartsila 6L32 та знаходження судна всередині SECAs

Навантаження, %	Вид палива		
	DMA20 (90 %) + HVO (10 %)	DMA20 (80 %) + HVO (20 %)	DMA20 (70 %) + HVO (30 %)
50	8,91	15,23	21,84
60	9,14	16,13	22,58
70	9,41	16,54	23,16
80	10,05	18,63	27,21

Експериментальними дослідженнями, що виконувались на суднових дизелях Wartsila 6L32 підтвердили можливість забезпечення вимог MARPOL щодо емісії оксидів сірки шляхом використання палива, яке складають гідровані рослинні мастила.

Для паливних сумішей, які складали 70...90 % паливо нафтового походження RMG350 або DMA20 та паливо 30...10 % паливо HVO, в діапазоні експлуатаційних навантажень на дизелі 50...80 % було встановлено зниження емісії оксидів сірки на 4,43...23,59 % під час знаходження судна поза SECAs та на 8,91...27,21 % під час знаходження судна всередині SECAs.

В разі використання лише палива нафтового походження RMG350 або DMA20 екологічна стійкість морських суден за емісією SO_x знаходиться в межах 9,35...17,83 % та 5,12...19,07 % відповідно. Використання паливних сумішей, до складу яких входить паливо біологічного походження HVO, яке складають гідровані рослинні мастила, збільшує екологічну стійкість морських суден за емісією SO_x. Значення цього показнику для різного складу паливної суміші та різного навантаження на дизелі досягає значень 17,37...33,73 % під час знаходження судна поза SECAs та використання палива RMG350, а також 14,65...36,74 % під час знаходження судна всередині SECAs та використання палива DMA20.

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. – Vol. 12(8). – P. 1440. <https://doi.org/10.3390/jmse12081440>.

2. Sagin S., Haichenia O., Karianskyi S., Kuropyatnyk O., Razinkin R., Sagin A., Volkov O. Improving Green Shipping by Using Alternative Fuels in Ship Diesel Engines // *Journal of Marine Science and Engineering*. – 2025. – № 13. – P. 589. <https://doi.org/10.3390/jmse1303058924>.
3. Sagin S., Kuropyatnyk O., Tkachenko I. Ensuring the environmental friendliness of marine diesel engines of specialized ships // *Суднові енергетичні установки : науково-технічний збірник*. – 2022. – Вип. 45. – С. 5-16. doi: 10.31653/smf45.2022.5-16.
4. Сагін С.В., Бондар С.А., Столярик Т.О. Оцінка безвідмовності суднових дизелів за технічним станом моторного мастила циркуляційних систем мащення // *Водний транспорт*. – 2023. – № 1(37). – С. 59-70. doi.org/10.33298/2226-8553.2023.1.37.06.
5. Zabloysky Yu.V., Sagin S.V. Maintaining Boundary and Hydrodynamic Lubrication Modes in Operating High-pressure Fuel Injection Pumps of Marine Diesel Engines // *Indian Journal of Science and Technology*. – 2016. – Vol 9(20). – P. 208-216. DOI: 10.17485/ijst/2016/v9i20/94490.
6. Сагін С.В., Столярик Т.О. Динаміка суднових дизелів під час використання моторних мастил з різними структурними характеристиками // *Автоматизація суднових технічних засобів : наук. -техн. зб.* – 2021. – Вип. 27. – С. 108-119. DOI: 10.31653/1819-3293-2021-1-27-108-119.
7. Сагін С.С., Сагін С.В. Використання штучного інтелекту в ситуаціях надмірного зближення суден // *Водний транспорт. Збірник наукових праць*. – 2024. – Вип. 1(39). – С. 215-225. doi.org/10.33298/2226-8553.2024.1.39.22.
8. Сагін С.В., Куропятник О.А. Визначення оптимальних режимів експлуатації суднових двигунів внутрішнього згоряння під час використання біодизельного палива // *Суднові енергетичні установки : науково-технічний збірник*. – 2024. – Вип. 48. – С. 100-113. doi: 10.31653/smf48.2024.100-113.

Управління фазами впорскування під час тимчасового використання в суднових дизелів палива з низьким вмістом сірки

Експлуатація суднових двигунів внутрішнього згоряння суден морського та внутрішнього водного транспорту повинна виконуватися не лише з підтриманням необхідної потужності та виконанням вимог інструкцій з експлуатації, але також із забезпеченням екологічних показників їх роботи. До основних екологічних показників роботи суднових дизелів належать концентрація оксидів сірки SO_x та оксидів азоту NO_x в випускних газах [1, 2]. Значення обох показників регламентується вимогами Додатка VI MARPOL, при цьому обмеження щодо емісії NO_x (яке відповідає рівням Tier I, II або III) залежить від року побудови дизеля та його номінальної частоти обертання, обмеження викидів SO_x визначається вмістом сірки в паливі [3, 4]. З 01.02.2020 р. на судах морського та внутрішнього водного транспорту заборонено використання морських сортів палива вміст сірки в яких перевищує 0,5 % за масою [5, 6]. Також визначені спеціальні екологічні райони з обмеження викидів оксидів сірки (Sulfur Emission Control Areas – SECAs) в яких дозволяється використовувати паливо з вмістом сірки не більш ніж 0,1 %. Під час роботи в цих районах, або за умовою їх перетинання суднові дизеля (які використовували паливо зі вмістом сірки більш ніж 0,1 %) переводяться на експлуатацію на паливі зі вмістом сірки що не перевищує 0,1 %. Цей перевід виконується поступово, з урахуванням обсягу сірчистого палива в витратній цистерні, вмісту сірки в паливі та експлуатаційної потужності дизеля. Час експлуатації дизеля на паливі з низьким вмістом сірки залежить від швидкісних характеристик судна, гідрометорологічних умов переходу, часу перебування в зоні SECAs та коливається від кількох годин (при знаходженні судна в екологічних районах Північної Європи) до кількох днів (під час руху в каравані суден внутрішніми водними шляхами Китаю).

Одна з проблем, що виникає під час переведення дизелів на паливо з низьким вмістом сірки, полягає в наступному. Зниження вмісту сірки в паливі сприяє зниженню його густини, в'язкості, температури самозаймання та збільшує теплотворну здатність палива (через пропорційне збільшення вмісту в паливі водню та вуглецю) [7, 8]. За однакових умов процесу впорскування, палива, що мають меншу температуру самозаймання та більшу теплотворну здатність, характеризуються більш високою температурою наприкінці згоряння T_z . Це обумовлюється зменшенням кута затримки самозаймання, збільшенням кута випередження початку згоряння та більшою ефективністю процесу згоряння в районі верхньої мертвої точці (ВМТ) [9, 10]. Основні теплофізичні характеристики суднових палив наведені в табл. 1.

Таблиця 1. Основні теплофізичні характеристики суднових палив

Характеристика	RMG500	RMG380	DMA15
Вміст сірки, %	0,5	0,48	0,082
Вміст вуглецю, %	82,1	82,2	83,1
Вміст водню, %	10,3	10,5	10,5
Густина за 15 °С, кг/м ³	993	982	931
В'язкість за 50 °С, мм ² /с	500	380	11,7
Температура спалаху, °С	81	78	73
Температура самозаймання, °С	203	197	112
Теплотворна здатність, кДж/кг	41660	41920	42230

Для визначення механізму, за допомогою якого можливо управління процесом згоряння палива під час переведення роботи дизеля 6S60MC-8.2-ТІІ MAN-Diesel & Turbo на паливо з низьким вмістом сірки проводився такий експеримент.

Після підготовки паливної системи до експлуатації в зоні SECA (а саме, повного витрачання палива RMG500 зі вмістом сірки 0,5 % та заповнення витратних цистерн паливом DMA15 зі вмістом сірки 0,082 %) було виконано переналаштування паливних насосів високого тиску (ПНВТ) шляхом зміни кутів випередження подачі палива [11, 12]. Для циліндрів №№ 1 та 6 значення попередніх кутів випередження (на яких виконувалась експлуатація дизеля на паливі RMG500) залишилось незмінним (-6° повороту колінчатого валу – ПКВ). Для циліндрів №№ 2, 3, 4, 5 встановлювались нові кути випередження -5,5, -4,5, -4,0, -5,0°ПКВ відповідно). Під час дослідження для кожного з циліндрів контролювались максимальний тиск згоряння p_z , тиск наприкінці стиснення p_c , середній індикаторний тиск p_i та температура випускних газів $t_{вг}$. За результатами вимірювання p_i визначалося середнє значення індикаторного тиску по всіх циліндрах дизеля

$$p_i^{cp} = (p_i^1 + p_i^2 + \dots + p_i^6) / 6 ;$$

де $p_i^1, p_i^2, \dots, p_i^6$ – індикаторний тиск по відповідним циліндрам дизеля, МПа; та відносне відхилення індикаторного тиску за окремими циліндрами від його середнього значення за всіх циліндрів

$$\Delta p_i^n = |p_i^n - p_i^{cp}| \cdot 100\% / p_i^{cp} ;$$

де p_i^n – індикаторний тиск в одному з циліндрів, МПа.

Фіксація показників роботи дизеля здійснювалась для навантаження $0,85N_{еном}$ (де $N_{еном}=14280$ кВт – максимальна тривала експлуатаційна потужність). Також в газовипускній магістралі вимірювалась концентрація оксидів азоту в випускних газах. Результати дослідження узагальнені в табл. 2.

Таблиця 2. Результати дослідження

Номер циліндра	Кут випередження подачі палива, $\varphi_{\text{вип.}}$, °ПКВ	Максимальний тиск згоряння, p_z , МПа	Тиск наприкінці стиснення, p_c , МПа	Ступінь підвищення тиску під час згоряння, λ	Середній індикаторний тиск, p_i , МПа	Відносне відхилення індикаторного тиску, Δp_i , МПа	Температура випускних газів, $t_{\text{вг.}}$, °С
1	-6	14,68	12,56	1,169	1,96	-1,28	374
2	-5,5	14,72	12,68	1,161	1,97	-0,76	377
3	-4,5	14,78	12,81	1,154	2,01	1,24	382
4	-4	14,66	12,78	1,147	2,01	1,24	386
5	-5	14,71	12,65	1,163	1,99	0,25	383
6	-6	14,77	12,58	1,174	1,97	-0,76	375

За результатами табл. 3 побудовані номограми (рис. 1), що відображають зміну показників роботи дизеля за різних умов налаштування ПНВТ. Як найбільш інформативні показники, що характеризують перебіг процесу згоряння та використання теплоти, були обрані ступінь підвищення тиску під час згоряння λ та температура випускних газів $t_{\text{вг.}}$. Значення p_i , Δp_i та $t_{\text{вг.}}$ були віднесені до показників, що характеризують рівномірність розподілення навантаження по циліндрах дизеля.

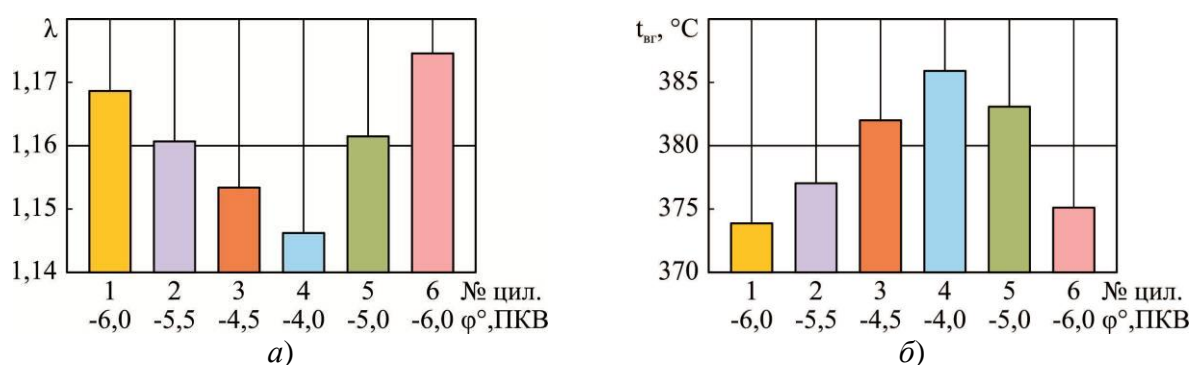


Рис. 1. Зміна ступеню підвищення тиску під час згоряння λ (а) та температура випускних газів $t_{\text{вг.}}$ (б) для різних кутів випередження подачі палива суднового дизелю 6S60MC-8.2-ТП

Неузгодженість показників робочого процесу по циліндрах під час переналаштування ПНВТ на різні для кожного з циліндрів кути випередження подачі палива не перевищувала: $p_z - \pm 0,5\%$; $p_i - \pm 1,3\%$; $p_c - \pm 1,0\%$, $t_{\text{вг.}} - \pm 7^\circ\text{C}$. Дозволена розбіжність в значеннях Δp_i гарантувала ефективність перебігу робочого циклу по всім циліндрам дизеля [13, 14].

Вимірювання концентрація оксидів азоту в випускних газах виконувалося для трьох умов експлуатації дизеля: робота на паливі RMG500, робота на паливі DMA15 з однаковими кутами випередження подачі палива (до переналаштування дизеля), робота на паливі DMA15 з різними кутами випередження подачі палива (після переналаштування дизеля) [15, 16]. При цьому для всіх

випадків дизель експлуатувався на навантаженні $0,85N_{\text{енорм}}$ не менш ніж 2 год. Номограма, що відображає зміну NO_x за цих умов надана на рис. 2.

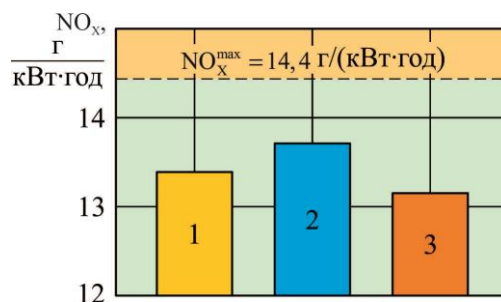


Рис. 2. Концентрація NO_x в випускних газах суднового дизеля 6S60MC-8.2-ТІІ за різних умов експлуатації:

- 1 – робота на паливі RMG500; 2 – робота на паливі DMA15 з однаковими кутами випередження подачі палива для всіх циліндрів;
- 3 – робота на паливі DMA15 з різними кутами випередження подачі палива по циліндрах дизеля (відповідно до табл. 2)

Значення концентрації NO_x в випускних газах на всіх режимах роботи не перевищувало максимально можливої величини, яка для дизелів, що відносяться до рівню Tier II відповідно до вимог Додатку VI МАРПОЛ складає 14,4 г/(кВт·год) [17].

Збільшення концентрації NO_x в випускних газах під час роботи дизеля 6S60MC-8.2-ТІІ з використанням палива DMA15 (з низьким вмістом сірки) свідчить про підвищення пікових температур під час згоряння палива за цих умов. Переналаштування ПНВТ на різні кути випередження та пов'язане з цим зменшення емісії NO_x обумовлюється затримкою займання палива та зниженням максимальної температури згоряння палива.

Результати досліджень, дозволяють зробити наступні висновки.

1. Під час переведення судових дизелів на паливо з низьким вмістом сірки підвищується інтенсивність його згоряння, що виявляється в зростанні максимальної температури згоряння та підвищенні динамічних навантажень на деталі циліндрової групи та кривошипно-шатунного механізму. Це збільшує концентрацію оксидів азоту в випускних газах дизеля та ступінь підвищення тиску під час згоряння. Перше погіршує екологічність роботи дизеля, друге – сприяє підвищенню ударних навантажень на вкладиші підшипників дизеля.

2. Експериментально встановлено, що шляхом корегування кутів випередження палива можливо забезпечення перебігу процесу згоряння з меншою тепловою ефективністю. Для суднового дизеля 6S60MC-8.2-ТІІ переналаштування ПНВТ призводить до зменшення ступеню підвищення тиску під час згоряння зі значень 1,169 ... 1,174 до значень 1,147 ... 1,161 (в залежності від кутів подачі палива), також за цих умов досягається зменшення емісії оксидів азоту з 13,7 г NO_x /(кВт·год) до 13,2 г NO_x /(кВт·год).

3. Під час переналаштування ПНВТ необхідно стежити за енергетичними показниками дизеля (насамперед за індикаторним тиском p_i та його неузгодженістю за окремими циліндрами Δp_i) та його тепловою напруженістю (насамперед за температурою випускних газів для кожного з циліндрів $t_{\text{вг}}$). Під

час проведення досліджень на дизелі 6S60MC-8.2-ТІ відхилення цих показників від середнього значення, визначеного по всім циліндрам, не перевищувала $\pm 1,3\%$ для Δp_i та $\pm 7^\circ$ для $\Delta t_{вг}$.

4. Реалізація контролю показників роботи дизеля під час корегування налаштування його паливної апаратури, а також збереження масивів отриманих даних можливо за допомогою спеціальних програм.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Sagin A.S., Zablotskyi Yu.V. Reliability maintenance of fuel equipment on marine and inland navigation vessels // Austrian Journal of Technical and Natural Sciences. Scientific journal. – 2021. – № 7–8 (July – August). – P. 14-17. <https://doi.org/10.29013/AJT-21-7.8-14-17>.

2. Zablotskyi Yu.V., Sagin A.S. Applying of fuel additives in marine diesel engines // Суднові енергетичні установки: науково-технічний збірник. Вип. 43. – Одеса: НУ «ОМА». – 2021. – С. 5 – 17. doi: 10.31653/smf343.2021. 5-17.

3. 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. – Vol. 12(8). – P. 1440. <https://doi.org/10.3390/jmse12081440>.

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

5. Sagin S., Kuropyatnyk O., Tkachenko I. Ensuring the environmental friendliness of marine diesel engines of specialized ships // Суднові енергетичні установки : науково-технічний збірник. – 2022. – Вип. 45. – Одеса : НУ «ОМА». – С. 5-16. doi: 10.31653/smf45.2022.5-16.

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

7. Zabloysky Yu.V., Sagin S.V. Maintaining Boundary and Hydrodynamic Lubrication Modes in Operating High-pressure Fuel Injection Pumps of Marine Diesel Engines // Indian Journal of Science and Technology. – 2016. – Vol 9(20). – P. 208-216. DOI: 10.17485/ijst/2016/v9i20/94490.

8. Сагін С.В., Столярик Т.О. Динаміка суднових дизелів під час використання моторних мастил з різними структурними характеристиками // Автоматизація суднових технічних засобів : наук. -техн. зб. – 2021. – Вип. 27. – С. 108-119. DOI: 10.31653/1819-3293-2021-1-27-108-119.

9. Сагін С.В. Повышение надежности работы прецизионных пар топливной аппаратуры судовых дизелей за счет использования органических покрытий // Вісник Одеськ. нац. мор. ун-ту, 2018. – Вип. 4(57). – С. 109-120.

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

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

12. Сагін А.С., Сагін С.В. Експериментальне визначення оптимальних фаз подачі палива в циліндр судових дизелів // Водний транспорт. Збірник наукових праць. – 2024. – Вип. 1(39). – С. 206-215. doi.org/10.33298/2226-8553.2024.1.39.21.

13. 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. – Одеса : НУ «ОМА». – С. 118-131. doi: 10.31653/smf46.2023.118-131.

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

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

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

17. Сагін С.В., Куропятник О.А. Визначення оптимальних режимів експлуатації судових двигунів внутрішнього згоряння під час використання біодизельного палива // Суднові енергетичні установки : науково-технічний збірник. – 2024. – Вип. 48. – Одеса : НУ «ОМА». – С. 100-113. doi: 10.31653/smf48.2024.100-113.

Analysis of a crdi diesel engine powered by ternary fuel blends (diesel, biodiesel, and pentanol) doped with alumina nano-additives

Environmental constraints associated with fossil fuels have driven researchers to find a novel, potential and environmentally benign alternative fuel. Biodiesel, vegetable oil, and alcohol have gained rapid momentum thanks to their renewable nature and comparable energy contents in recent years. Accordingly, a Ternary fuel blend is prepared comprising three fuels namely diesel, biodiesel, and pentanol. Waste cooking oil was identified as the source for biodiesel and Pentanol was chosen among various alcohol alternatives due to improved energy density, reduced toxicity. These are endorsed to the enhancement in surface area-volume ratio of nano additives which boosts the catalytic combustion activity and also causing lesser fuel to take part in combustion for maintaining a constant engine speed.

Materials and methods

The present experimental research, a Kirloskar make, four stroke, single cylinder, CRDI diesel engine is employed. This engine is coupled with series of instruments to bring out the fuel performance and the test engine with variable loads from 0 to 100% at intervals of 25%. To track RPM and load, the CRDI engine is paired with an Eddy current dynamometer. Cylinder pressure and temperature were monitored using pressure sensors and thermocouples, respectively. Additionally, exhaust gas emissions were analyzed using an exhaust gas analyzer. It is intended to perform the fuel alterations that is doping of nano additives in ternary blend. The photographic view of experimentation setup is displayed in Fig. 1. The engine develops

around 3.7 kW rated output power at 1500 rpm. Bore and stroke of the engine are 87.5 mm and 110 mm with a compression ratio of 17.5:1. The engine manufacturer specified standard injection timing and standard injection pressure as 23° bTDC and 600 bar, respectively. The specifications of test engine employed for experimentation are given in

Particulars	Specifications
Type	Kirloskar—4S CRDI diesel engine
No. of cylinder	Single-cylinder
Compression ratio	17.5:1
Standard injection timing	23°bTDC
Bore length	87.5 mm
Stroke length	110 mm
Power	3.7 kW
Injection pressure	600 bar
Speed	1500 rpm

Table 1. Engine specifications.

Table 1.

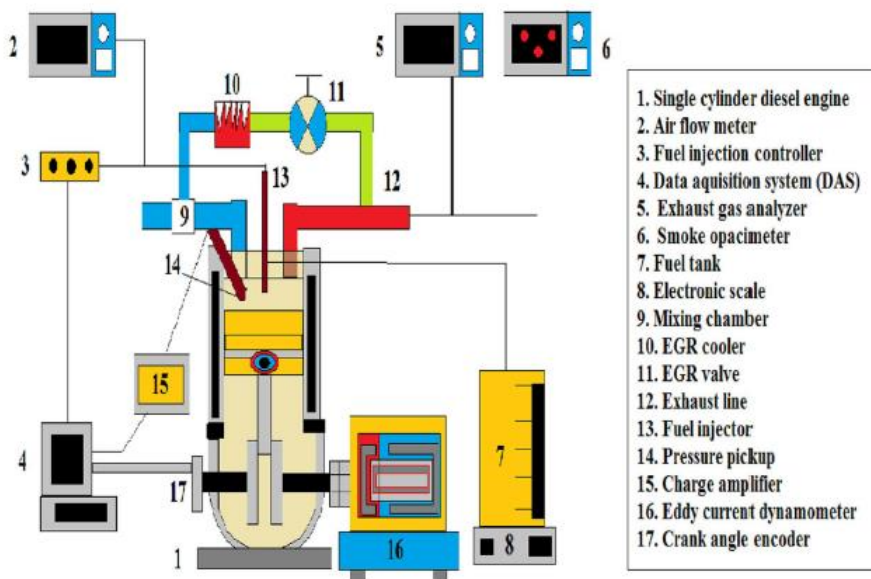


Figure 1. Schematic view of experimental setup.

The comparison of various physico-chemical properties of diesel fuel and Waste Cooking Oil biodiesel (WCO) is indicated in Table 2. Main properties of neat biodiesel have not suitable for better emission and performance characteristics since the diesel engine is designed to operate diesel fuel alone. Hence, a novel ternary blend fuel has been developed for existing diesel engine. A novel ternary blend of diesel, biodiesel, and pentanol is blended and stirred using a magnetic stirrer for 2 h. Further, AIC nano additives were added in a concentration of 10 ppm, 20 ppm, and 30 ppm named as TF + A10, TF+- A20 and TF + A30 respectively and the important test fuel properties such as viscosity, density, calorific value, flash point and cetane number were determined as per ASTM norms. The doping of metal oxides has gained significant traction in recent years due to their wide-ranging applications in both materials and thermal approaches. The addition of trace quantities of metal oxides inevitably enhances the optical, structural, magnetic, and thermal properties of materials.

This enhancement is particularly notable in nano additives, which boast a high surface area to volume ratio, thus significantly improving combustion efficiency. Among the plethora of metal oxides, Al_2O_3 nanoparticles stand out for their effectiveness in simultaneously enhancing performance and reducing emissions. Despite the availability of various technologies for synthesizing nanoparticles, such as the precipitation method and chemical vapor deposition, the traditional sol-gel combustion method remains widely employed. This method typically involves four key steps: solution preparation, gel formation, particle growth, and particle agglomeration. Table 2 displays the main physio-chemical properties of test fuels. The properties of Al_2O_3 nanoparticles were given in Table 3.

Fuel properties	D100	B100	B50	TF	TF + A10	TF + A20	TF + A30	ASTM method
Density (kg/m ³)	840	874	859	834	831	830	827	D1298
Kinematic viscosity at 35 °C, cSt	2.84	4.34	3.27	3.71	3.58	3.52	3.23	D445
Calorific value (kJ/kg)	44,700	42,673	43,146	44,456	44,652	45,017	44,841	D240
Flash point (°C)	68	130	50.25	73.9	75	78	77	D93
Cetane number	48	52.7	98.7	46.45	46.7	46.8	46.5	D613

Table 2. Physio-chemical properties of test fuels.

Particulars	Values
Bulk density (g/cm ³)	0.18
Crystal structure	γ
Appearance, colour	White
Purity (%)	94.99
Surface area, m ² /g	225.44
Dislocation density (δ), line ² /m ²	0.4×10^{14}
Average particle size, nm	27–30

Table 3. Al₂O₃ nanoparticle properties.

ppm. The ternary blends include TF (70% diesel + 20% biodiesel+ 10% pentanol), TF + A10 (TF+ 10 ppm A1203), TF + A20 (TF + 20 ppm A1,03) and TF + A30 (TF + 30 ppm A120}) respectively. In this research, alumina nanoparticles were employed with three concentrations namely 10 ppm, 20 ppm, and 30 ppm and their performance, combustion, and emission characteristics were studied to find which concentration is effective.

Results and discussion

The experimentation is done with ternary blends with varying pentanol concentrations. Upon experimentation, it was observed that, ternary fuel blend 'TF' comprising 70% diesel, 20% biodiesel and 10% pentanol, yielded best performance and was used for doping of Alumina oxide (A120,) nano additives. The A120, nanoparticles were doped with ternary blends at fractions of 10 ppm, 20 ppm, and 30 ppm.

Performance characteristics

Figure 2 displays the fluctuation of BTE for diesel, biodiesel blend and ternary blends doped with 10 ppm, 20 ppm and 30 ppm alumina nanoparticles with respect to load. It is inferred that B50 blend shows

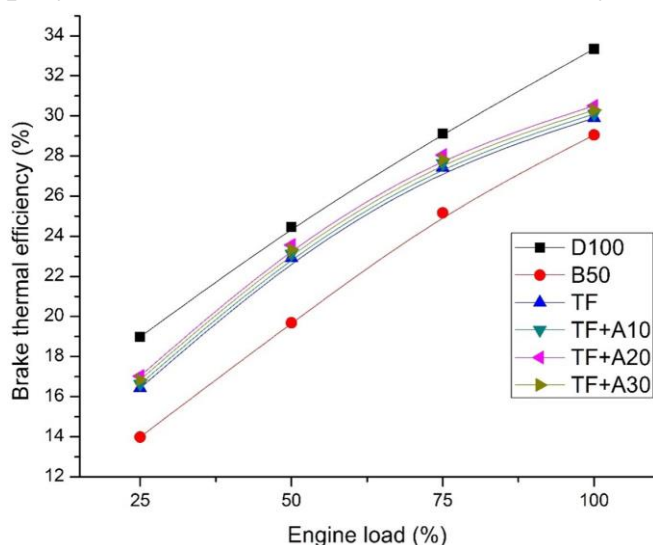


Figure 2. BTE vs engine load.

lowest BTE blends during all engine loads which can be attributed to higher density and viscosity of the blend. In comparison to D100, the viscosity of B50 is higher by about 15.14% thus resulting in lowest BTE of 29.05% at 100% load representing in adequate combustion. However, the presence of pentanol in the ternary fuel tends to improve the BTE significantly owing to the O, content in the blend followed by enhanced combustion efficiency. However, the BTE of ternary blends were lower than that of D100. Addition of alumina nano additives in ternary blends enhances the

BTE remarkably. From the fuel property Table 2, it is evident that, addition of Al_2O_3 nanoparticles in TF blends causes improvement in calorific value and a noticeable drop in kinematic viscosity of mixture. The BTE of nano additives doped TF were increased by about 0.67%, 2.01%, and 1.34% with additive concentrations of 10, 20 and 30 ppm respectively in comparison with TF.

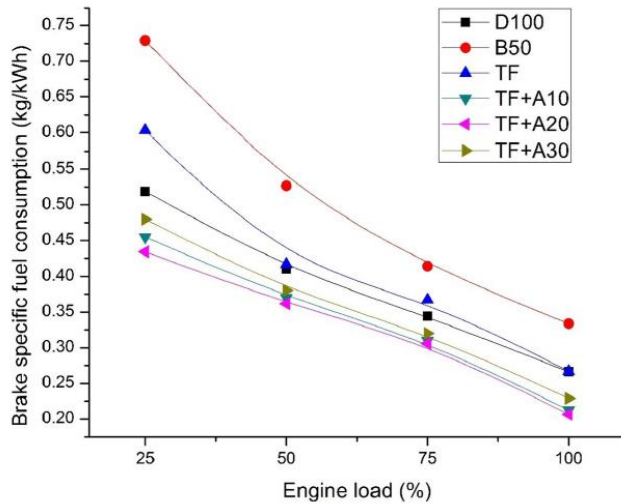


Figure 3. BSFC vs engine load.

It can be validated due to the influence of pentanol resulting in improved combustion efficiency and less quantum of fuel entering the combustion chamber for maintaining the engine speed constant in comparison to B50 blend which i- lower calorific value fuel. Addition of Al_2O_3 nanoparticles tends to lower the BSFC considerably.

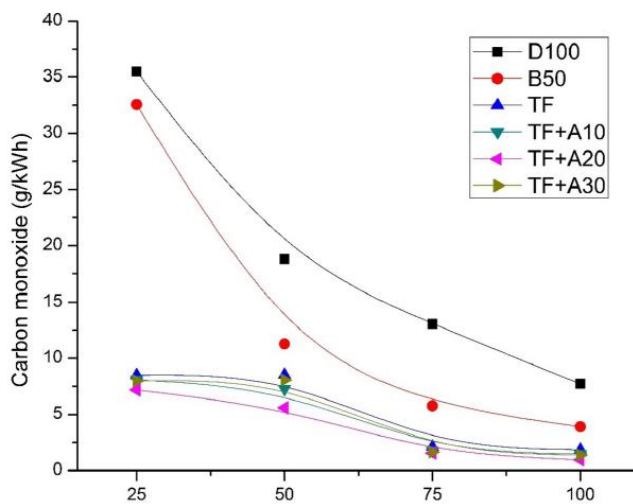


Figure 4. CO emission vs engine load.

Moreover, this higher viscosity of B50 causes poor atomisation and vaporisation tendency thereby increasing the BSFC trend. TF blend has lowered BSFC than B50 by about 40.5%, 28.46%, 20.33%, and 25.38% at engine loads of 25, 50, 75, and 100% respectively. These can be owing to the presence of excess O. atoms in B50 blend which stimulates the conversion of CO to CO. molecule. Ternary blends found to produce lower CO emissions than D100 and B50 blend which can be attributed to the presence of pentanol which functions as a combustion intensifier, thereby inducing rapid combustion rate followed by lessened CO emissions. Addition of Al_2O_3 nanoparticle TF further reduces the CO emissions.

Figure 3 shows the fluctuation in BSFC for diesel, biodiesel blend and ternary blends doped with 10, 20 and 30 ppm Al_2O_3 nanoparticles with respect to load. It is clear that B50 blend displays highest fuel consumption than the other blends. The heating value of B50 is lesser than mineral diesel fuel by about 2.78% which is the main reason for BSFC variation between them. Moreover, this higher viscosity of B50 causes poor atomisation and vaporisation tendency thereby increasing the BSFC trend. TF blend has lowered BSFC than B50 by about 40.5%, 28.46%, 20.33%, and 25.38% at engine loads of 25, 50, 75, and 100% respectively. It can be validated due to the influence of pentanol resulting in improved combustion efficiency and less quantum of fuel entering the combustion chamber for maintaining the engine speed constant in comparison to B50 blend which i- lower calorific value fuel. Addition of Al_2O_3 nanoparticles tends to lower the BSFC considerably.

Emission characteristics

Figure 4 displays the variation of CO emission for diesel, biodiesel blend and ternary blends doped with alumina nanoparticles with respect to engine load. It can be observed that, the highest CO emission is recorded for D100 through all loads. B50 blend, in comparison with D100 has lowered CO emission by about 8.24%, 39.97%, 55.79% and 49.52% at engine loads of 25, 50, 75 and 100% respectively. These can be owing to the presence of excess O. atoms in B50 blend which stimulates the conversion of CO to CO. molecule. Ternary blends found to produce lower CO emissions than D100 and B50 blend which can be attributed to the presence of pentanol which functions as a combustion intensifier, thereby inducing rapid combustion rate followed by lessened CO emissions. Addition of Al_2O_3 nanoparticle TF further reduces the CO emissions.

CONCLUSION

The experimentation was carried out using TF blend blended with Al₂O₃ nanoparticles at three different concentrations of 10, 20 and 30 ppm. Based on experimentation, the following can be concluded subsequently.

- Performance wise, addition of 20 ppm alumina nanoparticles in ternary blends have resulted in significant improvement in BTE and lowered BSFC by about 12.01% and 22.57% respectively when compared with mineral diesel.
- Emission wise, addition of 20 ppm alumina nanoparticles in ternary blends lowered the CO emission by 49.21%.

REFERENCES

1. Prabhu, A. *et al.* Emission and performance characteristics of a diesel engine using copper oxide nanoparticles in palm oil biodieseldiesel blends. *Trans. FAMENA* **45**(3), 29–44 (2021).
2. Jayaraman, J. *et al.* Performance analysis on a compression ignition engine fueled with algae, rice bran methyl esters, and their diesel blends at optimized blend proportion, injection timing and load. *Fuel* **344**, 128024 (2023).
3. Elkelawy, M. *et al.* Experimental investigation on the influences of acetone organic compound additives into the diesel/biodiesel mixture in CI engine. *Sustain. Energy Technol. Assess.* **37**, 100614 (2020).

Використання постійного опору фрикціону у здвоєному підвісі суднового вантажопідйомного пристрою

Однією із загроз, що виникають під час технічної експлуатації суднових вантажопідйомних пристроїв (СВПП), є пошкодження вантажу внаслідок обриву троса під час виконання навантажувально-розвантажувальних чи ремонтно-монтажних робіт у машинному відділенні крупнотоннажних суден.

Проблему запобігання аваріям у СВПП із напрямними вирішують шляхом використання уловлювачів, які забезпечують утримання вантажу чи вантажонесучих елементів у разі несправності підйомного механізму. У конструкції суднових підйомників із гнучким підвісом платформи, відповідно до вимог Регістру [1], передбачено застосування чотирьох підвісів. У разі обриву одного із тросів платформа залишається утриманою на трьох, що дозволяє перемістити її до положення, де можна безпечно виконати розвантаження та провести заміну пошкодженого троса.

Для СВПП з вільним підвісом вантажу одним із можливих рішень є підвищення надійності таких систем шляхом впровадження часткового навантаженого резервування за допомогою подвійного поліспадового підвісу. У цьому випадку передбачається використання двох окремих тросів: якщо один з них обривається, навантаження автоматично перерозподіляється на другий. Завдяки такому підходу пристрій переходить із стану несправного і непрацездатного до стану несправного, але працездатного, що дозволяє уникнути аварійної ситуації та успішно завершити вантажну операцію. Для реалізації такого рішення необхідне визначення величини зусиль, які можуть виникнути під час перехідних процесів після обриву троса за різних режимів роботи вантажопідйомного пристрою.

У роботі [2] були визначені розрахункові динамічні зусилля у силовому ланцюзі мостового крана у випадку відмови троса у здвоєному підвісі з балансиrom під час опускання вантажу у режимі генераторного гальмування. Визначено, що за роботи з номінальним вантажем розрахункові коефіцієнти динамічності перевищують запаси міцності, що не дає змоги запобігти руйнуванню елементів крана.

Стосовно ефективності використання фрикціону з постійним опором для утримання вантажу після обриву троса під час опускання вантажу мостовим краном досліджень не проведено.

Досліджений випадок обриву троса здвоєного підвісу з постійним опором фрикціону зрівняльного пристрою при сталому опусканні вантажу в режимі генераторного гальмування.

Динамічна модель для даного випадку представлена на рис.1, де m_1 – маса обертових частин механізму підйому, приведена до поступального переміщення y_1 , кг; y_1 – переміщення маси m_1 , приведене до переміщення вантажу, м;

m_2 – маса вантажу, кг; G – вага вантажу, Н; y_2 – переміщення вантажу, м; m_3 – приведена маса металокопструкції крана, кг; F – зусилля у металокопструкції, яке визначається за формулою

$$F = c_3 y_3,$$

де c_3 – жорсткість металокопструкції крана, Н/м; y_3 – переміщення маси m_3 , м;

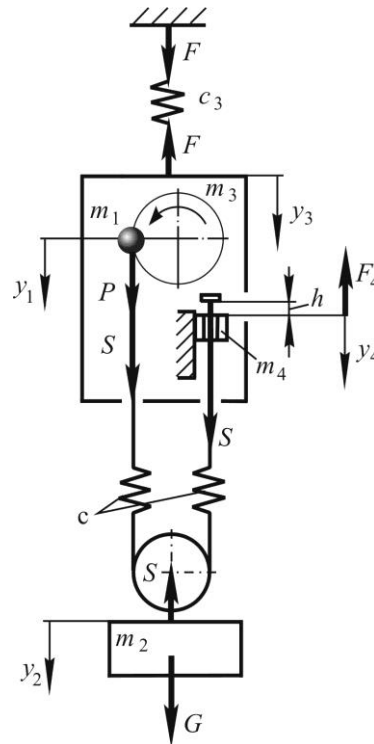


Рисунок 1 – Динамічна модель опускання вантажу після обриву троса з двоного поліспастового підвісу

P — рушійне зусилля привода, приведене до вантажу

$$P = P_0 + \beta \dot{y}_1,$$

де P_0 – зусилля в момент пуску двигуна при нерухомому роторі; β – коефіцієнт жорсткості механічної характеристики двигуна; \dot{y}_1 – швидкість маси m_1 ; c – жорсткість поліспастового підвісу після обриву троса, Н/м. m_4 – маса рухливих частин фрикціону зрівняльного пристрою, приведена до вантажу, кг; h – приведена до переміщення вантажу довжина ділянки вільного ходу зрівняльного елемента, м; y_4 – приведене до переміщення вантажу переміщення рухливих частин демпфера, м; S – зусилля в поліспастовому підвісі, Н; F_4 – зусилля опору фрикціону зрівняльного пристрою, приведене до вантажу, Н,

$$F_4 = kG,$$

де k – заданий коефіцієнт опору фрикціону.

Рух мас після обриву троса складається з чотирьох етапів.

На першому етапі відбувається рух мас після обриву одного з тросів під час вибору слабину, що утворилася, у цілому тросі. Рівняння, що описують рух мас на першому етапі, мають вигляд

$$\left. \begin{aligned} m_3 \ddot{y}_3 + c_3 y_3 &= 0 \\ m_1 \ddot{y}_1 + \beta_1 \dot{y}_1 &= P_0; \\ m_2 \ddot{y}_2 &= G. \end{aligned} \right\}$$

Початкові умови для першого етапу

$$\begin{aligned} t_1 = 0, \quad y_3 &= \frac{G}{c_3}, \quad \dot{y}_3 = 0, \\ y_1 &= 0, \quad \dot{y}_1 = v_{20}, \\ y_2 &= 0 \quad \dot{y}_2 = v_{20}, \end{aligned}$$

де v_{20} – швидкість опускання вантажу у сталому режимі, м/с.

Після вибору ділянки вільного ходу зрівняльного елемента відбувається прикладення навантаження до поліспастового підвісу - починається другий етап руху мас.

Умова переходу до другого етапу

$$v_{20}t + \frac{gt^2}{2} = h - \frac{G}{2c} + y_1 - \left(\frac{G}{c_3} - y_3\right).$$

Рух мас на другому етапі описується системою рівнянь

$$\left. \begin{aligned} m_3 \ddot{y}_3 + c_3 y_3 - c(y_2 - y_3 - y_1) &= 0; \\ m_1 \ddot{y}_1 + \beta_1 \dot{y}_1 - c(y_2 - y_3 - y_1) &= P_0; \\ m_2 \ddot{y}_2 + c(y_2 - y_3 - y_1) &= G. \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

Зусилля, що діє на поліспастовий підвіс, визначається за формулою

$$S = c(y_2 - y_3 - y_1). \quad (2)$$

Початкові умови для другого етапу

$$\begin{aligned} t_2 = 0, \quad y_3 &= (y_3)_1, \quad \dot{y}_3 = (\dot{y}_3)_1 \\ y_1 &= 0, \quad \dot{y}_1 = (\dot{y}_1)_1, \\ y_2 &= (y_2)_1, \quad \dot{y}_2 = (\dot{y}_2)_1, \end{aligned}$$

де $(y_3)_1$ – переміщення маси m_3 в кінці першого етапу; $(\dot{y}_3)_1, (\dot{y}_1)_1, (\dot{y}_2)_1$ – швидкості мас m_3, m_1 і m_2 кінці першого етапу.

При досягненні зусилля у поліспастовому підвісі величини спрацьовування фрикціона починається третій етап руху мас. В цей час зусилля у поліспастовому підвісі обмежується силами тертя фрикціона.

Умова переходу від другого етапу до третього $S = F_4$.

Рівняння, що описують рух мас на третьому етапі мають вигляд

$$\left. \begin{aligned} m_3 \ddot{y}_3 + c_3 y_3 - c(y_2 - y_3 - y_4 - y_1) &= 0; \\ m_1 \ddot{y}_1 + \beta_1 \dot{y}_1 - c(y_2 - y_3 - y_4 - y_1) &= P_0; \\ m_4 \ddot{y}_4 - c(y_2 - y_3 - y_4 - y_1) &= -kG; \\ m_2 \ddot{y}_2 + c(y_2 - y_3 - y_4 - y_1) &= G. \end{aligned} \right\}$$

Зусилля в поліспастовому підвісі визначається за формулою

$$S = c(y_2 - y_3 - y_4 - y_1).$$

Початкові умови для третього етапу

$$\begin{aligned} t_3 = 0, \quad y_3 = (y_3)_2, \quad \dot{y}_3 = (\dot{y}_3)_2, \\ y_1 = (y_1)_2, \quad \dot{y}_1 = (\dot{y}_1)_2, \\ y_2 = (y_2)_2, \quad \dot{y}_2 = (\dot{y}_2)_2, \\ y_4 = 0, \quad \dot{y}_4 = 0. \end{aligned}$$

Четвертий етап починається після зупинки рухомих частин фрикціону і відбуваються пружні коливання мас.

Умова переходу до етапу, на якому відбувається рух мас після вимикання фрикціону з роботи $\dot{y}_4 = 0$.

Рух мас на четвертому етапі описується системою рівнянь (1). Зусилля, що діє на поліспастовий підвіс, визначається за формулою (2).

Початкові умови для четвертого етапу

$$\begin{aligned} t_4 = 0, \quad y_3 = (y_3)_3, \quad \dot{y}_3 = (\dot{y}_3)_3, \\ y_1 = (y_1)_3, \quad \dot{y}_1 = (\dot{y}_1)_3, \\ y_2 = (y_2)_3 - (y_4)_3, \quad \dot{y}_2 = (\dot{y}_2)_3. \end{aligned}$$

Математична модель реалізована у формі програми для ЕОМ з використанням розв'язання рівнянь методом Рунге-Кутта 4-го порядку.

Результати обчислювальних експериментів для мостового крана вантажопідіймністю 20 т приведені на рис. 2 у вигляді графіків залежностей зусиль у поліспастовому підвісі й у металоконструкції від часу: $S(t)$ і $F(t)$.

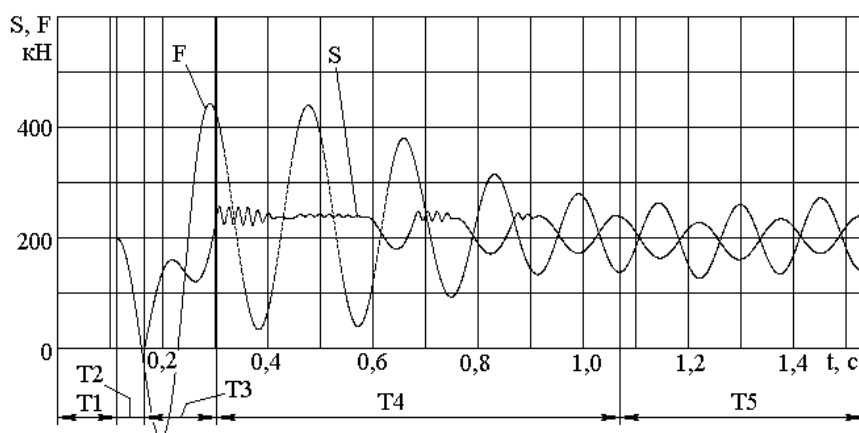


Рисунок 2 – Графіки залежностей $F(t)$ і $S(t)$ для випадку обриву троса зведеного поліспасти при опусканні вантажу

Максимальне зусилля $S = 250$ кН, коефіцієнт динамічності 1,25. Максимальне зусилля $F = 450$ кН, коефіцієнт динамічності 2,25. У досліджуваній конструкції крана коефіцієнт запасу міцності троса 5. Отже для нового неспрацьованого цілого троса коефіцієнт запасу міцності після відмови другого складе 2,5. Аналіз результатів свідчить про те, що розрахункові динамічні навантаження в металоконструкції крана виявляються такими, що величина коефіцієнту запасу міцності металоконструкції виявляється недостатньою для запобігання аварії крана. Запас міцності металоконструкції розглянутого крана, відповідно до вимог Регістра, 2,18. Тобто розрахункові напруження пере-

вищатъ границі плинності матеріалу R_{eH} , що призведе до пластичних деформацій та втрати остійності конструкції.

Забезпечення виключення руйнування металокопструкції вимагає подальших досліджень динамічних процесів у силовому ланцюзі крана після обриву троса вантажного поліспада, та визначення необхідних законів опору руху зрівняльних елементів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Регістр судноплавства України. Правила щодо вантажопідіймальних пристроїв морських суден. Вид. 2026.
2. Стукаленко М. І. Запобігання аварії мостового крана при обриві каната зведеного поліспада з балансиром / М. І. Стукаленко, О. М. Стукаленко, Д. І. Василець // Вісник Одес. держ. акад. будівн. та архітект. – Одеса, 2019. – Вип. 74. – С. 67-74.

Черемісін В.І., Ігнатенко О.А.

Інститут військово-морських сил Національного університету «Одеська морська академія»

Термодинамічна оцінка резервів підвищення економічності двигунів внутрішнього згоряння з випуском газів, що відпрацювали в атмосферу.

Актуальність теми.

Двигуни внутрішнього згоряння - найпоширеніші теплові двигуни [1,2]. Тому актуальні зусилля, спрямовані на збільшення їхньої економічності та потужності. Одним із способів підвищення потужності двигунів внутрішнього згоряння при незмінних його масогабаритних показниках є використання газотурбінного наддуву, тобто потенційної енергії газів, що відпрацювали.

В даний час застосовуються три типи двигунів внутрішнього згоряння:

- двигуни, в яких енергія відпрацьованих газів не використовується, і вони після розширення в циліндрах двигуна викидаються в навколишнє середовище;

- двигуни з газотурбінним наддувом, в яких енергія відпрацьованих газів використовується тільки для підвищення тиску повітряного заряду, що подається в циліндри двигуна, з метою підвищення маси заряду і, отже, потужності двигуна;

- комбіновані двигуни, в яких енергія відпрацьованих газів використовується не тільки для наддуву, але для отримання додаткової механічної енергії за допомогою утилізаційної газової турбіни.

Використовуючи потенційну енергію газів двигунів внутрішнього згоряння, що відпрацювали, можна підвищити їх коефіцієнт корисної дії і потужність [3,4]. Для перетворення потенційної енергії відпрацьованих газів в механічну пропонується використовувати утилізаційну газову турбіну. Розглядаються два варіанти розширення газів у турбіні: до атмосферного тиску і до нижчого тиску, створюваного вакуумним насосом в ресивері-охолоджувачі газів, що відпрацювали в турбіні.

Для видалення газів, що розширилися в турбіні до тиску нижче атмосферного, їх охолоджують в ресивері-охолоджувачі і стискають вакуумним насосом. Приєднавши за допомогою системи передач вал газової турбіни до колінчастого валу двигуна, можна підвищити коефіцієнт корисної дії та потужність останнього. Так, термічний коефіцієнт корисної дії удосконаленої установки, двигун внутрішнього згоряння якої з характеристиками $\varepsilon=15$, $\lambda=1,4$, $\rho=1,2$ працює при початкових параметрах повітря $t_1=30$ °С і $p_1=0,101325$ МПа, при тиску в ресивері-охолоджувачі 0,07 МПа, досягає 82,1 %. При цьому підвищення роботи становить 27,9 % проти роботи вихідного ДВЗ до удосконалення.

У цій роботі розглядається спосіб підвищення потужності та ефективності двигунів внутрішнього згоряння, в яких енергія відпрацьованих газів не використовується, і вони після розширення в циліндрах двигуна викидаються в навколишнє середовище.

Мета роботи є дослідження основних показників удосконаленого термодинамічного циклу двигунів внутрішнього згоряння в якому передбачається розширення відпрацьованих газів після двигуна до тиску нижче атмосферного з одночасним процесом охолодження перед випуском їх в атмосферу, що в підсумку підвищує економічність та питому потужність двигуна.

Виклад основного матеріалу. На рис. 1 зображений в координатах p, v та T, s теоретичний цикл ДВЗ першого типу $1-2-3-4-5-1$ [1], модифікований двома способами. Перша модифікація полягає у приєднанні до такого циклу теоретичного циклу $5-6-7-10-5$ [2] утилізаційної газової турбіни, в якій гази розширюються до атмосферного тиску (процес $6-7$). Друга модифікація відрізняється тим, що гази в турбіні розширюються до тиску нижче атмосферного (процес $6-8$), створюваного вакуумним насосом в ресивері-охолоджувачі. Гази, що відпрацювали в турбіні, перед викидом в навколишнє середовище охолоджуються в ресивері-охолоджувачі (процес $8-9$) і стискаються вакуумним насосом до атмосферного тиску (процес $9-10$).

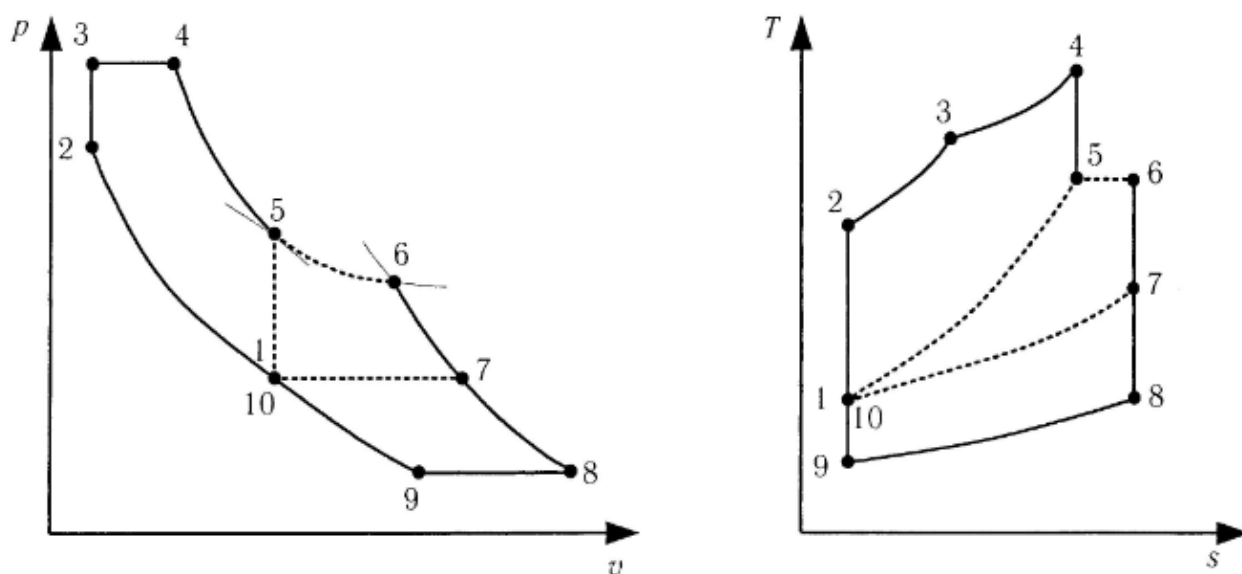


Рис. 1. Теоретичні модифіковані цикли двигунів внутрішнього згоряння в координатах p, v та T, s : $1-2-3-4-5-6-7-10-5$ – цикл з розширенням газів у турбіні до атмосферного тиску; $1-2-3-4-5-6-8-9-10-1$ – цикл з розширенням газів до тиску нижче атмосферного

Зауважимо, що в першому варіанті модифікації циклу, процес викиду газів, що відпрацювали в турбіні, в атмосферу замінюється ізобарним процесом відведення теплоти $7-10$. При цьому приймається, що точка 7 відповідає стану газів наприкінці розширення в турбіні, точка 10 – їх стану після охолодження, а точка 1 – стану повітря, що надходить у двигун внутрішнього згоряння.

На рис. 2 зображена узагальнена принципова схема установки, в якій можуть бути здійснені обидві пропонувані модифікації циклу двигуна внутрішнього згоряння.

Перша модифікація реалізується так. Продувку циліндрів двигуна внутрішнього згоряння забезпечує непоказаний на рисунку продувний насос, що подає стиснуте повітря в ресивер 7 . Гази, що відпрацювали в циліндрах двигуна внутрішнього згоряння 1 , надходять в утилізаційну газову турбіну 2 , де роз-

ширюються до атмосферного тиску і викидаються. При цьому наявна потенційна енергія газів перетворюється в турбіні в роботу, яка використовується для приводу електрогенератора **6** або підсумовується з основною роботою двигуна внутрішнього згоряння.

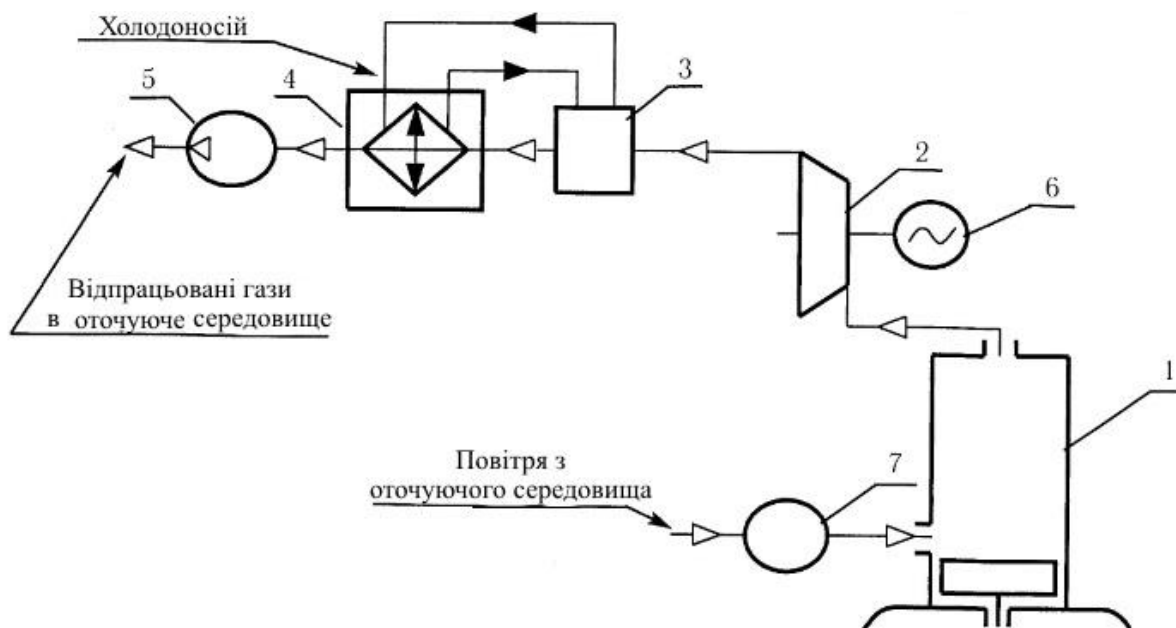


Рис. 2. Принципова схема модифікованого двигуна внутрішнього згоряння

При другій модифікації циклу двигуна внутрішнього згоряння відпрацьовані гази розширюються в газовій турбіні до тиску нижче атмосферного (процес **6-8**), створюваного в ресивері-охолоджувачі **4** вакуумним насосом **5**. Це збільшує роботу турбіни, оскільки зростає різниця тисків газів у процесі їх розширення в турбіні **6-8**. Гази, що відпрацьовали в турбіні, перед стиском і викидом в атмосферу охолоджують в ресивері-охолоджувачі **4** охолоджувачем. Останній охолоджують за допомогою утилізаційної абсорбційної холодильної установки **3**, парогенератор якої нагрівають відпрацьованими в турбіні газами. Охолодження відпрацьованих газів (процес **8-9**) зменшує роботу, що витрачається на стиснення в процесі **9-10** і забезпечує отримання роботи в частині циклу **7-8-9-10-7**. Робота, одержувана в турбіні, використовується для приводу вакуумного насоса **5**, а що залишилася, як і в першій модифікації циклу, – для приводу електрогенератора **6** або підсумовується з роботою двигуна внутрішнього згоряння.

Для ілюстрації ефективності запропонованих модифікацій теоретичного циклу двигуна внутрішнього згоряння, що реалізується на ідеальному газі, виконані розрахунки відповідних циклів залежно від кінцевого тиску розширення газів у турбіні (табл. 1).

Таблиця 1. Енергетичні характеристики двигунів внутрішнього згорання, модифікованих пропонованим способом, в залежності від кінцевого тиску розширення газів у турбіні

p_8 , МПа	l_{BH} , кДж/кг	l_T , кДж/кг	$l_{ГТУ}$, кДж/кг	$l_{ДВЗ} + l_{ГТУ}$ кДж/кг	δl , %	t_8 , °С	t_9 , °С	η_t , %	$\delta\eta_t$, %
0,10	1,1	82,2	81,1	440,9	22,5	227,76	28,86	78,66	22,5
0,09	10,1	97,1	87,0	446,8	24,2	212,90	19,91	79,72	24,2
0,08	19,9	113,2	93,3	453,2	25,9	196,82	10,21	80,86	25,9
0,07	30,6	130,9	100,4	460,3	27,9	179,23	-0,40	82,11	27,9
0,06	42,4	150,5	108,1	468,0	30,1	159,74	-12,15	83,50	30,1
0,05	55,7	172,6	116,9	476,8	32,5	137,76	-25,40	85,07	32,5
0,04	71,0	198,1	127,0	486,9	35,3	112,38	-40,70	86,87	35,3
0,03	89,5	228,7	139,2	499,1	38,7	81,96	-59,04	89,04	38,7
0,02	113,0	267,7	154,7	514,6	43,0	43,11	-82,46	91,80	43,0
0,01	147,4	324,8	177,4	537,2	49,3	-13,71	-116,70	95,85	49,3

Технічна робота розширення газів у турбіні розраховувалася із співвідношення $l_T = c_p \cdot (T_6 - T_8)$, а стиснення газів у вакуумному насосі - $l_{BH} = c_p \cdot (T_{10} - T_9)$. Значення термічного коефіцієнту корисної дії модифікованого двигуна внутрішнього згорання

$$\eta_{t, \text{сум}} = \frac{l_{\text{сум}}}{q_1}$$

де $l_{\text{сум}} = l_{ДВЗ} + (l_T - l_{BH})$ – сумарна робота модифікованого двигуна внутрішнього згорання;

q_1 - теплота, що підводиться в циклі.

Розрахунки вихідного циклу двигуна внутрішнього згорання виконані з урахуванням характеристик: ступінь стиснення $\varepsilon = 15$; ступінь підвищення тиску $\lambda = 1,4$; ступінь попереднього розширення $\rho = 1,2$. Початкові параметри повітря прийняті рівними: $t_1 = 30$ °С, $p_1 = 0,101325$ МПа. Термічний коефіцієнт корисної дії вихідного циклу дорівнює 64,21 %.

Для зручності аналізу отриманих результатів вони представлені в таблиці, де перший рядок відповідає розширенню газів у турбіні до тиску 0,102 МПа, а наступні – їх розширенню до нижчих тисків. У таблиці l_{BH} позначає роботу вакуумного насоса; l_T – роботу газової турбіни; $l_{ГТУ}$ – роботу газотурбінної установки; δl – відносне збільшення сумарної роботи двигуна внутрішнього згорання і газотурбінної установки в порівнянні з роботою вихідного двигуна внутрішнього згорання; η_t – термічний коефіцієнт корисної дії модифікованої установки; $\delta\eta_t$ – збільшення коефіцієнту корисної дії цієї установки в порівнянні з коефіцієнтом корисної дії вихідного двигуна внутрішнього згорання.

Проведений аналіз отриманих показників ефективності (корисна питома робота, термічний коефіцієнт корисної дії) удосконаленого термодинамічного циклу двигуна внутрішнього згорання дозволяє зробити наступні висновки:

- різке підвищення коефіцієнту корисної дії установки ($\delta\eta_t = 22,5\%$) відбувається при розширенні газів в утилізаційній газовій турбіні до атмосферного тиску;

- при подальшому зниженні кінцевого тиску розширення газів у турбіні значення термічного коефіцієнту корисної дії безперервно підвищується і наближається до одиниці;

- до тиску розширення газів 0,07 МПа можна використовувати водоаміачну абсорбційну утилізаційну холодильну установку, генератор пари якої підігривається газами, що відпрацювали в турбіні;

- підігрів генератора пари відпрацьованими газами знижує їх температуру і зменшує необхідну холодопродуктивність абсорбційної холодильної установки;

- при тиску розширення газів 0,07 МПа відносні підвищення роботи δl і коефіцієнту корисної дії $\delta\eta_t$ досягають 27,9 % порівняно з характеристиками вихідного двигуна внутрішнього згорання;

- при кінцевому тиску розширення газів у турбіні нижче 0,07 МПа необхідна інша складніша утилізаційна холодильна установка, розробка якої може скласти предмет окремого дослідження;

- з огляду на попередній висновок, для ілюстрації ефективності зниження кінцевого тиску розширення газів у турбіні, в таблиці наводяться можливі показники модифікованих установок при зниженні цього тиску до 0,01 МПа.

Висновки. Враховуючи широке поширення дизельних двигунів внутрішнього згорання, що працюють з викидом газів, що відпрацювали в атмосферу, і тенденцію розвитку транспортних засобів, запропонована модернізація дозволить не тільки економити паливо, а й покращити екологічні обставини, пов'язані з газовим і тепловим забрудненням навколишнього середовища. У зв'язку з постійним зростанням вартості палива економія коштів при експлуатації модернізованих двигунів внутрішнього згорання швидко окупить додаткові капітальні витрати, пов'язані з виробництвом таких двигунів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Костенко Г.М. Технічна термодинаміка. Державне видавництво технічної літератури, Київ, 1958. – 419 с.

2. Черемісін В.І. Термогідродинамічні процеси. Термодинаміка ідеального газу: навчальний посібник / В. І. Черемісін, М. С. Бабенчук, О.А. Ігнатенко - Одеса : НУ «ОМА», 2019. – 79 с.

3. Марченко А.П. Термодинамічна оцінка резервів підвищення ККД двигунів внутрішнього згорання // Двигуни внутрішнього згорання. – 2004. – Вип. 2. – С. 45 – 54

4. Черемісін В.І., Сапіга В.В., Ігнатенко О.А. Підвищення термодинамічної ефективності газотурбінних двигунів морського призначення // Суднові енергетичні установки: наук.-техн. зб. 2025. Вип. 50. С. 155-159.

Cheremisin, Candidate of Technical Sciences; O.A. Ignatenko

THERMODYNAMICAL ASSESSMENT OF RESERVES FOR INCREASING THE ECONOMY OF INTERNAL COMBUSTION ENGINES WITH EXHAUST GAS EMISSIONS INTO THE ATMOSPHERE.

Using the potential energy of internal combustion engines that emit exhaust gases into the environment, it is possible to increase their efficiency and power. To convert the potential energy of exhaust gases into mechanical energy, it is proposed to use a waste gas turbine. Two options for expanding gases in the turbine are considered: to atmospheric pressure and to a lower pressure created by a vacuum pump in the receiver-cooler of exhaust gases in the turbine. To remove gases that have expanded in the turbine to a pressure below atmospheric, they are cooled in a receiver-cooler and compressed by a vacuum pump. By connecting the gas turbine shaft to the engine crankshaft using a transmission system, the efficiency and power of the latter can be increased. Thus, the thermal efficiency of an improved installation, the internal combustion engine of which with characteristics $\varepsilon=15$, $\lambda=1,4$, $\rho=1,2$ operates at the initial air parameters $t_1=30$ °C and $p_1=0,101325$ MPa, at a pressure in the receiver-cooler of 0,07 MPa reaches 82,1 %. In this case, the increase in work is 27,9 % compared to the work of the original internal combustion engine before improvement.

Keywords: Internal combustion engine. Utilizing gas turbine. Receiver-cooler of gases. Vacuum pump. Power and efficiency of internal combustion engines.

LITERATURE (REFERENCES)

1. Kostenko G.M. Technical Thermodynamics. State Publishing House of Technical Literature, Kyiv, 1958. – 419 p.
2. Cheremisin V.I. Thermohydrodynamic processes. Thermodynamics of an ideal gas: a textbook / V. I. Cheremisin, M. S. Babenchuk, O.A. Ignatenko - Odesa: National University "OMA", 2019. – 79 p.

ІНЖЕНЕРНІ ТЕХНОЛОГІЇ ЕКОЛОГІЧНОЇ ТА ПРОФЕСІЙНОЇ БЕЗПЕКИ НА МОРІ

УДК 656.61:378.147:341.24

Парменова¹ Д. Г., Колегаєв¹ М. О., Бондар² С. А.

¹Національний університет «Одеська морська академія»

²Морехідний фаховий коледж ім. О. І. Маринеска

Актуалізація підготовки моряків у контексті розвитку міжнародних морських стандартів

Водний транспорт є важливою складовою транспортної системи України та глобальної логістики, а морська галузь стабільно потребує висококваліфікованих фахівців усіх рівнів – від управлінського персоналу судноплавних компаній до експлуатаційного складу морських суден. У цих умовах якість підготовки моряків стає не лише освітньою категорією, а й фактором безпеки мореплавства, конкурентоспроможності держави на міжнародному ринку праці та стійкості морського бізнесу. Міжнародне судноплавство функціонує в просторі жорстко регламентованих технічних, процедурних і етичних вимог, що постійно оновлюються під впливом нових ризиків, технологічних змін та екологічного порядку денного [1, 4].

Актуальність теми зумовлена тим, що сучасна система підготовки моряків вже не може обмежуватися відтворенням усталеного набору знань і навичок. Вона має бути динамічною, випереджувальною й такою, що здатна швидко реагувати на зміни в міжнародному законодавстві, практиці державного портового контролю, вимогах до безпеки екіпажу, охорони праці, захисту морського середовища та цифровізації судноплавства. У зв'язку з цим особливого значення набуває аналіз того, як розвиток міжнародних морських стандартів змінює логіку підготовки моряків та які напрями модернізації морської освіти є пріоритетними для України.

Проблематика професійної підготовки моряків традиційно розглядається у взаємозв'язку з вимогами міжнародного морського права, безпеки судноплавства, управління людським фактором та функціонування системи якості у морській освіті. Нормативним підґрунтям сучасної підготовки моряків є акти Міжнародної морської організації (ІМО) та Міжнародної організації праці (МОП), насамперед Конвенція STCW, Конвенція SOLAS, Конвенція MARPOL, Конвенція MLC 2006, а також Кодекс ISM [1, 4, 10]. На рівні Європейського Союзу важливим орієнтиром виступає Директива (ЄС) 2022/993 про мінімальний рівень підготовки моряків, що кодифікує підходи до визнання та контролю систем підготовки і дипломування [7]. Водночас у попередніх працях [11, 12, 13, 14] окремо було висвітлено вплив Манільських поправок на систему підготовки моряків України, тенденції імплементації міжнародних трудових стандартів у національне законодавство, а також питання професійної підготовки судових механіків, ролі людського фактору та формування компетентностей, необхідних для безпечної експлуатації судових енергетичних установок і проходження процедур державного портового контролю.

Разом з тим аналіз сучасних джерел, зокрема, засвідчує, що у фокусі міжнародного регулювання дедалі частіше опиняються не лише технічні компетентності суднового персоналу, а й питання психологічної безпеки, етичної поведінки, недискримінації, запобігання насильству і харасменту, екологічної відповідальності та здатності працювати в умовах декарбонізації морських перевезень [2, 3, 5, 10]. Це вимагає переосмислення змісту морської освіти у більш широкій міждисциплінарній площині.

Система міжнародних морських стандартів формує багаторівневий регуляторний каркас, у межах якого здійснюється професійна підготовка моряків. Базовими документами тут залишаються Конвенція SOLAS 1974 року, Конвенція MARPOL 73/78, Конвенція STCW 1978 року з поправками, Міжнародна конвенція про вантажну марку та низка інших актів ІМО, що визначають вимоги до технічної безпеки суден, навігації, зв'язку, запобігання забрудненню й організації вахтової служби [4]. Їх функціональне значення для освітньої сфери полягає в тому, що вони задають не лише перелік обов'язкових компетентностей, а й логіку професійної поведінки моряка в стандартних і нештатних ситуаціях.

Особливе місце в цій системі належить Конвенції STCW, яка встановлює міжнародно узгоджені мінімальні стандарти підготовки, дипломування та несення вахти. ІМО прямо визначає, що Конвенції STCW спрямована на забезпечення безпеки життя і майна на морі та захист морського середовища шляхом установа міжнародних стандартів для моряків [1]. Для національних систем морської освіти це означає необхідність постійної синхронізації освітніх програм із вимогами таблиць компетентностей, процедур оцінювання, практичної підготовки, навчання та переатестації. Саме тому будь-які зміни до Конвенції STCW мають безпосередній вплив на зміст навчальних планів, матеріально-технічне забезпечення підготовки, симуляційне навчання та кваліфікацію викладачів та інструкторів.

Важливо, що міжнародні стандарти у сфері судноплавства не є статичними. ІМО системно оновлює вимоги з урахуванням технологічних інновацій, нових виробничих ризиків, змінення ставлення до використання палива, цифровізації управління судном і зростання уваги до людського фактору. Це надає підготовці моряків виразно адаптивного характеру: освітня система повинна не лише забезпечувати відповідність поточним нормативним вимогам, а й формувати у здобувачів готовність до безперервного професійного розвитку. Така логіка особливо важлива для України, оскільки міжнародна конкурентоспроможність українських моряків значною мірою залежить від здатності національної системи освіти й підготовки оперативно реагувати на регуляторні зміни [7, 8].

Суттєвий вплив на модернізацію підготовки моряків мають новітні зміни до Конвенції STCW, прийняті у 2024 році. На 108-й сесії Комітету з безпеки на морі ІМО були ухвалені поправки до Кодексу STCW щодо нових вимог до базової підготовки з питань запобігання та реагування на насильство та домагання, включно із сексуальними домаганнями, цькуванням і сексуальним насильством [2, 3]. Ці норми набрали чинності з 1 січня 2026 року і доповнюють таб-

лицю A-VI/1-4 Кодексу STCW новою компетентністю у сфері особистої безпеки та соціальної відповідальності [6].

З педагогічної точки зору це є принципово важливим зрушенням. Воно означає, що морська підготовка остаточно виходить за межі вузько технократичної моделі та визнає безпосередній зв'язок між психологічним кліматом на борту, культурою взаємодії в екіпажі та загальною безпекою судна. Відповідно, навчальні програми мають включати не лише знання про види неприйнятної поведінки, а й практику раннього виявлення ризиків, алгоритми повідомлення про інциденти, навички втручання свідка, основи травмоорієнтованого підходу, недопущення повторної психологічної травматизації постраждалого та засади формування атмосфери довіри на борту. Відповідно це потребує методичного оновлення курсів особистої безпеки, розроблення кейсів, тренінгових сценаріїв і процедур оцінювання соціально-поведінкових компетентностей.

Не менш значущим чинником актуалізації підготовки моряків є екологізація міжнародного судноплавства. У 2024–2025 рр. набули чинності або були схвалені нові положення, пов'язані зі зниженням викидів, посиленням режимів контролю вмісту і витрати палива та розвитком системи енергоефективності суден. Зокрема, з 1 травня 2025 року Середземне море офіційно функціонує як зона контролю викидів оксидів сірки, що вимагає використання палива із вмістом сірки не більше 0,10 % або застосування еквівалентних технічних рішень [5]. ІМО також продовжує вдосконалювати систему моніторингу показників енергоефективності та звітності, пов'язаних з індексом енергоефективності існуючого судна та показником вуглецевої інтенсивності, що прямо впливає на відповідні програми підготовки судових механіків, електромеханіків, вахтових офіцерів та командного складу.

За цих умов зміст професійної підготовки має суттєво зміщуватися у бік формування екологічної компетентності моряка. Йдеться не лише про знання положень Конвенції MARPOL, а про здатність працювати з новими типами палива, розуміти нормативні обмеження для різних морських районів, вести необхідну документацію, оцінювати вплив експлуатаційних рішень на викиди та енергоефективність, а також брати участь у впровадженні судових практик, спрямованих на декарбонізацію. Для українських морських закладів освіти це означає необхідність посилення міждисциплінарного зв'язку між технічною, екологічною та управлінською складовими підготовки.

Окремим напрямом впливу міжнародних стандартів на підготовку моряків є посилення ролі систем управління безпекою та зовнішнього контролю. Кодекс ISM закріплює підхід, за якого безпечна експлуатація суден є результатом не лише індивідуальної кваліфікації, а й належної організації управлінських процесів у компанії та на борту. Водночас державний портовий контроль забезпечує зовнішню перевірку фактичного дотримання міжнародних конвенцій. Наприклад, на офіційному ресурсі Паризького меморандуму підкреслюється, що інспекції державного портового контролю базуються на конвенціях ІМО та МОП і покликані виявляти порушення, здатні вплинути на безпеку судна, екіпажу та довкілля [9]. У попередніх дослідженнях авторів також акцентовано,

що результативність проходження процедур державного портового контролю безпосередньо пов'язана з рівнем сформованості професійних компетентностей судових механіків, а людський фактор залишається одним із визначальних чинників безпечної експлуатації судових енергетичних установок [11, 12]. Це означає, що сучасний моряк повинен бути підготовлений не лише до експлуатації обладнання, а й до роботи у нормативно контрольованому середовищі, де визначальне значення мають належне ведення документації, точність дотримання процедур, розуміння вимог інспекційного контролю та здатність діяти відповідно до системи управління безпекою.

У цьому контексті особливої уваги потребує проблема адаптації екіпажів до роботи на нових типах суден та в нових організаційно-технологічних умовах. Світова практика свідчить, що навіть за наявності чинних дипломів і сертифікатів реальна готовність члена екіпажу до роботи на конкретному судні значною мірою визначається якістю ознайомлення зі специфікою обладнання, процедур, автоматизованих систем і внутрішніх стандартів судноплавної компанії. Стислі строки передрейсової адаптації часто не дозволяють у повному обсязі сформувані необхідний рівень практичної впевненості, особливо в машинній команді. Як засвідчують праці, присвячені професійній підготовці судових механіків у сучасних умовах, ефективність такого навчання залежить від поєднання фундаментальної технічної підготовки, розвитку практичних умінь і врахування реальних виробничих ситуацій, з якими фахівець стикається на борту [13, 14]. Тому навчання має включати модулі, орієнтовані на швидку адаптацію до конкретних типів суден, типових ризиків і технологічних конфігурацій, з якими моряк зіткнеться під час роботи.

Важливо також враховувати, що міжнародні стандарти дедалі тісніше пов'язують безпеку мореплавства з умовами праці та добробутом моряків. Конвенція про працю в морському судноплаванні 2006 року (MLC, 2006), за визначенням МОП, забезпечує комплекс прав і трудових гарантій для моряків у світовому масштабі [10]. Отже, сучасна підготовка моряків має включати не лише технічні й навігаційні питання, а й правову грамотність щодо умов праці, відпочинку, репатріації, медичного забезпечення, порядку подання скарг та захисту від дискримінації. Це підсилює людиноцентрований вимір морської освіти і зближує її з концепцією гідної праці та безпечного робочого середовища.

Для України актуалізація підготовки моряків у контексті міжнародних стандартів має ще один важливий вимір – необхідність збереження та посилення позицій на світовому ринку морської праці. Європейська Комісія зазначає, що в Європейському Союзі (ЄС) діє спільна система визнання третіх країн, які відповідають вимогам Конвенції STCW, а оцінювання таких систем здійснюється за участю **Європейського агентства з безпеки на морі (European Maritime Safety Agency, EMSA)** [8]. Це означає, що конкурентоспроможність українських моряків прямо пов'язана з довірою до національної системи освіти, підготовки й дипломування. У практичному вимірі йдеться про потребу забезпечити стабільну якість освітніх програм, сучасну симуляторну (тренажер-

ну) базу, прозорість оцінювання, взаємозв'язок із вимогами судноплавних компаній та культуру академічної доброчесності.

Узагальнюючи викладене, доцільно виокремити кілька стратегічних напрямів актуалізації підготовки моряків. По-перше, це системне оновлення освітніх програм відповідно до чинних і перспективних змін у Конвенціях STCW, SOLAS, MARPOL, MLC та актах ЄС. По-друге, посилення компетентнісної моделі навчання за рахунок інтеграції технічних, екологічних, правових, комунікативних та етичних компетентностей. По-третє, розширення практико-орієнтованої складової через симулятори, тренажери, сценарне навчання, аналіз ситуацій, тренінги з кризової взаємодії, вправи, орієнтовані на перевірки державного портового контролю, та моделювання поведінки в умовах багатонаціонального екіпажу. По-четверте, розвиток психологічної підготовки та навчання взаємодії в екіпажі як повноцінного елементу системи безпеки. По-п'яте, зміцнення партнерства між морськими закладами освіти, кріюінговими компаніями, судовласниками, тренажерними центрами й морською адміністрацією для забезпечення актуальності та своєчасного оновлення змісту навчання. Такі орієнтири узгоджуються з висновками щодо значення людського фактору, професійних компетентностей і практикоорієнтованої підготовки судових механіків у сучасних умовах [11, 12, 13, 14].

Отже, розвиток міжнародних морських стандартів не можна розглядати лише як зовнішній нормативний чинник. Насправді він задає нову архітектуру професійної підготовки моряка, у якій центральними стають адаптивність, відповідальність, здатність до безперервного навчання, екологічна свідомість, соціальна зрілість і готовність діяти в складних багатофакторних умовах сучасного мореплавства. Саме на цих засадах має будуватися подальша модернізація морської освіти в Україні.

Висновки

1. Розвиток міжнародних морських стандартів об'єктивно зумовлює необхідність постійної актуалізації підготовки моряків, оскільки сучасне судноплавство вимагає не лише формальної відповідності міжнародним конвенціям, а й реальної готовності екіпажів діяти в умовах технічних, екологічних, правових і соціально-психологічних викликів.

2. Ключовими детермінантами оновлення змісту морської освіти виступають положення Конвенцій STCW, SOLAS, MARPOL, MLC 2006, Кодексу ISM, механізми державного портового контролю та нормативні акти ЄС щодо підготовки і визнання дипломів моряків.

3. Поправки до Кодексу STCW, ухвалені у 2024 році та введені в дію з 1 січня 2026 року, засвідчують посилення людиноцентрованого складника морської підготовки й потребу інтегрувати до освітніх програм тематику запобігання насильству, харасменту, булінгу та формування психологічно безпечного середовища на борту.

4. Екологічні зміни в міжнародному регулюванні, пов'язані з ЕСА, енергоефективністю та декарбонізацією судноплавства, вимагають суттєвого поси-

лення екологічної та експлуатаційно-аналітичної складових підготовки моряків.

5. Подальше вдосконалення підготовки моряків в Україні має відбуватися на засадах компетентності, практикоорієнтованості, міждисциплінарності, партнерства з роботодавцями та швидкої реакції на зміни міжнародного нормативного середовища, що узгоджується з викликами сучасних підходів до морської освіти і підготовки суднових механіків.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. International Convention on Standards of Training, Certification and Watchkeeping for Seafarers (STCW). *International Maritime Organization*: website. URL: <https://www.imo.org/en/ourwork/humanelement/pages/stcw-convention.aspx>.

2. Resolution MSC.560(108) – Amendments to Part A of the Seafarers' Training, Certification and Watchkeeping (STCW) Code (adopted on 23 May 2024).

3. Maritime Safety Committee – 108th session (MSC 108), 15–24 May 2024: meeting summary. *International Maritime Organization*: website. URL: <https://www.imo.org/en/mediacentre/meetingsummaries/pages/msc-108th-session.aspx>.

4. List of IMO Conventions. *International Maritime Organization*: website. URL: <https://www.imo.org/en/about/conventions/pages/listofconventions.aspx>.

5. New sulphur emission limits enter into effect in Mediterranean Sea. *International Maritime Organization*: website. URL: <https://www.imo.org/en/mediacentre/pages/whatsnew-2254.aspx>.

6. Raft of shipping rules in force from 1 January 2026. *International Maritime Organization*: website. URL: <https://www.imo.org/en/mediacentre/pressbriefings/pages/raft-of-shipping-rules-in-force-from-1-january-2026.aspx>.

7. Directive (EU) 2022/993 of the European Parliament and of the Council of 8 June 2022 on the minimum level of training of seafarers (codification). EUR-Lex. URL: <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2022/993/oj>.

8. Education and training. Mobility and Transport. *European Commission*: website. URL: https://transport.ec.europa.eu/transport-modes/maritime/seafarers/education-and-training_en.

9. Port State Control inspections in the Paris MoU. *Paris Memorandum of Understanding on Port State Control*: website. URL: <https://parismou.org/PMoU-Procedures/Lybrary/port-state-control-inspections-paris-mou>.

10. Maritime Labour Convention, 2006, as amended [Including 2022 amendments]. *International Maritime Organization*: website. URL: <https://www.ilo.org/resource/other/maritime-labour-convention-2006-amended-including-2022-amendments>.

11. 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.

12. Колегаєв М. О., Парменова Д. Г., Бондар С. А. Роль професійних компетентностей суднових механіків у процедурах портового контролю. Матеріали науково-технічної конференції «Морський та річковий флот: експлуатація і ремонт», 20.03.2025–21.03.2025. Одеса: НУОМА, 2025. С. 134–140.

13. Парменова Д. Г., Бондар С. А., Розлуцький О. М. Професійна підготовка суднових механіків у сучасних умовах. Матеріали науково-технічної конференції «Морський та річковий флот: експлуатація і ремонт», 24.03.2022–25.03.2022. Одеса: НУ «ОМА», 2022. С. 147–152.

14. Парменова Д. Г., Бондар С. А. Особливості підготовки суднових механіків у сучасних умовах. Матеріали науково-технічної конференції «Морський та річковий флот: експлуатація і ремонт», 25.03.2021–26.03.2021. Одеса: НУ «ОМА», 2021. С. 181–185.

Парменова¹ Д. Г., Бондар² С. А.

¹Національний університет «Одеська морська академія»

²Морехідний фаховий коледж ім. О. І. Маринеска

Формування та оцінювання професійних компетентностей морських фахівців

Морський транспорт належить до галузей підвищеної відповідальності, де помилка персоналу може мати наслідком загибель людей, забруднення морського середовища, втрату судна, вантажу та значні економічні збитки. Саме тому проблема формування професійних компетентностей моряків не може розглядатися виключно як внутрішня справа закладу освіти; вона є складником міжнародної системи забезпечення безпеки судноплавства. За даними EMSA, у щорічному огляді морських аварій та інцидентів, оприлюдненому у 2025 році, проаналізовано 26751 випадок за 2015–2024 роки, а лише у 2024 році було зареєстровано 2659 морських аварій та інцидентів [1]. Узагальнення матеріалів Marine Accident Investigation Branch (MAIB) також демонструє повторюваність причин, пов'язаних із втомою, недостатньою підготовкою, неефективними процедурами, помилками ризик-менеджменту та порушеннями організації вахти [2]. У таких умовах якість підготовки морських фахівців безпосередньо впливає на рівень безпеки на морі.

Для України ця проблема має не лише освітній, а й економічний та міжнародно-правовий вимір. Підготовка моряків здійснюється відповідно до вимог Конвенції ПДНВ і національних нормативних актів, а результати навчання мають підтверджуватися не тільки підсумковою атестацією у закладі освіти, а й процедурами незалежного або стандартизованого зовнішнього контролю. У цьому контексті Єдиний державний кваліфікаційний іспит (ЄДКІ) набуває значення механізму верифікації того, наскільки здобувач освіти реально опанував компетентності та результати навчання, необхідні для професійної діяльності на судні.

Проблематика професійної підготовки моряків традиційно розглядається у площині компетентнісного підходу, безпекової орієнтації навчання та відповідності міжнародним стандартам. Базовим документом у цій сфері є Міжнародна конвенція про підготовку, дипломування моряків та несення вахти 1978 року і Кодекс ПДНВ, які визначають мінімальні вимоги до знань, умінь, навичок та способів демонстрації компетентності [3, 4]. Манільські поправки 2010 року закріпили сучасну компетентнісну логіку підготовки, посилили вимоги до практичної складової, медичної придатності, безпекової культури та використання нових технологій [3].

На національному рівні підготовка майбутніх фахівців спеціальності J5 (271) «Морський та внутрішній водний транспорт» регламентується освітніми стандартами, процедурою проведення ЄДКІ, а також нормативними актами щодо присвоєння звань особам командного складу морських суден [5–8]. Саме поєднання освітнього стандарту, вимог Конвенцій та Кодексу ПДНВ, практичної підготовки і підсумкового зовнішнього оцінювання створює підг-

рунтя для об'єктивного аналізу якості формування професійних компетентностей.

Професійна компетентність морського фахівця є інтегрованою характеристикою, що поєднує спеціальні знання, практичні вміння, навички безпечної поведінки, здатність приймати рішення в умовах ризику, працювати в команді та діяти відповідно до міжнародних і національних вимог. Особливість морської професії полягає в тому, що ефективність діяльності визначається не окремим знанням або окремою дією, а здатністю інтегрувати технічні, організаційні, комунікативні й безпекові компоненти у реальній виробничій ситуації [9]. Саме тому компетентнісний підхід у морській освіті має бути практико-орієнтованим.

Для спеціалізації J5.02 (271.02) «Управління судновими технічними системами і комплексами» професійна компетентність формується насамперед навколо кількох змістових блоків: забезпечення безпеки та піклування про людей на судні; експлуатація суднових технічних засобів; електрообладнання, електронна апаратура та системи управління; технічне обслуговування і ремонт. У реальній роботі суднового механіка ці блоки не існують ізольовано: наприклад, несправність електронної системи може вплинути на роботу головної енергетичної установки, а помилка під час технічного обслуговування може призвести до виникнення інциденту, пов'язаного з безпекою. Тому якісне формування компетентностей передбачає не фрагментарне викладання дисциплін, а інтеграцію змісту, кейсові завдання, тренажерну підготовку, моделювання аварійних ситуацій і тісний зв'язок із судновою практикою.

В українській системі морської освіти компетентності підтверджуються через поєднання внутрішнього оцінювання та зовнішньої підсумкової атестації. Порядок атестації здобувачів у формі ЄДКІ затверджено постановою Кабінету Міністрів України № 497 [7]. Крім того, постанова Кабінету Міністрів України № 1499 закріплює зв'язок між результатами морської освіти, перевіркою знань і доступом до подальшого професійного просування та оформлення кваліфікаційних документів [8]. Таким чином, ЄДКІ в системі підготовки моряків виконує не лише контрольну, а й регуляторну функцію.

Аналіз узагальнених результатів складання ЄДКІ за спеціалізацією J5.02 (271.02) за всіма морськими закладами освіти України засвідчує, що рівень сформованості компетентностей відрізняється залежно від освітнього рівня. За бакалаврським рівнем середня кількість правильних відповідей становила 50,01 % зі 100 %, а частка тих, хто не подолав пороговий бал, – 10,71 % [10]. У здобувачів фахової передвищої освіти відповідні показники були нижчими: 39,57 % правильних відповідей у середньому та 13,57 % тих, хто не склав іспит [11]. Такі результати дають підстави стверджувати, що бакалаври загалом демонструють вищий рівень інтегрованої підготовленості до виконання тестових завдань, які перевіряють не окремі фрагменти знань, а готовність застосовувати комплексні професійні уявлення.

Порівняння результатів здобувачів денної та заочної форм навчання засвідчило близькі показники в обох вибірках. У бакалаврів середня кількість правильних відповідей становила 49,97 % у здобувачів денної форми і 50,10 %

у здобувачів заочної форми [10]. У фахових молодших бакалаврів різниця також виявилася невеликою: 39,37 % проти 40,31 % відповідно [11]. Це дає змогу зробити важливий висновок: сама форма навчання не виступає однозначним показником кращого або гіршого результату; вирішальними залишаються зміст навчання, організація самостійної роботи, практична підготовка, мотивація здобувача та якість методичного супроводу.

Особливої уваги потребує змістовий розподіл результатів за розділами програми. У бакалаврів найкращі показники зафіксовано за розділом 2 «Суднові технічні засоби, системи та управління процесами експлуатації судна» – 57 % та за розділом 4 «Технічне обслуговування та ремонт суднових технічних засобів» – 56 %. Розділ 1 «Безпека та піклування про людей на судні» показав 48 %, тоді як найнижчим виявився розділ 3 «Електрообладнання, електронна апаратура та системи управління» – 37 % [10]. Для фахових молодших бакалаврів картина ще більш контрастна: найкращий результат продемонстровано за розділом 1 – 56 %, тоді як три інші розділи отримали по 39 % [11]. Це означає, що здобувачі фахової передвищої освіти відносно впевненіше орієнтуються в безпековій тематиці, але суттєво поступаються в техніко-експлуатаційному й електромеханічному блоці.

Отримані дані дозволяють окреслити кілька проблемних зон. По-перше, спільно слабким компонентом для обох освітніх рівнів є електрообладнання, електронна апаратура та системи управління. Для сучасного флоту це особливо критично, оскільки автоматизація, електронні системи контролю й моніторингу дедалі глибше інтегруються в управління енергетичними установками, безпекою та технічним обслуговуванням судна. По-друге, у здобувачів фахової передвищої освіти потребують посилення також розділи, пов'язані з експлуатацією та ремонтом суднових технічних засобів. По-третє, сам формат ЄДКІ вимагає не відтворення окремих теоретичних положень, а вміння розпізнавати правильну професійну дію в типових і комбінованих виробничих ситуаціях. Отже, проблеми результативності можуть бути пов'язані не тільки зі «знанням теми», а й з обмеженою сформованістю цілісного професійного мислення.

З огляду на це формування професійних компетентностей морських фахівців доцільно вдосконалювати за кількома напрямками. Перший напрям – посилення практико-орієнтованої електротехнічної та електронної підготовки. Йдеться про систематичне відпрацювання читання схем, діагностування несправностей, аналізу сигналів систем контролю, логіки роботи автоматизованих контурів управління, а також про інтеграцію цих питань із темами безпеки, експлуатації та ремонту. Другий напрям – розширення міждисциплінарних модулів і кейсів, у межах яких курсант має одночасно застосовувати знання з механіки, електротехніки, охорони праці, безпеки та управління ресурсами машинної команди. Третій напрям – систематичне застосування формульованого оцінювання, зокрема тематичних тестів, тренувальних сесій у форматі ЄДКІ, аналізу типових помилок та коротких діагностичних контрольних зрізів.

Четвертий напрям – посилення ролі плавальної практики та її методичного супроводу. Суднова практика має бути не лише періодом набуття досвіду, а й

керованим етапом формування компетентностей з чіткими цілями, переліком очікуваних дій, журналом виконаних завдань, оцінюванням наставником і післяпрактичним розбором у закладі освіти. П'ятий напрям – оновлення змісту підготовки відповідно до нових міжнародних вимог.

Оцінювання професійних компетентностей також не повинно обмежуватися одним фінальним іспитом. Для підвищення об'єктивності доцільно комбінувати стандартизоване тестування, практичні демонстрації, тренажерні завдання, ситуаційні кейси, портфоліо практики й експертну оцінку наставників. В умовах морської освіти це особливо важливо, оскільки реальна компетентність проявляється не лише у правильній відповіді на тестове питання, а й у здатності діяти в часі, під тиском, у неповній інформації, в умовах взаємодії з іншими членами екіпажу. Саме комплексна модель оцінювання дозволяє поєднати вимоги стандартизації з вимогами професійної достовірності.

Висновки

Отже, формування професійних компетентностей морських фахівців є багаторівневим процесом, у якому поєднуються міжнародні стандарти Міжнародної морської організації, національні освітні вимоги, практична підготовка на судні та інструменти стандартизованого оцінювання. Аналіз результатів ЄДКІ за спеціалізацією J5.02 (271.02) підтвердив вищий рівень підготовленості бакалаврів порівняно зі здобувачами фахової передвищої освіти, а також виявив спільну проблемну зону – недостатню результативність за розділом «Електрообладнання, електронна апаратура та системи управління». У здобувачів фахової передвищої освіти додаткового посилення потребують також розділи «Суднові технічні засоби, системи та управління процесами експлуатації судна» та «Технічне обслуговування та ремонт суднових технічних засобів».

Для підвищення якості підготовки доцільно: посилити практико-орієнтоване вивчення електротехнічних та електронних систем; системно використовувати формувальне оцінювання у форматі, наближеному до ЄДКІ; удосконалити методичний супровід плавальної практики; своєчасно оновлювати освітні програми відповідно до змін у міжнародних морських стандартах. Перспективним напрямом подальших досліджень є створення комплексної системи оцінювання, яка дозволяє визначати рівень професійної компетентності морських фахівців не лише за результатами тестування, а й за практичними вміннями, особливостями професійної поведінки та здатністю до самоаналізу й професійного вдосконалення.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Annual Overview of Marine Casualties and Incidents 2025. EMSA: website. URL: <https://www.emsa.europa.eu/publications/item/5562-annual-overview-of-marine-casualties-and-incidents-2025.html>.
2. MAIB Annual Report 2024. Marine Accident Investigation Branch: website. URL: <https://assets.publishing.service.gov.uk/media/687903be760bf6cedaf5be62/2025-MAIBAnnualReport2024.pdf>.

3. International Convention on Standards of Training, Certification and Watchkeeping for Seafarers (STCW). International Maritime Organization: website. URL: <https://www.imo.org/en/ourwork/humanelement/pages/stcw-convention.aspx>.

4. Comprehensive review of the STCW Convention and Code (FAQ). International Maritime Organization: website. URL: <https://www.imo.org/en/mediacentre/hottopics/pages/comprehensive-review-of-the-stcw-convention-and-code-faq.aspx>.

5. Стандарт вищої освіти України. Перший (бакалаврський) рівень вищої освіти. Галузь знань – 27 Транспорт, спеціальність - 271 Річковий та морський транспорт. Затверджений Наказом МОН України від 13 листопада 2018 року №1239 зі змінами.

6. Стандарт фахової передвищої освіти України. Освітньо-професійний ступінь «фаховий молодший бакалавр». Галузь знань – 27 Транспорт, спеціальність – 271 Морський та внутрішній водний транспорт. Затверджений Наказом МОН від 24 квітня 2024 року № 575.

7. Про атестацію здобувачів ступеня фахової передвищої освіти та ступенів вищої освіти на першому (бакалаврському) та другому (магістерському) рівнях у формі єдиного державного кваліфікаційного іспиту. Постанова Кабінету Міністрів України від 19 травня 2021 року № 497.

8. Деякі питання присвоєння звань особам командного складу морських суден. Постанова Кабінету Міністрів України від 30 грудня 2022 року № 1499.

9. Парменова Д. Г., Бондар С. А., Розлуцький О. М. Професійна підготовка суднових механіків у сучасних умовах. Матеріали науково-технічної конференції «Морський та річковий флот: експлуатація і ремонт», 24.03.2022–25.03.2022. Одеса: НУ «ОМА», 2022. С. 147–152.

10. Звіт про результати складання Єдиного державного кваліфікаційного іспиту зі спеціальності 271 «Морський та внутрішній водний транспорт» на першому (бакалаврському) рівні вищої освіти. Дата проведення: 28 травня 2025 року.

11. Звіт про результати складання Єдиного державного кваліфікаційного іспиту зі спеціальності 271 «Морський та внутрішній водний транспорт» на рівні фахової передвищої освіти. Дата проведення: 29 травня 2025 року.

Парменова Д.Г., Кулешов І.М.
Національний університет «Одеська морська академія»

Цифрові інструменти декарбонізації морського транспорту

Декарбонізація морського транспорту перетворилася на системну управлінську, технічну та економічну проблему. Після ухвалення Міжнародною морською організацією Стратегії 2023 року щодо скорочення викидів парникових газів із суден вимоги до екологічності судноплавства істотно посилилися: збережено ціль зниження вуглецевої інтенсивності щонайменше на 40 % до 2030 року порівняно з 2008 роком, визначено орієнтир досягнення нульового балансу викидів міжнародного судноплавства приблизно до 2050 року, а також встановлено мету щодо забезпечення до 2030 року щонайменше 5 % загального енергоспоживання міжнародного судноплавства за рахунок технологій, палив та джерел енергії з нульовими або майже нульовими викидами парникових газів, із прагненням довести цю частку до 10 % [1]. За таких умов судноплавні компанії, порти, класифікаційні товариства, розробники суднових енергетичних установок і органи державного та міжнародного регулювання потребують не лише нових паливних рішень, а й якісно нового рівня цифрового управління судновими операціями, технічним станом обладнання, логістикою та верифікацією викидів.

Цифровізація у цьому контексті є не допоміжним, а базовим елементом декарбонізації, оскільки саме цифрові дані дають змогу перетворити загальні екологічні орієнтири на конкретні експлуатаційні рішення: вибір швидкості, маршруту, режиму енергоспоживання, часу прибуття до порту, параметрів технічного обслуговування та поєднання джерел енергії, що використовуються на судні. У сучасних дослідженнях зазначається, що цифровізація здатна підтримувати декарбонізацію як у судноплавстві, так і в портах та суміжних логістичних системах [2], тоді як її результативність визначається стандартизацією даних, міжорганізаційною координацією та готовністю персоналу працювати з новими інструментами [3].

Метою дослідження є визначення цифрових інструментів, що реально сприяють скороченню викидів на морському транспорті, з'ясування механізмів їх інтеграції з міжнародними та регіональними екологічними вимогами, а також окреслення ключових обмежень їх практичного впровадження.

У сучасних наукових працях декарбонізація морського транспорту дедалі частіше розглядається у взаємозв'язку з цифровою трансформацією судноплавства, портової інфраструктури та логістичних ланцюгів. Дослідження показують, що досягнення цілей зі скорочення викидів пов'язується не лише з модернізацією флоту та впровадженням альтернативних палив, а й із цифровими інструментами, які поєднують експлуатаційні, енергетичні, екологічні та нормативні параметри в єдину систему прийняття рішень [1, 3].

Окремий напрям становлять праці, присвячені системам цифрового моніторингу, звітності та аналітики, що забезпечують виконання вимог щодо енергоефективності та викидів. У центрі уваги перебувають питання збору, переда-

вання, верифікації та інтерпретації експлуатаційних даних судна для забезпечення відповідності вимогам СІІ, SEEMP та DCS. Зокрема, у дослідженні [5] розроблено спрощену систему моніторингу для малих і середніх суден, яка на основі обмеженого набору параметрів формує достатньо інформативну картину щодо швидкості, потужності, витрати палива, викидів CO₂ та загальної ефективності судна. У професійних аналітичних матеріалах IMarEST підкреслюється, що саме дані, отримані під час експлуатації, створюють підґрунтя для зниження витрати палива, скорочення викидів та прийняття більш обґрунтованих операційних рішень [6].

Значний масив публікацій присвячено цифровій оптимізації рейсу, погодній маршрутизації та прибуттю точно в строк. У цих роботах доводиться, що врахування прогнозованих гідрометеорологічних умов, параметрів навантаження судна та критеріїв безпеки дає змогу зменшувати витрати палива без погіршення безпеки судноплавства [7, 8]. При цьому сучасні дослідження та аналітичні матеріали розглядають оптимізацію рейсу і погодну маршрутизацію як частину ширшої системи координації між судном, портом і логістичним ланцюгом, у якій прибуття точно в строк виступає засобом зниження простоїв і надлишкового спалювання палива [9].

Перспективним напрямом є застосування цифрових двійників судна та його підсистем. У роботі [10] цифровий двійник використано для маршрутизації судна з урахуванням вимог декарбонізаційного регулювання, що дало змогу поєднати реальні експлуатаційні та метеорологічні дані з фізичною моделлю оцінювання викидів. Поряд із цим окремі дослідження та прикладні матеріали приділяють увагу інструментам штучного інтелекту, машинного навчання та технічного обслуговування на основі прогнозування стану. Вони спираються на великі обсяги експлуатаційних даних, судову сенсоріку, рейсову звітність і технічні параметри обладнання, що створює основу для прогнозування енергоспоживання, раннього виявлення відхилень у технічному стані та підвищення паливної економічності [11, 12, 13, 14].

Окреме місце в сучасних дослідженнях належить цифровізації портів і декарбонізації ланцюга перевезення. Дослідники підкреслюють, що істотна частка надлишкових викидів формується на стику взаємодії судна з портом унаслідок неузгодженості операцій, неточності часу прибуття та простоїв суден із працюючими допоміжними двигунами. У роботі [14] продемонстровано можливість використання портового цифрового двійника для покращення прогнозу часу прибуття суден і зменшення викидів CO₂ під час рейсу. Водночас документи ІМО та акти ЄС акцентують значення берегового електропостачання, постачання низьковуглецевої енергії та оптимізації логістичного ланцюга як важливих складових декарбонізації морської галузі [1, 4, 15, 16].

Таким чином, аналіз останніх досліджень дає підстави стверджувати, що цифрові інструменти дедалі більше розглядаються як системна основа декарбонізації морського транспорту. Водночас подальших досліджень потребує інтеграція цих інструментів у єдині цифрові екосистеми, здатні забезпечувати комплексне управління енергоефективністю, викидами та екологічною відповідністю.

Цифровізація морського транспорту виступає не лише засобом підвищення операційної ефективності, а й інструментом забезпечення декарбонізації судноплавства. Її практичне значення полягає у формуванні цілісного інформаційного контуру, в межах якого дані про роботу судна, енергетичної установки, маршрут, портову взаємодію та паливне забезпечення перетворюються на основу для технічних, експлуатаційних і нормативно зумовлених рішень.

Першу групу цифрових інструментів становлять системи моніторингу, звітності та аналітики показників енергоефективності і викидів. Саме розвиток таких систем робить реальним виконання вимог СІІ, SEEMP та DCS. Цифрові платформи енергетичного моніторингу об'єднують судові датчики, витратоміри палива, дані глобальної системи позиціонування й автоматичної ідентифікаційної системи, метеорологічну інформацію, дані про режими роботи судової енергетичної установки та берегові аналітичні модулі. Це забезпечує перехід від звітності за минулий період до майже безперервної оцінки вуглецевої інтенсивності рейсу, судна й окремих режимів роботи енергетичної установки. Однак сам збір даних ще не гарантує результату: декарбонізаційний ефект виникає тоді, коли цифровий контур перетворює дані на керівні дії - прогноз рейтингу СІІ, попередження про зростання витрати палива, автоматизовану перевірку відповідності звітності та виявлення відхилень у профілі енерговитрат [5, 6].

Другу групу становлять системи оптимізації рейсу, погодної маршрутизації та прибуття точно в строк. Вони впливають на витрати палива й викиди, оскільки дають змогу уникати необґрунтовано високої швидкості, тривалого очікування біля порту та проходження маршрутів із високим хвильовим опором. За наявності прогнозу погоди, даних про осідання, вантажний профіль, стан корпусу та гвинта оператор отримує можливість у реальному часі визначати компроміс між строком доставки, рейтингом СІІ, витратами на паливо та потенційними вуглецевими платежами. Реальний ефект досягається тоді, коли оптимізація маршруту узгоджується з часовим вікном обслуговування судна в порту, готовністю причалу, вантажно-технологічними операціями терміналу та логістичним ланцюгом [7, 8, 9].

Третім напрямом є цифрові двійники судна та енергетичних систем. Для морського транспорту цифровий двійник є динамічною цифровою моделлю судна, його підсистем або маршруту, яка безперервно оновлюється експлуатаційними даними й дозволяє оцінювати наслідки рішень до їх фактичної реалізації. Це дає можливість моделювати вплив швидкості, стану моря, технічного стану, типу палива, стратегій розподілу навантаження або використання гібридних енергетичних установок на паливоспоживання та викиди. У результаті цифровий двійник виходить за межі технічної візуалізації та стає інструментом підтримки рішень щодо дотримання нормативних вимог і підвищення енергоефективності [10].

Четверту групу становлять інструменти штучного інтелекту, машинного навчання та прогнозного технічного обслуговування. Їх значення полягає в ранньому виявленні прихованих відхилень у роботі енергетичного обладнання, які поступово призводять до збільшення питомих витрат палива. Погіршення

стану форсунок, турбонагнітача, систем наддуву, теплообмінних поверхонь, валопроводу чи підводної частини корпусу не завжди супроводжується негайними відмовами, але може систематично збільшувати енергетичні втрати й викиди. Якщо такі зміни виявляються раніше за допомогою алгоритмів аномалій, цифрових профілів навантаження та прогнозних моделей, судно уникає накопичення прихованих втрат. Саме тому інструменти штучного інтелекту та машинного навчання слід розглядати не як додатковий сервіс, а як засіб запобігання погіршенню енергоефективних характеристик судна [11, 12, 13, 17].

П'ятою групою є цифрові рішення, пов'язані з портовою цифровізацією та декарбонізацією транспортно-логістичного ланцюга. Значна частина надлишкових викидів формується не лише під час рейсу, а й у процесі взаємодії судна з портом. Несвоєчасна інформація про готовність причалу, неузгодженість термінальних операцій, відсутність точного часу прибуття, простої на підходах і стоянка із працюючими допоміжними двигунами зумовлюють додаткове спалювання палива. У центрі уваги має перебувати система «судно - порт - термінал - ланцюг доставки», в якій скорочення викидів досягається не лише шляхом переходу на інше паливо, а й через усунення операційної неузгодженості. У цьому контексті особливого значення набувають цифрові портові платформи, портові цифрові двійники та цифрова підтримка використання берегового електропостачання й низьковуглецевих енергоносіїв [1, 4, 14].

Попри значний потенціал, цифровізацію не можна розглядати як самодостатнє рішення. Її результативність залежить від якості даних, коректності калібрування датчиків, повноти телеметрії, сумісності форматів і міжорганізаційної довіри. Важливо також враховувати, що цифрові системи не можуть замінити оновлення флоту, впровадження альтернативних палив, використання берегової енергії та модернізацію судових енергетичних установок. Водночас саме цифрові інструменти забезпечують узгодження технологічних, експлуатаційних і нормативних рішень, а сучасні підходи до оцінювання викидів у межах життєвого циклу палива вимагають працювати не лише з даними про спалювання палива на борту, а й із верифікацією його походження, життєвого циклу та екологічних характеристик [3, 15, 16].

Висновки

Декарбонізація морського транспорту в сучасних умовах уже не може бути реалізована винятково за рахунок переходу на нові види палива або встановлення окремих технічних рішень. Її необхідною умовою є цифровізація судових, портових і логістичних процесів, оскільки саме цифрові інструменти забезпечують вимірюваність, прогнозованість і керованість викидів. Найбільший практичний ефект для декарбонізації дає поєднання систем моніторингу та звітності щодо енергоефективності, оптимізації маршруту і часу прибуття, цифрових двійників, інструментів штучного інтелекту та інтегрованих платформ координації між судном, портом і логістичним ланцюгом. Подальші дослідження і практичні проекти доцільно спрямовувати на інтеграцію цифрових платформ із вимогами Міжнародної морської організації, регламенту FuelEU Maritime, системи торгівлі квотами на викиди Європейського Союзу та підхо-

ду, що ґрунтується на оцінюванні життєвого циклу палива, а також на розвиток компетентностей екіпажу та берегових фахівців у сфері управління судновою енергоефективністю на основі даних.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Resolution MEPC.377(80) - 2023 IMO Strategy on Reduction of GHG Emissions from Ships, adopted on 7 July 2023.
2. Agarwala P. Using digitalisation to achieve decarbonisation in the maritime transport sector // Journal of Shipping and Trade. 2021. DOI: 10.1080/25725084.2021.2009420.
3. Tijan E., Jovic M., Aksentijevic S., Pucihar A. Digital transformation in the maritime transport sector // Technological Forecasting and Social Change. 2021. Vol. 170. DOI: 10.1016/j.techfore.2021.120879.
4. Decarbonising maritime transport - FuelEU Maritime. European Commission: вебсайт. URL: https://transport.ec.europa.eu/transport-modes/maritime/decarbonising-maritime-transport-fueleu-maritime_en
5. Kim S., Kim H., Jeon H. Development of a Simplified Performance Monitoring System for Small and Medium Sized Ships // Journal of Marine Science and Engineering. 2023. Vol. 11, no. 9. Article 1734. DOI: 10.3390/jmse11091734.
6. Data Driven Operations in Maritime Decarbonisation 2025. IMarEST: вебсайт. URL: <https://www.imarest.org/asset/C0DE9F23-85E1-4121-A1B310C6DAD1B0BD/>
7. Kytariolou A., Delis A., Ventikos Y., Hamann R. Ship routing optimisation based on forecasted weather data and considering safety criteria // Journal of Navigation. 2022. DOI: 10.1017/S0373463322000613.
8. Sun W., Wang H., Zhang H. et al. An Improved Ship Weather Routing Framework for CII Reduction Accounting for Wind-Assisted Rotors // Journal of Marine Science and Engineering. 2022. Vol. 10, no. 12. Article 1979. DOI: 10.3390/jmse10121979.
9. Why maritime must act now on Intelligent Transport Systems. IMarEST: вебсайт. 2026. URL: <https://www.imarest.org/resource/why-maritime-must-act-now-on-intelligent-transport-systems.html>.
10. Wei Q., Liu Y., Dong Y., Li T., Li W. A digital twin framework for real-time ship routing considering decarbonization regulatory compliance // Ocean Engineering. 2023. Vol. 278. Article 114407. DOI: 10.1016/j.oceaneng.2023.114407.
11. Сагін С. В., Парменова Д. Г. Діагностування технічного стану судових дизелів // Суднові енергетичні установки: наук.-техн. зб. 2025. Вип. 51. С. 66-77. DOI: 10.31653/smf51.2025.66-77.
12. Artificial intelligence in shipping. IMarEST: вебсайт. 2026. URL: <https://www.imarest.org/resource/mp-artificial-intelligence-in-shipping.html>.
13. Сагін С. В., Парменова Д. Г., Верпека А. О. Підвищення паливної економічності дизелів суден морського транспорту // Суднові енергетичні установки: наук.-техн. зб. 2025. Вип. 50. С. 102-115. DOI: 10.31653/50.2025.102-115.

14. Eom J.-O., Yoon J.-H., Yeon J.-H., Kim S.-W. Port Digital Twin Development for Decarbonization: A Case Study Using the Pusan Newport International Terminal // Journal of Marine Science and Engineering. 2023. Vol. 11, no. 9. Article 1777. DOI: 10.3390/jmse11091777.

15. IMO framework on life cycle GHG intensity of marine fuels (LCA). International Maritime Organization: вебсайт. URL: <https://www.imo.org/en/ourwork/environment/pages/lifecycle-ghg---carbon-intensity-guidelines.aspx>.

16. Resolution MEPC.391(81) - 2024 Guidelines on Life Cycle GHG Intensity of Marine Fuels (2024 LCA Guidelines), adopted on 22 March 2024.

17. Wang K., Yan X., Yuan Y., Jiang X. et al. A comprehensive review on the prediction of ship energy consumption and emissions // Ocean Engineering. 2022. DOI: 10.1016/j.oceaneng.2022.112826.

Голікова В.В., Крайнова В.І.,
Національний університет «Одеська морська академія»

Ментальний стан екіпажу як критичний фактор експлуатаційної надійності судна

Вступ. Морська індустрія є однією з основ світової економіки. За різними оцінками, близько 90 % світової торгівлі транспортується морем, що робить професію моряка критично важливою для глобальної логістики. Водний транспорт відноситься до галузей підвищеної небезпеки, де персонал стикається з широким спектром шкідливих та небезпечних факторів. Робота моряків завжди пов'язана з ризиком, але повномасштабна війна додала нові загрози: мінна небезпека, ракетні обстріли портової інфраструктури та блокування суден. Психіка моряка перебуває під подвійним пресом: професійним стресом та переживаннями за безпеку сім'ї на березі. Збереження ментального здоров'я в умовах замкненого простору судна є важливим завданням, оскільки помилки операторів можуть призвести до втрати контролю над складними технічними системами та загибелі всього екіпажу.

Постановка задачі. Проаналізувати інформацію що до стану ментального здоров'я працюючих у морській галузі та сучасних методів управління психоемоційними навантаженнями.

Результати досліджень. Морська галузь продовжує трансформацію, де людський чинник визнається ключовим компонентом безпеки мореплавства. Дослідження показують, що психічний стан екіпажу безпосередньо корелює з кількістю аварій на морі. Однак, за даними останніх звітів, понад 46% моряків повідомляють про симптоми депресії, тривожності або професійного вигорання. Наприклад, одне з міжнародних досліджень виявило, що 38,8 % моряків мають симптоми депресії, а 56,7 % — симптоми тривожності [1].

Проблемі ментального здоров'я фахівців річкового та морського транспорту останнім часом приділяється все більше уваги, оскільки галузь починає усвідомлювати, що від психоемоційного стану членів суднового екіпажу залежить безпека судна та вантажу.

Ментальне здоров'я, згідно з визначенням ВООЗ – це стан щастя, добробуту, в якому людина реалізує свої творчі здібності, може протистояти життєвим стресам продуктивно працювати та робити внесок у суспільне життя [2]. Ментальне здоров'я моряка є прямим результатом дії навколишнього середовища в якому він працює [3].

Сучасні дослідження виділяють три групи деструктивних чинників стресу в сучасних умовах праці моряка [4]:

Геополітична нестабільність та війна: Для українських моряків війна стала домінуючим стресором. Це включає страх за родини, труднощі з ротацією та "провину вцілілого". Ескалація напруженості на Близькому Сході (Червоне море, Ормузька протока) додає страху перед атаками БПЛА та піратством.

Цифрова втомлюваність (Information Overload): Впровадження нових систем моніторингу та звітності створює надмірне когнітивне навантаження. Мо-

ряки змушені обробляти величезні масиви даних, що веде до швидкого виснаження.

Соціальна ізоляція при високій зв'язності: Хоча інтернет на суднах став доступнішим (Starlink тощо), він парадоксально посилив ізоляцію всередині екіпажу: моряки проводять вільний час у гаджетах замість живого спілкування, що руйнує згуртованість команди.

Наукові дослідження свідчать, що серед моряків значно поширені такі психологічні проблеми:

- депресія
- тривожні розлади
- хронічний стрес
- емоційне вигорання
- суїцидальні думки, тощо...

У дослідженні ITF Seafarers' Trust було встановлено, що приблизно 25 % моряків мають симптоми депресії, що значно перевищує рівень у загальній популяції (близько 5–6 %)[4]. .

Інше дослідження, проведене серед 470 моряків, показало:

- депресія — 12,3 %
- тривожність — 11,6 %
- стрес — 5,9 %
- загальні психічні розлади — 42,6 % .

Також було встановлено, що чим довше моряк перебуває на судні, тим вищий ризик депресії, який зростає приблизно на 20 % за кожен додатковий місяць перебування на борту [5].

Основними факторами, що впливають на ментальне здоров'я моряків;

1. Соціальна ізоляція є одним з головних факторів психологічних проблем у моряків. Тривале перебування далеко від родини та друзів призводить до:

- самотності
- емоційного виснаження
- депресії.

Дослідження також показують, що конфлікти в сім'ї є однією з основних причин психологічних проблем серед моряків, які можуть становити понад 50 % випадків психічних розладів .

2. Робочий стрес. Моряки працюють у середовищі, яке часто характеризується високим рівнем відповідальності та ризику. Основні джерела робочого стресу:

- довгі робочі зміни
- перевтома
- складні погодні умови
- небезпечні робочі процеси
- високі вимоги до безпеки.

Ці фактори можуть призводити до хронічного стресу та емоційного вигорання.

3. Порушення сну. Проблеми зі сном є поширеним явищем серед моряків. Через змінний графік роботи та шум на судні моряки часто страждають від:

- безсоння
- поганої якості сну
- хронічної втоми.

Дослідження показали, що поганий сон значно підвищує ризик депресії та тривожності .

4. Вплив цифрових технологій та соціальних мереж. Цікаво, що деякі дослідження виявили зв'язок між використанням соціальних мереж і психологічним станом моряків. Зокрема, було встановлено, що моряки, які проводять більше 2–4 годин на день у соціальних мережах, мають значно вищий рівень тривожності та депресії .Це пояснюється тим, що соціальні мережі можуть: посилювати почуття самотності; нагадувати про проблеми вдома; створювати психологічний стрес.

Психічні розлади серед моряків мають серйозні наслідки як для самих працівників, так і для морської індустрії.

Основні наслідки:

- 1.Зниження продуктивності.
- 2.Підвищений ризик аварій.
- 3.Професійне вигорання.
- 4.Суїцидальні ризики.

Наприклад, статистика деяких досліджень показує зростання випадків суїцидів серед моряків у останні роки .

Це підкреслює необхідність більшої уваги до психологічного благополуччя моряків.

Наукові дослідження пропонують кілька стратегій покращення психологічного стану моряків.

- 1.Психологічна підтримка

Важливим заходом є забезпечення доступу до психологічної допомоги:

- онлайн-консультації психологів
- гарячі лінії підтримки
- психологічні тренінги для екіпажів.

2. Покращення умов праці . Судноплавні компанії можуть покращити психічне здоров'я моряків шляхом:

- скорочення тривалості контрактів
- збільшення часу відпочинку
- покращення умов проживання на судні.

3. Соціальна підтримка. Покращення доступу до інтернету на суднах дозволяє морякам підтримувати контакт з родиною. Це значно зменшує відчуття ізоляції.

4. Освітні програми: проведення тренінгів щодо психічного здоров'я може допомогти морякам:

- розпізнавати симптоми депресії
- управляти стресом
- підтримувати колег.

Погіршення ментального здоров'я призводить до професійного вигорання: згідно з моделлю Job Demands-Resources (JD-R), опублікованою в *MDPI*

(2025), вигорання не є особистою проблемою моряка, а результатом системного дисбалансу. Наслідки вигорання для судна: зниження концентрації, які призводять до помилок при несенні вахти; порушення сну призводять до хронічної втоми, через вібрацію та шум посилює депресивні стани. **Дефіцит кадрів:** Високий рівень стресу змушує кваліфікованих офіцерів залишати галузь, що створює прогнозований дефіцит у 90,000 спеціалістів до кінця 2026 року. Новітні стратегії підтримки та профілактики: Сучасна морська медицина переходить від «лікування симптомів» до «превентивної стійкості» [6].

Короткі рекомендації Self-Care для моряків на основі матеріалів ISWAN (2025). Рекомендації для моряків (Self-Care) [7].

1. Інформаційна гігієна: обмежуйте перегляд негативних новин або тривожної інформації з дому, особливо перед сном. Намагайтеся встановити певний час для перевірки новин або соціальних мереж. Надмірне споживання негативного контенту може підвищувати тривожність і погіршувати сон.

2. Фізична активність: навіть 20–30 хвилин вправ щодня (розтяжка, віджимання, тренування на палубі) допомагають знижувати рівень стресу. Регулярна активність сприяє зниженню рівня гормону стресу (кортизолу) та покращує сон і концентрацію. Фізична активність є одним із простих способів підтримувати психологічне благополуччя під час рейсу.

3. Соціалізація на борту: спільні обіди, настільні ігри, перегляд фільмів або спортивні активності допомагають зменшувати відчуття ізоляції. Дослідження показують, що соціальна взаємодія на судні підвищує моральний дух і знижує рівень стресу серед екіпажу.

4. Підтримка зв'язку з родиною: регулярні повідомлення або відеодзвінки допомагають зменшити відчуття самотності та підтримувати сімейні відносини. Багато моряків використовують смартфони під час відпочинку для спілкування з близькими.

5. Звернення по допомогу: якщо з'являються симптоми тривалого стресу, тривоги або депресії, важливо звертатися за підтримкою. Міжнародні служби, такі як SeafarerHelp, надають безкоштовну та конфіденційну допомогу морякам 24/7.

Попри значну кількість досліджень, тема ментального здоров'я моряків залишається недостатньо вивченою.

Майбутні дослідження повинні зосередитися на: впливі цифрових технологій на психічне здоров'я моряків; довгострокових наслідках війни; ефективності програм психологічної підтримки.

Висновки:

Ментальне здоров'я моряків є важливою проблемою сучасної морської індустрії. Наукові дослідження показують, що моряки значно частіше стикаються з депресією, тривожністю та стресом, ніж багато інших професійних груп. Основними причинами цих проблем є: тривала ізоляція; складні умови праці; перевтома; порушення сну; сімейні та соціальні фактори.

Покращення умов праці, доступ до психологічної допомоги та підтримка з боку судноплавних компаній можуть значно покращити психічне благополуччя моряків.

Забезпечення ментального здоров'я моряків є не лише гуманітарною проблемою, але й важливим фактором безпеки мореплавства. У 2026 році ментальне здоров'я моряка — це не «бонус», а критичний експлуатаційний параметр судна. Судноплавні компанії, які ігнорують психологічний стан екіпажу, стикаються з вищими страховими ризиками та плинністю кадрів.

Ментальне здоров'я моряка — це не приватна справа особи, а критичний актив судноплавної компанії. Нехтування цим аспектом призводить не лише до особистих трагедій, а й до значних фінансових збитків через аварійність.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.

1.Sharma, K. (2024). Depression, Stress, Anxiety, and Burnout among Indian Seafarers. *International Journal of Public Health Excellence*. Vol. 3, No. 2, pp. 542–548. <https://doi.org/10.58860/ijphe.v3i2.167>

2. Ментальне здоров'я : офіц. сайт / Всесвітня організація охорони здоров'я. URL: <http://www.who.int> (дата звернення: 10.03.2026).

3.Безлуцька О. П., Зінов'єв В. І. Людський фактор в аварійності на морі та ментальне здоров'я моряків. *Проблеми сталого розвитку морської галузі (PSDMI-2021)* : матеріали міжнар. наук.-практ. конф. (Херсон, 3–5 листопада 2021 р.). Херсон : ХДМА, 2021. С. 140–142.

4.Seafarers' Mental Health and Wellbeing. *ITF Seafarers' Trust / Yale University*. 2019. URL: <https://www.seafarerstrust.org/>

5.Prevalence and associated factors of psychosocial distress among seafarers during COVID-19 pandemic / F. Baygi, N. Mohammadian Khonsari, A. Agoushi et al. *BMC Psychiatry*. 2021. Vol. 21, No. 1. Art. 222. DOI: 10.1186/s12888-021-03197-z.

6.Wang, H., & Liu, Z. (2025). Sustainable Human Resource Management in Maritime Industry: Application of the JD-R Model to Seafarers' Wellbeing. *Sustainability (MDPI)*, 17(1), 452. <https://doi.org/10.3390/su17010452> .

7. Self-Care для моряків: посібник з ментального здоров'я та благополуччя / International Seafarers' Welfare and Assistance Network (ISWAN). — Вид. 2.0. — Лондон : ISWAN, 2025. — 42 с. — URL: <https://www.seafarerswelfare.org/resources> (дата звернення: 10.03.2026).

Олійник В.В.

Національний університет «Одеська морська академія»

Організація порятунку людей із повітряних подушок затоплених кораблів та суден

Мореплавання було і залишається однією зі сфер людської діяльності, пов'язані з можливістю аварії та ризиком для життя людей.

Імовірний ризик для життя людини на морському транспорті значно вищий, ніж на авіаційному та залізничному транспорті, але нижчий ніж на автомобільному.

Щорічно у світовому морському флоті зазнають аварії тисячі суден, водотоннажністю понад 500 рег.т. з яких близько 2.000 гинуть.

Однак було б докорінно невірним списувати всі аварії на морську стихію.

На думку фахівців, приблизно 10% аварій можуть бути віднесені до так званих форс-мажорних обставин-невизначеної дії стихії.

Ще близько 15% аварій є наслідком недоліків конструкції суден або раптової відмови обладнання. У решті 75% аварій їх безпосередньою причиною були суб'єктивні фактори. Так званий «людський фактор».

Людський фактор це відсутність почуття відповідальності, безтурботність, зневага до заходів безпеки, недостатня професійна підготовка, недоліки в організації суднової служби, недоліки у підготовці до використання рятувальних засобів, недоліки в організації рятувальної служби на березі.

Аварійність морського флоту щороку наражає на безпосередню небезпеку життя велику кількість людей, з яких близько 2.000 гинуть.

Професійна підготовка та моральні якості моряка відіграють вирішальну роль у зменшенні аварійності та сумної статистики загибелі людей.

Аварії морських суден можна розділити на чотири основні групи:

1. Аварії пов'язані з пошкодженням корпусу судна (зіткнення, посадки на мілину, навали, штормові ушкодження). Пошкодження корпусу складає 53% від усіх аварій.

2. Пожежі та вибухи становлять приблизно 6% від усіх видів аварій.

3. Пошкодження систем та механізмів становить 30% від усіх видів аварій.

4. Перекидання суден становить 1% від усіх видів аварій. Але цей вид аварії найнебезпечніший, на нього припадає понад 70% усіх людських жертв. Перекидання суден (оверкіль) відбувається через втрату остійності при затопленні відсіків, сильного хвилювання моря або помилок екіпажу.

Слід мати на увазі, що у ряді випадків розглянуті види аварій можуть протікати одночасно, що ускладнює боротьбу за живучість судна та порятунок екіпажу.

При втраті остійності судна (оверкіль), воно може перебувати певний час на плаву в перевернутому стані, догори днищем, за рахунок повітряної подушки в корпусі судна, і в цій подушці можуть перебувати люди.

Порятунок людей з повітряних подушок, перевернутих суден, дуже складний і небезпечний захід. Під час такого виду рятувальних операцій врятувати усіх людей з повітряних подушок затоплених суден не вдається.

26 вересня 2002 року Сенегальський вантажопасажирський пором «Le Joola» прямував у порт Дакар з 1927 людьми на борту. У 23:00 погіршилася погода, що перейшла в потужний шторм. Пором, через перевантаження і шторм перекинувся вгору днищем і перебував на плаву за рахунок повітряної подушки досить тривалий час. У цій повітряній подушці залишалися живі люди. Але допомога підійшла лише вранці 27 вересня 2002 року. Рятувальники змогли врятувати лише 64 особи. Пором затонув і загинуло 1863 особи.

16 квітня 2014 року південнокорейський вантажопасажирський пором «Sevol» на борту якого знаходилося 476 людей, через різкий поворот порома і різкого зміщення вантажу, внаслідок повороту, перекинувся і пішов практично повністю під воду. На поверхні, через повітряну подушку, залишилися частина днища. У повітряній подушці, що утворилася, залишилися люди. У порятунку людей брало участь 212 суден та 34 одиниці інших видів техніки. Рятувальна операція проводилася протягом кількох днів. Рятувальники закачували кисень під обшивку порома. Водолазам тривалий час, через хвилювання моря і каламутної води не вдавалося потрапити на борт порома. Тільки через 7 днів водолази змогли проникнути в приміщення 3 і 4 палуб порома. В результаті цього, водолазам вдалося підняти велику кількість тіл загиблих. Врятувати вдалося 172 людини, 9 зникли безвісти.

1 травня 2015 року на річці Янцзи перекинулося круїзне судно «Eastern star» Китай. На борту судна знаходилося 456 осіб. До місця аварії судна було стягнуто понад 100 різних плавальних засобів, працювало кілька тисяч рятувальників. Через кілька годин після аварії за допомогою потужного плавучого крана, корпус судна вдалося підняти з води вгору днищем. В середині повітряної подушки «Eastern star» знаходилися люди, було чути стукіт. Евакуація з корпусу судна тривала три доби. У пошуках людей що вижили всередині корпусу, брало участь понад 200 водолазів. З відсіків судна вдалося врятувати 15 осіб. На третю добу було ухвалено рішення розрізати обшивку корпусу, але після цього врятувати взагалі нікого не вдалося. У цій аварії загинуло 434 особи. Саме судно потім підняли на поверхню.

Порятунок людей з повітряних подушок кораблів та суден залишається дуже проблемним і серйозним питанням, яке необхідно вирішити якнайшвидше для виключення великої загибелі людей під час аварій пов'язаних із перекиданням кораблів та суден.

В даний час порятунок людей з відсіків перевернутого судна починають з його обстеження та підтримки його на плаву. Одночасно ведуть простукування корпусу аварійного судна та прослуховування сигналів відповіді. Отримавши сигнал у відповідь, маркують корпус аварійного судна, позначають приміщення в повітряних подушках яких знаходяться люди. Вживає заходів для встановлення зв'язку з людьми у затоплених приміщеннях. Перед початком рятувальних робіт засвідчуються у стійкому стані судна. Намічають найкоротший та найбезпечніший маршрут проходження водолазів у відсіки з людьми. Для забезпе-

чення виведення людей, яких рятують, водолази передають потерпілим автономні дихальні апарати та виводять потерпілих з аварійних приміщень на поверхню.

Для вирішення цієї насущної проблеми пропонується наступне:

1. вихід людей через цистерну, коффердам, або герметичний ділянку подвійного дна у днищевій частині корабля (судна). Але для цього треба конструктивно дообладнати (для виходу людей з повітряної подушки) кораблі та судна під час їх будівництва або модернізації.
2. Виведення людей з повітряних подушок будуть забезпечувати водолази рятувальники через спеціальний знімний люк, який вони повинні будуть встановлювати в місці технологічного вирізу в днищевій частині корабля або судна, де розташована цистерна (це можуть бути цистерни прісної, питної води, провізійні камери, цистерни льяльних вод, а також інші конструктивні елементи корабля (судна), що утворюють герметичну порожнину в діаметральній площині кормового та носового краю), тобто в тих місцях, де з більшою ймовірністю днищова частина корабля (судна) підніматиметься над водою при перекиданні корабля (судна).
3. Цистерна обладнується вхідним герметичним люком, клапанами осушення та вентиляції. Крім того, місце створення технологічного вирізу в зовнішній частині днища для встановлення водолазами рятувальниками спеціального рятувального люка, що знімається, позначається (маркується) для можливості його швидкого виявлення при аварії.
4. В місці розташування цистерни має бути таблиця умовних сигналів (перестукування) для зв'язку людей із відсіків аварійного корабля (судна) з водолазами рятувальниками.

Алгоритм процесу порятунку з повітряної подушки затопленого корабля (судна) полягає в наступному:

1. Рятувальники, які прибули до місця аварії корабля (судна), встановлюють зв'язок з людьми, які перебувають у повітряній подушці корпусу затопленого корабля (судна) за допомогою таблиці перестукування.
2. За рекомендацією рятувальників, люди яких рятують знаходять цистерну, обладнану для забезпечення виходу з затопленого корабля на поверхню. Члени екіпажу та пасажери кораблів (суден), повинні знати місця розташування рятувальних цистерн, маршрути як до них дістатися, інструкцію як цю цистерну (цистерни) готувати для виходу людей на поверхню.

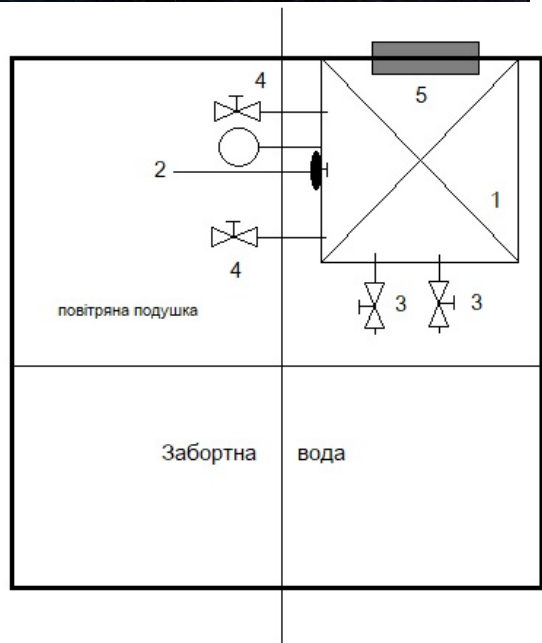
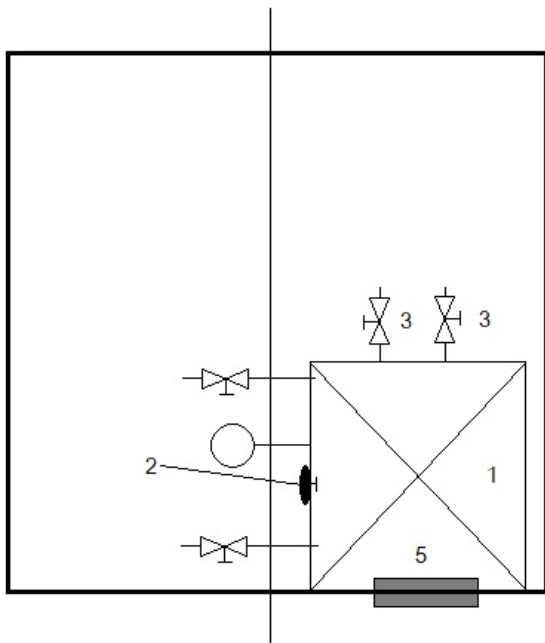
Схема до устаткування цистерн задля забезпечення виходу людей із повітряних подушок затоплених кораблів, (суден) на поверхню.

1. Герметичний люк цистерни з приводами відкривання та закривання як зовні цистерни, так і зсередини цистерни.
2. Два клапани осушення цистерни у разі перекидання корабля (судна).
3. Три клапани вентиляції.
4. Герметична цистерна.
5. Обшивка днища корабля (судна).

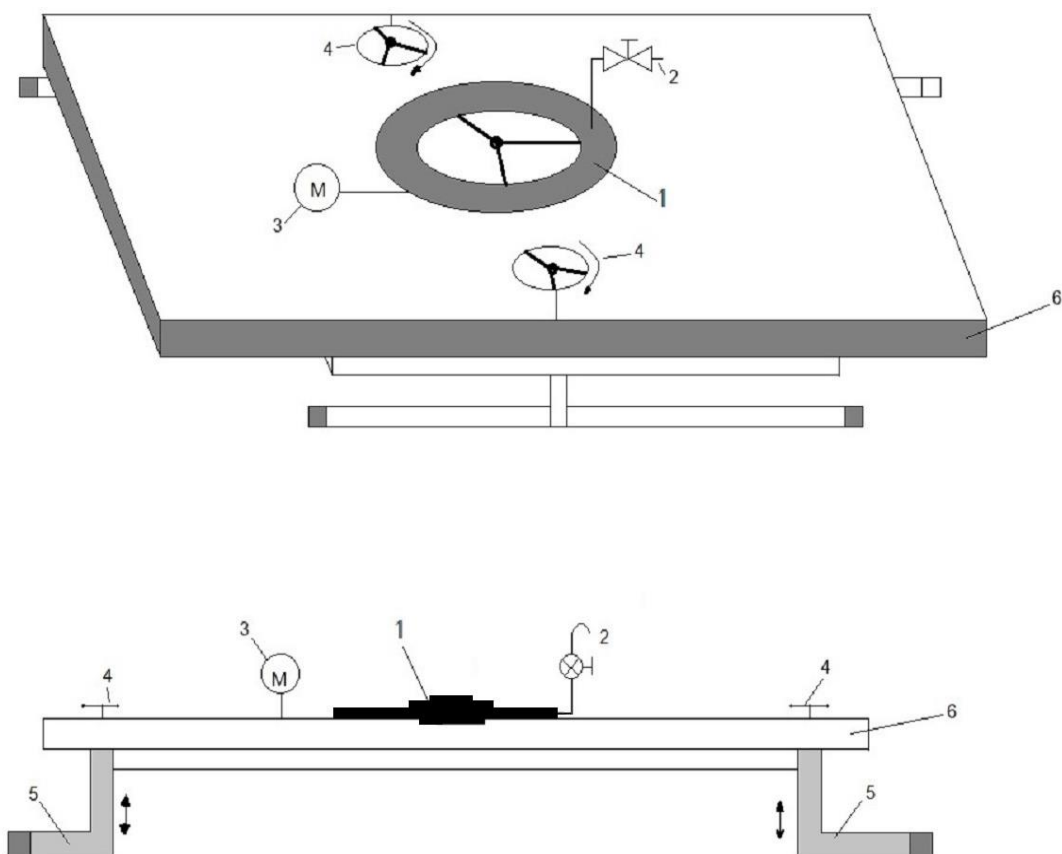
6. Місце виконання технічного вирізу в днище судна.

Рятувальники роблять виріз у зазначеному (позначеному) місці в днищі корпусу корабля (судна) і встановлюють на виріз знімний люк, і якщо є необхідність то і кесон над люком. Знімними люками та кесонами повинні бути обладнанні рятувальні підрозділи (рятувальні судна та буксири).

Після осушення цистерни та вирівнювання тиску в цистерні з тиском у відсіках затопленого корабля (судна), за командою рятувальників, максимально можлива кількість людей, що рятуються, заходять в цистерну і закривають за собою вхідний люк цистерни. Після чого, подають знак рятувальникам про готовність їх до виходу з цистерни. Рятувальники отримавши сигнал про готовність до виходу з цистерни від людей, що рятуються, вирівнюють тиск у цистерні з атмосферним тиском. Відкривають кришку знімного люка і випускають (виводять) людей, що рятуються на поверхню. Після того, як всі врятовані вийшли з цистерни на поверхню, рятувальники закривають (задрайвають) кришку знімного люка, при необхідності, піддувають цистерну стисненим повітрям і подають сигнал людям, що ще знаходяться в повітряній подушці затопленого судна, про готовність цистерни до чергового шлюзування.



1. Цистерна 2. Герметичний люк 3. Клапан зливу 4. Клапан вентиляції 5.Тенологічний виріз під змінний люк



1. Вхідний (вихідний люк) 2. Клапан вентиляції 3. Манометр 4.Зтискні (притискні) гвинти
5. Зтискні (притискні) лапи 6. Плита під люк

Висновок

У роботі запропоновано комплексне технічне рішення для забезпечення евакуації людей із повітряних подушок затопленого корабля (судна). Основою концепції є конструктивне дообладнання суден спеціальними герметичними цистернами з люками, клапанами осушення та вентиляції, а також маркованими технологічними вирізами для встановлення рятувального люка водолазами. Передбачається чіткий алгоритм взаємодії між рятувальниками та постраждалими за допомогою системи умовних сигналів (перестукування). Важливою умовою ефективності запропонованої системи є попередня підготовка екіпажу та знання розташування евакуаційних цистерн і порядку дій у разі аварії. Запропоноване рішення спрямоване на підвищення рівня безпеки мореплавства та зменшення ризику загибелі людей під час перекидання суден.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

[International Convention for the Safety of Life at Sea, 1974](#) (SOLAS-74, English: *International Convention for the Safety of Life at Sea*) is the most important international agreement on the safety of merchant ships. It establishes minimum standards for the design, equipment and operation, adopted by the IMO in 1974 and entered into force in 1980.

Навчання екіпажу використанню колективних рятувальних засобів під час залишення судна у надзвичайних ситуаціях

Вступ. У статті зроблено спробу проаналізувати основні вимоги до принципів навчання екіпажів щодо використання колективних рятувальних засобів під час залишення судна у надзвичайних ситуаціях. Основний упор зроблено на навчання діям екіпажу під час спуску на воду рятувальних шлюпок вільного падіння (Free-Fall Lifeboat).

Актуальність теми. Незважаючи на величезну роботу ІМО зі скорочення аварійних пригод на морі, існує проблема високої кількості нещасних випадків з рятувальними шлюпками під час навчань та/або інспекцій рятувальних шлюпок, у яких члени екіпажу зазнали травм.

Постановка задачі. Провести короткий аналіз вимог Міжнародної конвенції з охорони людського життя на морі 1974 р. (SOLAS-74) з поправками щодо навчання екіпажів експлуатації колективних рятувальних засобів суден та, зокрема, загальних процедур навчання спуску рятувальної шлюпки вільного падіння (Free-Fall Lifeboat) у ситуації "залишити судно" та встановлення шлюпки в положення "по-похідному".

Показати необхідність вивчення інструкції з експлуатації рятувальної шлюпки, поставленої виробником, специфічної для кожного судна, а також вимог документів ІМО.

Виклад основного матеріалу .

Міжнародна конвенція з охорони людського життя на морі 1974р. (SOLAS-74) з поправками, глава III «Рятувальні засоби та пристрої», Правило 19 регламентує терміни та порядок проведення аварійних тренувань та навчань на судах, зокрема, тренувань та навчань, щодо залишення судна

Періодичність навчання:

1. Кожен член екіпажу повинен брати участь принаймні в одному навчанні, щодо залишення судна щомісяця.
2. На пасажирських судах ці навчання проводяться щотижня.

Особлива увага звертається на навчання щодо використання екіпажем колективних рятувальних засобів.

Так, пункт 3.3. визначає, що кожна рятувальна шлюпка, крім шлюпок вільного падіння, повинна спускатися на воду з призначеним екіпажем на борту та маневрувати на воді не рідше ніж 1 раз на 3 місяці.

У той же час підпункт 3.3.4 допускає спуск на воду шлюпок вільного падіння з призначеним екіпажем на борту та маневрувати на воді не рідше 1 разу на 6 місяців. Однак Адміністрація може продовжити цей період до 12 місяців при організації імітації спуску, який проводитиметься з інтервалом не більше шести місяців.

Підпункти 3.3.8, 3.5.4 регламентують тренування та навчання з морськими евакуаційними системами. Навчання повинні включати відпрацювання проце-

дур для розгортання такої системи до моменту, що передує фактичному розгортанню системи. Це питання має доповнюватися регулярним навчанням із використанням бортових навчальних посібників.

При цьому вказується, що всі, хто бере участь у навчаннях, повинні, наскільки це практично можливо, пройти навчання шляхом участі у повному розгортанні аналогічної системи на воді, або на борту судна, або на березі, з інтервалами не більше 2 років, але в жодному разі не більше 3 років .

Пункт 4.3 регламентує терміни та порядок навчання використанню рятувальних плотів, що спускаються за допомогою шлюпбалок.

Навчання повинне проводитися на кожному судні, обладнаному такими засобами, з інтервалом не більше 4 місяців. Це повинно включати надування та спуск рятувального плоту. Цей рятувальний пліт може бути спеціальним, призначеним лише для навчальних цілей і не входить до складу рятувального обладнання судна [1].

Якщо з виконанням вимог Конвенції SOLAS -74 з поправками, викладеними в Розділі III « Рятувальні засоби і пристрої » у Правилі 19 пункті 3.3 підпунктах 3.3.8, 3.5.4, а також у пункті 4.3 труднощів у екіпажів суден не виникає, то вимоги до навчання та тренувань. щодо спуску шлюпок вільного падіння (підпункт 3.3.4) викликали певні питання.

Інциденти найчастіше відбуваються з рятувальними шлюпками під час тренувань та навчань зачіпають всю систему спуску та підйому рятувальних шлюпок / Lifeboat Release and Retrieval Systems (LRRS).

До виявлених причин аварійних пригод із рятувальними шлюпками належать:

- ✓ брак належної підготовки та знань;
- ✓ незнання обладнання;
- ✓ неадекватна оцінка ризиків та планування;

системи, які ще не були модифіковані відповідно до Правил III/1.5 Конвенції SOLAS {встановлює суворі вимоги до систем віддачі та відновлення рятувальних шлюпок (LRRS), зокрема тих, що обладнані механізмами віддачі під навантаженням (on-load release hooks)};.

- ✓ системи із проблемами проектування;
- ✓ системи, які неправильно та погано обслуговуються;
- ✓ проблеми комунікації;
- ✓ самозаспокоєність та недотримання правил техніки безпеки.

Аналіз статистики та досліджень аварійних пригод зі шлюпками показує, що майже всі інциденти відбувалися за участю кваліфікованих моряків.

Вкрай важливо передати викладені уроки аварійної події як працюючим у морі, так і керівництву на березі [2].

Міжнародна морська організація ІМО неодноразово звертала увагу на аварії за участю рятувальних шлюпок [3].

Так 1 липня 2006 року набули чинності поправки (прийняті у травні 2004 року) до Глави III SOLAS. Вони покликані допомогти запобігти аварійним пригодам з рятувальними шлюпками під час навчань та стали результатом роботи, спрямованої на вирішення проблеми неприйнятно високої кількості

нещасних випадків з рятувальними шлюпками, в яких члени екіпажу отримали травми, іноді зі смертельними наслідками, під час участі в навчаннях та/або інспекціях рятувальних шлюпок.

Поправки до Правил SOLAS III/19 - Аварійна підготовка та навчання, та III/20

- Оперативна готовність, технічне обслуговування та перевірки, стосуються умов проведення аварійної підготовки та навчань, щодо використання рятувальних шлюпок, та вносять зміни до оперативних вимог і технічного обслуговування щотижневих та щомісячних перевірок, для обслуговування спускових пристроїв та обладнання для скидання під навантаженням.

Комітет з безпеки на морі (КБМ) на своїй 82-й сесії, що відбулася з 29 листопада по 8 грудня 2006 р., прийняв поправку до Правил III/19.3.3.4 SOLAS, щодо положень про спуск рятувальних шлюпок вільного падіння під час навчань, щодо залишення судна.

Поправка набула чинності 1 липня 2008 р. і дозволяє під час навчань з залишення судна спускати рятувальну шлюпку або вільним падінням зі знаходженням на борту тільки необхідного екіпажу, або спускати її у воду за допомогою аварійного способу (за допомогою порталльної шлюпбалки з таями) без екіпажу. Мета полягає у запобіганні нещасним випадкам із рятувальними шлюпками під час навчань з евакуації з судна.

Комітет з безпеки на морі 19 червня 17 року прийняв Циркуляр ІМО MSC.1/Circ.1578 «Посібник з безпеки під час навчань із залишення судна з використанням рятувальних шлюпок».

Мета: необхідно забезпечити застосування та дотримання відповідних процедур під час навчання екіпажу, щодо експлуатації рятувальних шлюпок вільного падіння на борту судна [4].

Комітет з безпеки на морі на 96-й сесії, що відбулася в травні 2016 року, прийняв поправки до Правил SOLAS III/3 та III/20 резолюцією MSC.404(96), які роблять обов'язковими вимоги до технічного обслуговування, ретельної перевірки, експлуатаційних випробувань спускових пристроїв та пристроїв скидання.

Положення, що набрали чинності 1 січня 2020 року, спрямовані на запобігання аваріям за участю рятувальних шлюпок та вводять єдині стандарти, щодо обслуговування спускових пристроїв та пристроїв скидання, а також вимоги до авторизації, кваліфікації та сертифікації для забезпечення надійного обслуговування.

Прийняття поправок та вимог до технічного обслуговування, ретельної перевірки, експлуатаційних випробувань, капітального ремонту та відновлення є кульмінацією приблизно десятирічної роботи над цим питанням.

Мета полягає в тому, щоб моряки могли бути впевнені, що їхня безпека є першорядною і відображена в обов'язкових вимогах ІМО до рятувальних засобів та обладнання, що знаходяться в їхньому розпорядженні [3].

Під час виконання вимог Конвенції SOLAS -74 слід враховувати важливі зміни 2024–2025 років.

Згідно з поправками до SOLAS-74, для суден валовою місткістю 20 000 рег. тон та більш обов'язкова вимога проведення реального спуску вільним падінням шлюпок під час навчальних тривог може замінюватись симуляціями (Simulated Launching) та відео уроками для підвищення безпеки екіпажу.

Спуск шлюпок вільного падіння у навчальних цілях проводиться для тренування екіпажу, але, на відміну від шлюпок, що спускаються за допомогою шлюпбалок з талями, реальне скидання шлюпок вільного падіння з людьми (Free- fall launch) у навчальних цілях виконується рідко через високий ризик травм

Спуск шлюпок вільного падіння є одним із найбільш відповідальних елементів підготовки екіпажу.

Це видовищний , але потенційно небезпечний процес, який регулюється міжнародними стандартами SOLAS, LSA Code та вимогами Циркуляру ІМО MSC.1/Circ.1578 «Посібник з безпеки при проведенні навчань щодо залишення судна з використанням рятувальних шлюпок» (останнє коригування тексту відбулося у 2023 році).

Основні аспекти навчального спуску шлюпок вільного падіння

Способи спуску:

1. Вільне падіння (реальне скидання): проводяться процедури підготовки шлюпки до скидання, віддаються найтови, оператор пристібається, переконається в готовності екіпажу, віддається спусковий механізм (замок - гідравлічний або механічний пристрій, що утримує шлюпку на рамі і забезпечує її миттєве звільнення) і шлюпка падає з рампи у воду.

2. Навчальний спуск за допомогою порталльної шлюпбалки (стріли гідравлічного крана з лебідкою і гідромотором для підйому шлюпки на борт і управління процесом спуску, якщо він проводиться не в режимі вільного падіння), процедури аналогічні аварійному спуску, шлюпка опускається у воду без вільного падіння, що безпечніше для екіпажу.

3. Навчальна імітація / симуляція (Simulated Launching) спуску на воду за допомогою спускових пристроїв, представлених виробником шлюпки та інструкції до таких пристроїв (проводитися лише зі шлюпками та спусковими пристроями, призначеними для цього).

Процедура імітаційного спуску вказана нижче.

Тобто для шлюпок вільного падіння періодичність навчань та тренувань, згідно з вимогами SOLAS – 74 з поправками, має бути:

➤ раз на 3 місяці : шлюпку необхідно приводить у готовність, екіпаж має зайняти місця, пристебнутися та пройти повний інструктаж . Спуск при цьому проводитиметься: шляхом вільного падіння, або за допомогою порталльної шлюпбалки (secondary means of launching), або навчальної імітації;

➤ раз на 6 місяців : шлюпка має бути фактично спущена на воду. Це може бути або пряме вільне падіння, або контрольований спуск за допомогою порталльної шлюпбалки, якщо це дозволяють місцеві правила чи умови безпеки .

Основні загальні положення щодо безпеки навчальних спусків шлюпок викладені в Додатку MSC.1/Circ.1578 (текст 2023) [4]

Моряки повинні бути знайомі з рятувальними засобами на борту своїх суден і бути впевнені у їхній безпеці та надійності у надзвичайній ситуації. Для досягнення цієї мети потрібні періодичні навчання на борту судна.

Мета навчань та тренувань – розвиток відповідних компетенцій екіпажу, які забезпечують ефективне та безпечне використання обладнання, яке вимагається Конвенцією SOLAS 1974 року з поправками.

Навчання з евакуації з судна повинні плануватись, організовуватись та проводитись відповідно до відповідних вимог до охорони праці та техніки безпеки на борту судна, щоб звести до мінімуму виявлені ризики.

Тренування дають можливість перевірити справність рятувальних засобів, а також наявність супутнього обладнання на місці, у справному стані та готовності до використання.

Перед проведенням навчань необхідно переконатися, що рятувальна шлюпка та її обладнання перебувають у справному стані відповідно до посібників з технічного обслуговування судна та будь-якої супутньої технічної документації, а також вжити всіх необхідних запобіжних заходів. Про будь-які нештатні ситуації, пов'язані зі зносом чи корозією, слід негайно повідомляти відповідального офіцера.

Чим вища кваліфікація членів екіпажу, тим швидше мають виконуватися дії.

Усі навчання повинні бути проведені із забезпеченням їхньої безпеки в усіх відношеннях. Елементи навчань, які можуть бути пов'язані з непотрібними ризиками, вимагають особливої уваги або можуть бути виключені з навчань.

Під час підготовки до навчань відповідальні особи повинні ознайомитися з інструкцією з експлуатації, наданою виробником шлюпки та пристроїв спуску або скидання, що необхідно для правильного планування та проведення навчання чи тренування.

Відповідальні за проведення навчань повинні переконатися, що екіпаж ознайомлений із вказівками, які містяться в інструкціях з експлуатації рятувального обладнання.

Уроки, викладені під час навчань, мають бути задокументовані та включені до подальших обговорень на борту судна.

Спуск шлюпки з усім екіпажем може бути пов'язаний із невиправданим ризиком. Їх слід проводити лише за дотримання особливих запобіжних заходів.

При проведенні навчань слід пам'ятати, що з 1 січня 2026 року набрав чинності пакет поправок до Міжнародного кодексу з рятувальних засобів - LSA-code (резолюції MSC.535(107) і MSC.554(108)), де:

- ✓ підвищуються вимоги до запобігання випадковому роз'єднанню крюків системи підвісу шлюпок до талей під час підйому на борт;

- ✓ уточнюються вимоги до пристроїв однокривої системи підвісу, яка використовується для спуску та підйому чергових шлюпок та рятувальних плотів;

✓ вводяться вимоги щодо розрахунку швидкості спуску рятувальних засобів з використанням талей та лебідок, при цьому вказується, що максимальна швидкість спуску не повинна перевищувати 1,3 м/с.

Ці норми застосовуються до рятувальних шлюпок, чергових шлюпок та рятувальних плотів, встановлених на суднах після 1 січня 2026 року.

Процедури проведення безпечних тренувань мають бути включені до системи управління безпекою (СУБ) судноплавних компаній.

Рятувальні шлюпки, що спускаються за допомогою шлюпбалок та талей

Персонал, який виконує роботи з технічного обслуговування та ремонту рятувальних шлюпок, повинен мати відповідну кваліфікацію.

При проведенні тренувань за участю людей на борту рятувальної шлюпки рекомендується спочатку спустити та підняти шлюпку без людей на борту, щоб переконатися у правильності роботи системи. У цьому випадку шлюпку слід спустити у воду тільки з тією кількістю людей, яка потрібна для її експлуатації.

Щоб запобігти заплутуванню кріпильних елементів або затискачів, перед висуванням шлюпбалки необхідно перевірити правильність фіксації.

Загальні положення щодо імітаційного спуску рятувальних шлюпок вільного падіння під час навчань

Щомісячні тренування з використанням рятувальних шлюпок вільного падіння повинні проводитись відповідно до інструкцій виробника, як правило, під час навчань щодо залишення судна.

Мета: навчання екіпажу правильної посадки в шлюпку, правильному зайняттю своїх місць та використанню ременів безпеки, а також дати знання про дії під час спуску на воду.

Спуск рятувальної шлюпки вільного падіння в рамках навчань має проводитися з мінімальною кількістю персоналу, необхідною для маневрування шлюпкою на воді та її підйому.

Операція з підйому повинна проводитися з особливою ретельністю з огляду на високий рівень ризику цієї операції.

Імітація спуску на воду, що проводиться під час навчань відповідно до Правил III/19 Конвенції SOLAS, є навчанням екіпажу процедурі вільного падіння шлюпки без включення механізму спуску, при цьому завжди слід звертатися до інструкції виробника рятувальної шлюпки з урахуванням рекомендацій, викладених у Посібнику.

Імітація спуску на воду повинна проводитися тільки зі шлюпками та спусковими пристроями, призначеними для цього, та для яких виробник надав інструкції.

Усі учасники повинні бути ознайомлені з інструкціями виробника та порядком спрацьовування механізму скидання. Для ознайомлення та проведення тренувань можуть використовуватись посібники, плакати та відео уроки.

Імітація спуску на воду повинна проводитися під наглядом відповідальної особи, яка має бути офіцером, який має досвід у подібних процедурах, та без фізичного спрацьовування системи вільного падіння.

Перевірка систем скидання повинна проводитись окремо від тренувань з імітації спуску на воду та не проводиться під час них.

Проведення навчань – типова послідовність імітації спуску шлюпки вільного падіння (Правило SOLAS III/19)

1. Перевірте обладнання та документацію, щоб переконатися, що всі компоненти рятувальної шлюпки та спускового пристрою знаходяться у справному стані.

2. Переконайтеся, що весь персонал, який бере участь у навчаннях, ознайомлений з інструкціями з експлуатації, плакатами та відео уроками.

3. Переконайтеся, що утримуючий пристрій, наданий виробником для імітації спуску встановлений та надійно закріплений, а механізм вільного падіння повністю та правильно задіяний.

4. Встановити та підтримувати ефективну комунікацію між призначеною оперативною групою та відповідальною особою.

5. Від'єднайте елементи кріплення, затискачі тощо, встановлені для закріплення рятувальної шлюпки перед виходом у море або для технічного обслуговування, за винятком тих, які необхідні для імітації вільного падіння.

6. Учасники екіпажу піднімаються на борт рятувальної шлюпки та пристібають ремені безпеки під наглядом відповідальної особи.

7. Весь екіпаж залишає рятувальну шлюпку.

8. Поверніть рятувальну шлюпку у стан по-похідному. Переконайтеся, що рятувальна шлюпка повернена у нормальний стан.

9. *Видаліть всі утримуючі та/або рятувальні пристрої, використані лише для імітації процедури спуску на воду.*

Висновки:

1. У статті наведено короткий аналіз вимог SOLAS-74 з поправками до строків проведення навчань та тренувань, щодо використання колективних рятувальних засобів у ситуації "залишити судно".

2. Статистика аварійних морських подій показує, що інциденти зі рятувальними шлюпками на суднах найчастіше відбуваються під час тренувань екіпажу при спусках шлюпок на воду та їх підйомах на борт. У статті наведено основні причини таких інцидентів.

3. У статті проаналізовано вимоги основних загальних положень щодо безпеки навчальних спусків шлюпок, викладених у Додатку MSC.1/Circ.1578 (текст 2023).

4. У статті представлені загальні положення щодо імітаційного спуску рятувальних шлюпок вільного падіння під час навчань, та типова послідовність імітації спуску таких шлюпок.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Міжнародна конвенція з охорони людського життя на морі 1974р. (SOLAS-74) з поправками, глава III «Рятувальні засоби та пристрої» Правило 19 / International Конвенція for the Safety of Life at Sea , 1974 Міністерство інфраструктури України : веб-сайт. URL:
<https://docs.google.com/viewer?embedded=true&url=https://mtu.gov.ua/files/%D0%86%D0%20act%208%2007%2018.docx>
2. Guidelines on safety during abandon ship drills using lifeboats / Керівні принципи безпеки під час навчань з залишення суден з використанням рятувальних шлюпок. <https://insb.gr/technicalnotice/imo-msc-1-circ-1578-guidelines-on-safety-during-abandon-ship-drills-using-lifeboats/>
3. Prevention of accidents involving lifeboats / Запобігання аваріям за участю рятувальних шлюпок.
<https://www.imo.org/en/ourwork/safety/pages/preventionofaccidentsinvolvinglifeboats-default.aspx>
4. Циркуляр ІМО MSC .1/ Circ .1578 «Посібник з безпеки під час проведення навчань із залишення судна з використанням рятувальних шлюпок» (прийнято 19 червня 17 року, текст 2023 року). https://rise.odessa.ua/texts/MS_C1578.php 3/

Загальні принципи спуску на воду рятувальної шлюпки вільного падіння (Free-Fall Lifeboat)

Вступ. Стаття описує загальну процедуру спуску рятувальної шлюпки вільного падіння (Free-Fall Lifeboat) у ситуації "залишити судно" та встановлення шлюпки в положення "по-похідному".

Спусковий пристрій, спуск на воду та підйом на борт рятувальної шлюпки вільного падіння описані з урахуванням загальних принципів роботи механізмів та дій екіпажу.

Ці дії включають збір, підготовку до спуску, посадку та операції після спуску.

Актуальність теми. Залишення судна екіпажем за екстреної необхідності досить складне завдання для екіпажу, а тим більше для не навченої людини. У статті зроблено спробу показати основні принципи дій екіпажу в ситуації «залишити судно» за допомогою шлюпки вільного падіння.

Постановка задачі. Провести короткий аналіз загальних процедур спуску рятувальної шлюпки вільного падіння (Free-Fall Lifeboat) у ситуації "залишити судно" та встановлення шлюпки в положення "по-похідному".

Показати необхідність вивчення інструкцій з експлуатації рятувальної шлюпки, специфічної для кожного судна, оскільки обладнання та процедури дій можуть бути різними на різних судах.

Виклад основного матеріалу.

Шлюпковий спусковий пристрій зазвичай складається з:

- рама - похила конструкція з роликами на які встановлюється шлюпка і якими вона ковзає при спуску;
- спускового механізму (замок – гідравлічний або механічний пристрій, що утримує шлюпку на рамі і забезпечує моментальне звільнення);
- порталної шлюпбалки (стріли гідравлічного крана) з лебідкою та гідромотором (для підйому шлюпки на борт та управління процесом спуску, якщо він проводиться не в режимі вільного падіння);
- кільблоки (елементи, що фіксують шлюпку у похідному положенні);
- гідравлічних систем (дозволяють керувати спуском завантаженої шлюпки);
- посту управління (дозволяє приводить механізм у дію зсередини шлюпки або з палуби) [2].

Шлюпка на судні "по-похідному" встановлюється, спираючись привальним брусом на ролики, які розташовані на напрямних похилій балці (рис.1).

Від скочування її утримують два незалежні механізми (стопори):

1. механізм захоплення в кормовій частині шлюпки перед входом, складається з найтових (строп), які з'єднуються глаголь-гаком, стягуються талрепом, входять у зачіп з елементами шлюпки та шлюпбалки. Талреп дозволяє обтягнути найтів, а дієслово-гак швидко звільнить шлюпку від захоплень;

2. пристрій утримування – кронштейн із гідравлічним поршнем у кормі днища шлюпки та кронштейн на рамі. Вони входять у зачеплення один з одним при встановленні шлюпки по-похідному.

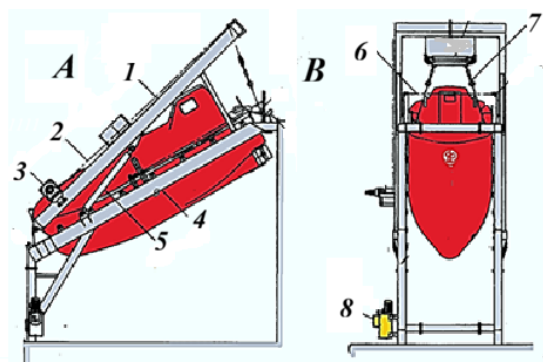


Рис. 1. Шлюпка вільного падіння на штатному місці в положенні «по-похідному»: а) вид із боку: 1 – шлюпбалка; 2 - лопарі шлюпталеї; 3 - лебідка; 4 - рама; 5 – гідравлічний циліндр; 6 - найтов; 7 - підвіси; 8 – блок гідравліки з ручкою керування.

б) вид зверху: 1 – траверси; 2 – шлюпковий найтів; 3 – підвіски; 4 – найтів; 5 –

ручка керування; 6 – блок гідравліки

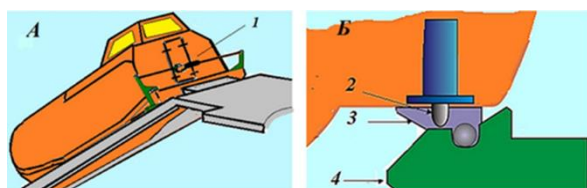


Рис. 2. Механізм захоплення та пристрій утримання шлюпкового спускового пристрою шлюпок вільного падіння: А – механізм захоплення : 1 – найтів з глаголь-гаком та талрепом; Б -

пристрій утримування : 2 - гідравлічний поршень; 3 – кронштейн шлюпки; 4- кронштейн рами

Для віддачі механізму захоплення необхідно за допомогою талрепу послабити найтов та роз'єднати його за допомогою глаголь-гака.

Для віддачі пристрою утримування: гідравлічний поршень, що приводиться в дію гідравлічним насосом, піднімає корми шлюпки і виводить кронштейни із зачеплення (управління у старшого на шлюпці в рубці).

При віддачі стопорів шлюпки вона розганяється під своєю вагою по напрямних похилій рами (на них ролики), входить у воду і виринає на безпечній відстані від судна [2,3,4].

Процедури підготовки до спуску та спуску на воду шлюпки методом вільного падіння.

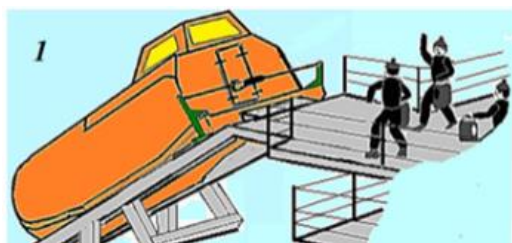
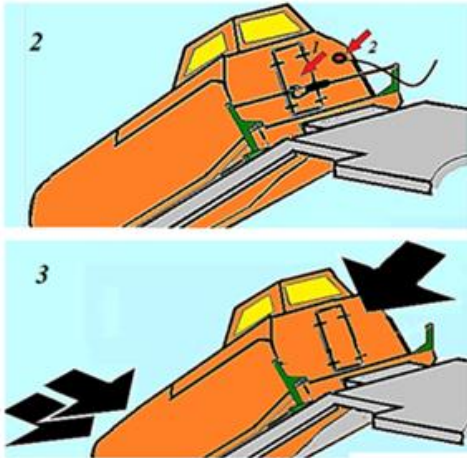


Рис. 4. Підготовки до спуску

1. При оголошенні шлюпкової тривоги: надягти теплий одяг і прибути місце посадки

2. Рятувальні жилети взяти із собою, але не вдягати їх до спуску шлюпки на воду. Порухення цього правила може призвести до серйозних травм або смерті під час спуску.



3. Перевірити відсутність перешкод на шляху скидання шлюпки.

4. Віддати найтов (механізму захоплення) (1) згідно з інструкцією з експлуатації шлюпки на вашому судна.

5. Від'єднати електропровід зарядки акумуляторів шлюпки від живлення судна (2).

6. Включити подачу повітря з балона (усередині шлюпки).

7. Закріпіть усі вільні предмети.

8. Перевірити, щоб клапан осушення (drain valve) було закрито (усередині шлюпки).

9. Старший шлюпки сідає в шлюпку останнім і закриває люк зсередини.

10. Закрити носовий люк та вентиляційний отвір (3). Перевірити всі інші закриття шлюпки відповідно до посібника з експлуатації шлюпки.

11. Старший на шлюпці (зазвичай капітан або хтось із помічників капітана) проводить перевірку готовності шлюпки до спуску на воду. Проводить перевірку екіпажу та переконується, що всі члени екіпажу сидять у кріслах, пристебнули ув'язнені ремені та зафіксували голови. Після цього сідає в кабіну управління і фіксує себе в кріслі згідно з інструкцією. Члени екіпажу повинні триматися за поручні, розташовані на тильній стороні сидінь, що стоять попереду.

12. Старший запускає двигун на нейтральній передачі (якщо це передбачено інструкцією виробника перед спуском). Для випадку якщо людина не підготовлена, то необхідно виконувати процедури запуску двигуна за інструкцією, яка вказана на бортовій переробці кабіни управління.

13. Для віддачі пристрою утримання шлюпки старший:

✓ витягує запобіжну чеку, яка страхує ручку відокремлення;

✓ рухає ручку відділення вгору і вниз (завжди до упору) кілька разів (згідно з інструкцією з експлуатації) для того, щоб роз'єднати (віддати) пристрій утримання шлюпки. Віддача пристрою утримання шлюпки дозволяє шлюпку спускати на воду вільним падінням (скиданням).

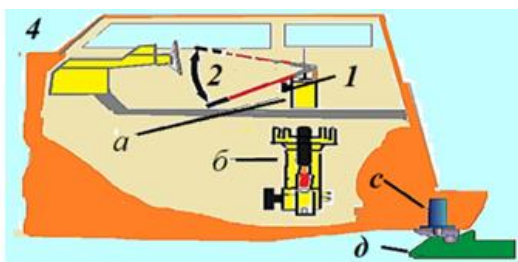


Рис. 5. Система роз'єднання: а – головний насос; б – аварійний насос; с – гідравлічний поршень; д – пристрій утримання.

Роз'єднання: 1. Закрити гвинтовий клапан (1). 2. Запустіть гідравлічний насос (2).

Приблизно після 20 тактів пристрій утримує, і шлюпка буде вільна.

Перед поверненням шлюпки на спускову платформу гідравлічний поршень повинен бути переведений у вихідне положення .

Після приводнення шлюпка має негайно відійти від борту судна.

Якщо спуск методом вільного падіння не можливий через будь-які причини, то є можливість спустити шлюпку за допомогою шлюпталей та гідравліки (рис. 6).

Коли неможливий спуск вільним падінням застосовується спуск на шлюпталях (аварійний спуск).

Такі умови можуть виникнути при виході з ладу системи вільного падіння або на мілководді, за наявності плаваючих під бортом предметів (лід, що опинився за бортом, вантаж) [1,2,3,4].

Спуск шлюпки вільного падіння на шлюпталях за допомогою гідравліки (аварійний спуск)

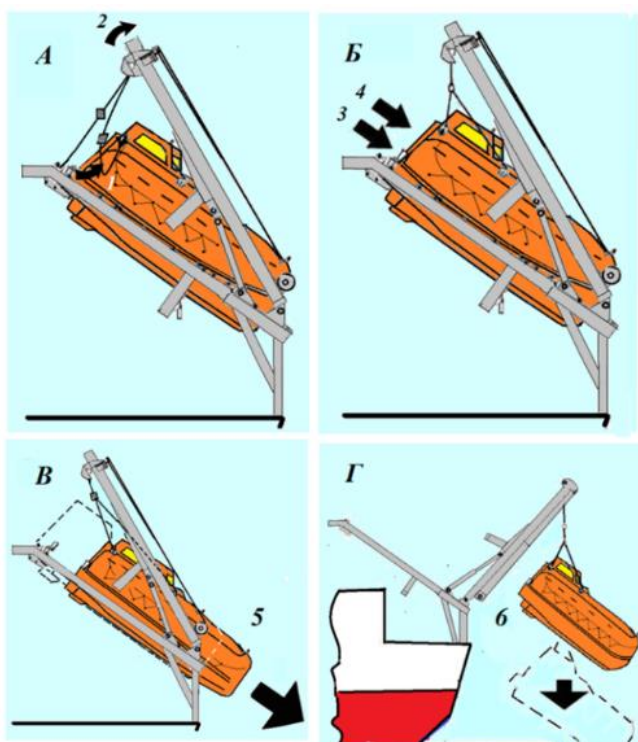


Рис. 6. Основні дії при спуску у воду шлюпки вільного падіння за допомогою шлюпталей та гідравліки:

1. Під'єднати лопар шлюпбалки до стропів підвісу.
2. Піднімати шлюпбалку, доки троси не натягнуться у вертикальному положенні.
3. Звільнити найтові (строп, що стягує захоплення).
4. Пасажирам рятувальної шлюпки зайняти свої місця та пристебнути прив'язні ремені.
5. Запустити гідравлічну систему роз'єднання.
6. Вивалити шлюпбалку за борт, після чого проводиться спуск шлюпки на воду.

Приклад управління шлюпталями та гідравлікою при аварійному спуску (рис. 7,8):

1. Оператор проводить перевірку, щоб переконатися, що спуск на воду підготовлений коректно, згідно з інструкцією.

2. Перевірити і переконатися, що силовий кабель (кабель живлення) проведений всередину шлюпки.

3. Повернути ручку основного живлення в положення «ON» (спалахне лампочка), натиснути кнопку включення «ON» (зелена).

4. За допомогою ручки управління опустити траверсу. Оперувати ручкою управління необхідно згідно з інструкцією з експлуатації шлюпки на вашому

судні. Якщо найтов з гаком повністю ослабіє, слід зупинити опускання для того, щоб віддати підвіску [2,3].

5. Озброїти сталевий строп для з'єднання шлюпки з підвіскою.

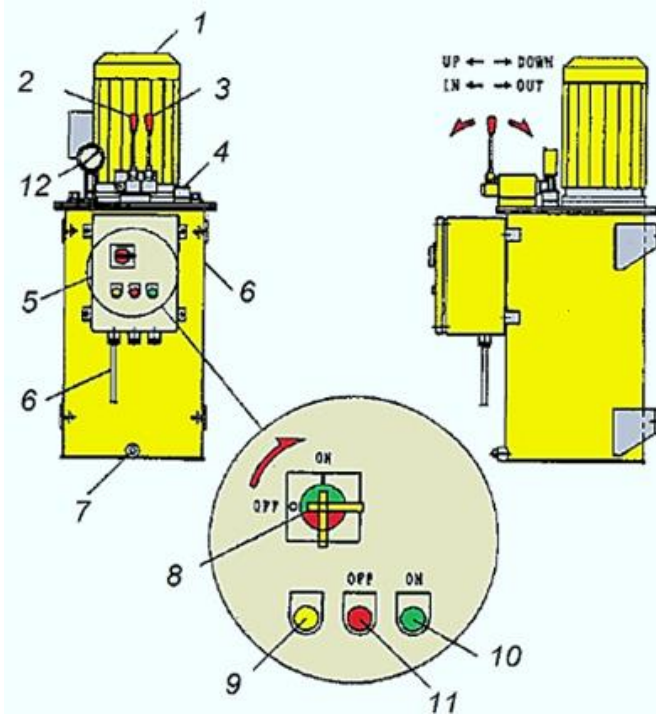


Рис. 7. Елементи керування спуском шлюпки за допомогою гідравліки (аварійний спуск): 1 – електромотор; 2 – ручка управління лебідкою підйому/спуску; 3 – ручка управління зміною вильоту консолю шлюпбалки (вгору – вниз, себе – від себе); 4 – маслоприймач; 5 – стартер; 6 – блок живлення та силовий кабель; 7 – дренажний отвір (включено/вимкнено); 8 – ручка основного живлення (включено ./ вимкнено); 9 – лампочка; 10 – кнопка включення (зелена); 11 – кнопка вимкнення (червона); 12 – манометр

6. За допомогою ручки управління перемістити консолю шлюпбалки в положення для підйому шлюпки. Підйом (опускання) підвіски створює умову, при якій сталевий строп для підвішування шлюпки буде збалансований прикладеним навантаженням (буде набитий прикладеним навантаженням).

7. Члени екіпажу займають місця в шлюпці через кормовий люк.

8. Оператор сідає в шлюпку останнім і закриває люк зсередини.

9. Оператор перевіряє, щоб чи всі члени екіпажу закріпили на собі прив'язні реміні.

10. Оператор сідає в кабінку управління і пристібає прив'язний ремінь.

11. Оператор витягає запобіжну чеку, яка страхує ручку відокремлення.

12. Оператор рухає ручку відокремлення вгору і вниз (завжди до упору) кілька разів (згідно з інструкцією) для того, щоб роз'єднати (віддати) основні найтови.

13. Візуальною перевіркою оператор переконується, що основний найтов відданий.

14. За допомогою руків'я управління вивалити консоль шлюпбалки за борт в положення для спуску шлюпки.

15. За допомогою руків'я управління спустити шлюпку.

16. Оператор запускає двигун відповідно до керівництва з експлуатації шлюпки. Процедури для запуску двигуна на борту кабіни управління.

17. Оператор опускає підвіску до тих пір, поки шлюпка не виявиться на воді, і сталевий строп для підвішування шлюпки не ослабіє повністю.

18. Після приводнення шлюпки і приходу її в горизонтальне положення оператор в шлюпці зовні подає сигнал операторові на судні.

19. Від'єднати (віддати) сталевий строп для підвішування шлюпки від (с) підвіски.

20. Повісити сполучну ланку підвіски на гак на подушці (місце кріплення по-похідному).

21. Оператор управляє шлюпкою і відводить її від судна відповідно до керівництва з експлуатації шлюпки [1].

Висновки:

1. Стаття описує загальну процедуру спуску рятувальної шлюпки вільного падіння (Free-Fall Lifeboat) у ситуації "залишити судно" та встановлення шлюпки в положення "по-похідному".
2. Стаття є корисним посібником для розуміння загальної послідовності дій, але дуже важливо завжди дотримуватись інструкцій з експлуатації рятувальної шлюпки специфічної для кожного судна, оскільки обладнання та процедури дій можуть різнитися на різних судах.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Безпека та охорона на морі: навчальний посібник / М. О. Колегаєв, Д. Г. Парменова, М. А. Мамкічев, Г. В. Ніколаєва, О. М. Розлуцький, Г. Г. Роман, А. П. Сваричевська, Д. Д. Осадчук. За редакцією професора М. О. Колегаєва. – Одеса: Національний університет «Одеська морська академія», Фенікс. – 2020.– 832 с.
2. Посібник з експлуатації, технічного обслуговування, користування рятувальною шлюпкою гравітаційного спуску (згідно з циркулярним листом MSC. 1./Circ/1206
<https://www.scribd.com/document/852192392/LIFEBOAT-MANUAL>
3. Online Third Mate 23 липня 2025 р. SUBJECT: FREE-FALL LIFEBOAT LAUNCHING STEPS (GENERAL APPROACH)
<https://www.facebook.com/onlinethirdmate/posts/subject-free-fall-lifeboat-launching-steps-general-approachfor-future-seafarers-/755587753679632/>
4. Шлюпбалка для спуску методом вільного падіння
<https://markogroup.com/uk/ship-supply/hd-18-free-fall-lifeboat-davit/>

Розлуцький О.М.
Національний університет Одеська морська академія

Аналіз способів управління безпекою мореплавання на сучасному етапі

Вступ

Морський транспорт є однією з найважливіших галузей світової економіки, адже понад 80% міжнародної торгівлі здійснюється морем. Водночас судноплавство пов'язане з високими ризиками: аварії, пожежі, забруднення довкілля, загрози життю екіпажу. Тому питання безпеки на морі набуває стратегічного значення. Безпека мореплавання є однією з ключових умов стабільного функціонування світової транспортної системи. Сучасне судноплавство характеризується зростанням обсягів перевезень, ускладненням навігаційних маршрутів та підвищенням інтенсивності руху суден у прибережних районах. У цих умовах управління безпекою мореплавання базується на поєднанні міжнародного правового регулювання, технічних засобів управління судном та ефективної організації роботи екіпажу.

Ефективність сучасних систем управління безпекою мореплавання визначається здатністю своєчасно виявляти потенційні загрози та запобігати виникненню аварійних ситуацій. Особливу роль відіграє впровадження нових, сучасних інформаційних і навігаційних технологій, які дозволяють значно підвищити рівень ситуаційної обізнаності членів екіпажів суден та зменшити ризик виникнення аварійних ситуацій [2].

Система забезпечення безпеки мореплавання ґрунтується на міжнародних конвенціях і нормативних документах, розроблених Міжнародною морською організацією (ІМО). Основною метою створення цих документів було підвищення безпеки мореплавства шляхом обов'язкового застосування єдиних стандартів в процесі всіх стадій експлуатації суден. Головними з них можливо назвати наступні:

- • Міжнародна Конвенція про охорону людського життя на морі (*International Convention for the Safety of life Sea*), СОЛАС 74/88 / SOLAS-74, яка складається з 15 глав та визначає вимоги до мінімальних стандартів по конструкції, обладнанню і плаванню різних типів суден (навігаційного обладнання та рятувальних засобів, перевезення вантажів, глобальної морської системи зв'язку в разі лиха і для забезпечення безпеки, безпеки мореплавання, спеціальних заходів щодо посилення безпеки на морі, виконання критеріїв перевірки держав-членів ІМО тощо.)[1]
- • Міжнародна Конвенція про запобігання забрудненню моря з суден 1973 р., із змінами, внесеними протоколом 1978 р. (*International Convention for prevention of pollution from ships 1973, as modified by the protocol of 1978*), МАРПОЛ-73/78 / MARPOL -73/78, що встановлює екологічні стандарти експлуатації суден, є базовим документом, основні вимоги якої покладені в основу більшості регіональних угод (Конвенції по захисту Чорного моря, Конвенції по захисту Балтійського моря та ін.), а також національних законодавчих актів щодо запобігання забрудненню морського середовища. [2]

- Конвенція про Міжнародні правила попередження зіткнення суден в морі, 1972 року (*Convention on International Regulations for Preventing Collisions at Sea*), МППСС-72 / COLREG. Сама назва конвенції говорить про її значимість. [3]
- • Міжнародна конвенція про підготовку і дипломування моряків та несення вахти 1978 року, з поправками (*International Convention on Standards of Training, Certification and Watchkeeping for Seafarers*) ПДНВ - 78/SCTW – 78. Конвенція встановлює уніфіковані мінімальні вимоги до підготовки, дипломування та кваліфікації екіпажів морських суден, а також визначає основні принципи несення ходової вахти на містку, у машинному приміщенні і радіорубці. Конвенція закріплює міжнародні стандарти підготовки та дипломування моряків і несення вахти, передбачає положення, що забезпечують належне навчання і підготовку моряків, які повинні мати достатній досвід, навички та кваліфікацію, відповідали вимогам щодо роботи, віку, стану здоров'я. Тобто були придатні до виконання своїх обов'язків щодо забезпечення охорони людського життя, збереження майна, роботи устаткування, а також захисту морського середовища. [4]
- Міжнародна конвенція про готовність до забруднення нафтою, реагування та співробітництво, 1990 (*International Convention on Oil Pollution Preparedness, Response and Cooperation*) OPRC. [5]
- Міжнародна конвенція про контроль суднових баластних вод та осадів, і управління ними 2004 (*Ballast Water Management Convention*) BWMC. [6]
- • Конвенція про відкрите море 1958 р. [7]
- • Міжнародна Конвенція про вантажну марку 1966 р. змінена протоколом 1988 року до неї (*International Convention on Load Lines*), КГМ-66/88 / LL-66. [8]
- Міжнародна конвенція по обміру суден 1969 р. (*International Convention on Tonnage Measurement of Ships*), Tonnage-69. [9]
- • Міжнародна Конвенція і Керівництво з пошуку і рятування на морі (*Search and Rescue Manual*) SAR - 79, а також Керівництво з міжнародного авіаційного і морського пошуку та рятування (*International Aeronautical and Maritime Search and Rescue Manual*) IAMSAR 99. [10,11]
- Міжнародний кодекс з управління безпечною експлуатацією суден і запобіганням забрудненню (*International Safety Management Code*), МКУБ/ISM-Code. [12]
- Міжнародний кодекс морського перевезення небезпечних вантажів з додатками і поправками («Аварійна картка», «Керівництво з надання першої допомоги») ММОГ / IMDG Code. [13]
- • Міжнародний кодекс з побудови та обладнання суден, що перевозять небезпечні хімічні вантажі наливом (*International Code for Construction and Equipment of Ships Carry ing dangerous Chemicals in Bulk*) IBC Code. [14]
- • Міжнародний кодекс з побудови та обладнання суден, що перевозять зріджені гази наливом (*International Code of construction and equipment of the ships transporting liquefied gases in bulk*) IGIC-Code. [15]

- • Міжнародний кодекс безпечної практики перевезення навалювальних вантажів (*Code of Safe practice for solid bulk cargoes*) BC-Code. [16]
- • Міжнародний кодекс з охорони суден і портових засобів (*International Code for the security of ships and the port facilities*) ISPS Code. [17]
- Міжнародний кодекс з рятувальних засобів (*International Life Saving Appliance*) LSA Code. [18]
- • Правила першої медичної допомоги у разі інцидентів, пов'язаних з небезпечними вантажами - MFAG (*Medical First Aid for use in accidents involving Dangerous Goods*) [19] і багато інших.

Можливо визначити, що ці документи формують нормативну основу сучасної системи безпеки мореплавання.

Одним із ключових елементів сучасної системи безпеки є впровадження системи управління безпекою (Safety Management System (SMS)) відповідно до Міжнародного кодексу з управління безпекою (ISM Code), як практичного інструменту, що впроваджується на кожному судні та в компанії-операторі. Кодекс вимагає від суднохідних компаній створення та всебічної підтримки SMS як головної умови сертифікації їх діяльності. [12]

Розглянемо сутність SMS, її структуру, етапи впровадження, переваги та виклики, а також покажемо значення для України як морської держави.

SMS — це комплексна система управління ризиками, яка повинна забезпечувати безпечну експлуатацію суден і захист довкілля. Принципами на яких вона базується, можливо назвати наступні: превентивність — передбачення розвитку ситуацій і завчасне попередження виникнення аварій та інцидентів; системність — інтеграція безпеки у всі процеси судноплавства без виключень; безперервне вдосконалення — постійний моніторинг та регулярне оновлення процедур.

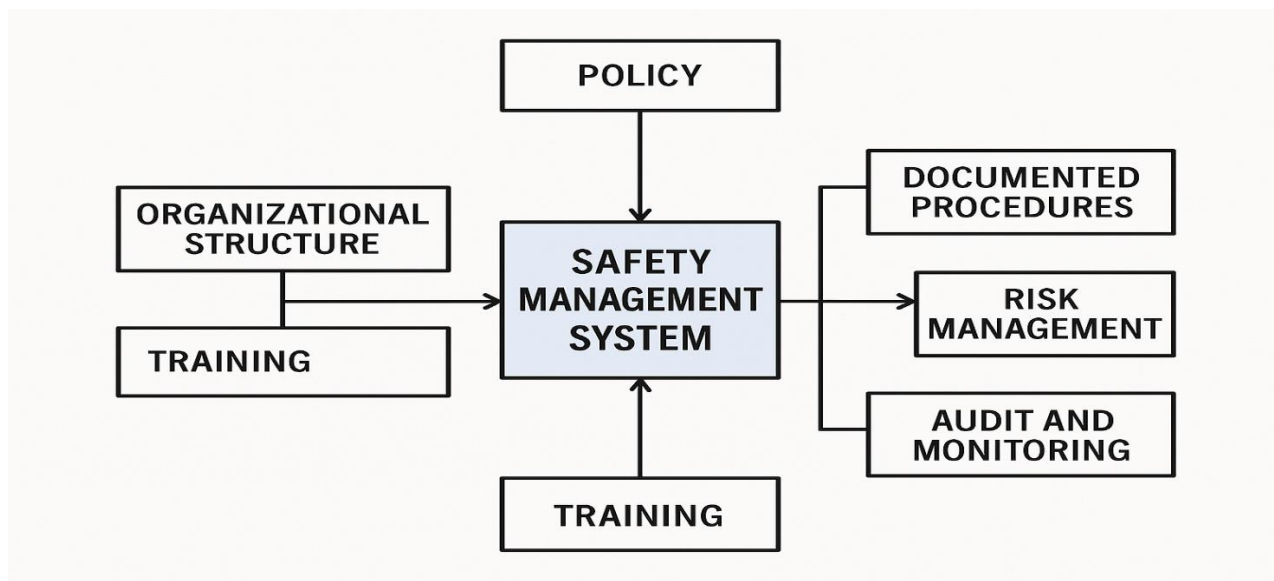


Рис.1 Блок-схема структури SMS.

Система складається з кількох ключових елементів:

- ✓ Політика безпеки — декларація компанії щодо пріоритету безпеки усіх її складових та захисту екології.
- ✓ Організаційна структура — визначення відповідальних серед осіб на судні та менеджменту.
- ✓ Документовані процедури — інструкції для штатних і можливих на да-них суднах аварійних ситуацій.
- ✓ Управління ризиками — аналіз небезпек, оцінка ризиків, заходи зведен-ня їх до мінімуму, на скільки це можливо в конкретній ситуації.
- ✓ Підготовка екіпажу — регулярні навчання, тренінги, симуляції, інструк-тажі.
- ✓ Аудит та моніторинг — внутрішні та зовнішні перевірки, коригувальні дії.

Ця схема добре ілюструє взаємозв'язок між компонентами та показує, що SMS — це не окремі документи, а цілісна система, яка працює лише за умовив спосіб інтеграції всіх її елементів. Її також можливо пов'язати з поетапним впровадженням SMS в дію:

1. Аналіз ризиків — визначення небезпек, пов'язаних з експлуатацією суд-на.
2. Розробка документації — створення політик, процедур, планів реагуван-ня.
3. Навчання персоналу — підготовка екіпажу та берегового персоналу.
4. Практичне застосування — інтеграція процедур у щоденну діяльність.
5. Аудит та вдосконалення — регулярні перевірки, сертифікація, оновлен-ня системи.

За час впровадження SMS в дію, цілком можливо робити поміжні висновки з ефективності такої інновації, які фактори сприяють роботі системи, як вона вплинула на загальну аварійність, що заважає або гальмує її вплив на поліпшення безпекової складової в морській галузі.

По перше розглянемо фактори, що впливають на ефективність:

Якість документації – Чіткі процедури значно зменшують ризик непра-вильних дій.

Підготовка персоналу – Навчений екіпаж швидше і адекватніше реагує на екстремальні ситуації.

Аудит і моніторинг усіх ланок системи – Виявляються помилки і недоліки та своєчасно усуваються.

Культура безпеки – Формує відповідальне ставлення до ризикових ситу-ацій.

Що стосовно ефективності впровадження SMS, то можливо вже виділити ключові результати. Глобальні показники показують зниження аварійності після впровадження SMS, у міжнародних судноплавних компаніях кількість серйозних інцидентів зменшилася на 30–50% протягом перших 5 років.; си-стематичне управління ризиками дозволило зменшити випадки забруднення

моря нафтою та хімікатами, що привело до покращення екологічної безпеки; завдяки чітким процедурам та регулярним тренінгам зросла відповідальність та дисциплінованість персоналу, формується культура безпеки моряків.

Але, на ряду з тим, існує низка факторів, які гальмують позитивний вплив SMS на безпеку судноплавства, попри очевидні переваги, впровадження системи супроводжується труднощами. Деякі компанії впроваджують її лише для сертифікації, формально, не інтегруючи її в реальну роботу. Впровадження системи потребує певних фінансових витрат, тому, особливо в малих компаніях, де бракує ресурсів на документацію навчання та аудит, вона не працює. Звичайно, на роботу системи має вплив суб'єктивний фактор. Опір з боку персоналу не бажаючого змін, який звик працювати «по-старому», навіть найкраща система не гарантує безпеки без належної мотивації.

Висновки

Впровадження SMS у морській галузі — це не лише формальна вимога ІМО, а стратегічний інструмент управління ризиками. Система забезпечує безпеку екіпажу, судна та вантажу, а також захист довкілля. У провідних судноплавних компаніях SMS стала стандартом, що дозволив значно знизити кількість аварій. Практика показує, що компанії, які ефективно впроваджують систему SMS, мають значно нижчий рівень аварійності. Це пояснюється тим, що система управління безпекою передбачає постійний контроль за технічним станом судна, регулярне навчання екіпажу та проведення внутрішніх аудитів. Важливою складовою системи SMS є безперервне вдосконалення процедур управління безпекою, що базується на аналізі інцидентів і аварійних ситуацій.

Для України ефективне застосування SMS є критично важливим для інтеграції у світову систему безпеки та підвищення конкурентоспроможності флоту. В Україні SMS поступово інтегрується у практику портових операторів та судноплавних компаній. Це особливо важливо для Одеси, Чорноморська та інших наших портів, де морські перевезення мають стратегічне значення.

Рекомендації:

- ✓ посилити навчання екіпажів;
- ✓ забезпечити регулярні аудити;
- ✓ розвивати культуру безпеки на всіх рівнях.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. International Convention for the Safety of Life at Sea (SOLAS-74/88). London: IMO, 1974, amended 1988.
2. International Convention for the Prevention of Pollution from Ships (MARPOL-73/78). London: IMO, 1973, amended 1978.
3. Convention on the International Regulations for Preventing Collisions at Sea (COLREG-72). London: IMO, 1972.
4. International Convention on Standards of Training, Certification and Watch-keeping for Seafarers (STCW-78). London: IMO, 1978, with amendments.

5. International Convention on Oil Pollution Preparedness, Response and Cooperation (OPRC-90). London: IMO, 1990.
6. International Convention for the Control and Management of Ships' Ballast Water and Sediments (BWMC-2004). London: IMO, 2004.
7. International Convention on the High Seas. Geneva: United Nations, 1958.
8. International Convention on Load Lines (LL-66/88). London: IMO, 1966, amended 1988.
9. International Convention on Tonnage Measurement of Ships (Tonnage-69). London: IMO, 1969.
10. International Convention on Maritime Search and Rescue (SAR-79). London: IMO, 1979.
11. International Aeronautical and Maritime Search and Rescue Manual (IAMSAR-99). London: IMO, 1999.
12. International Safety Management Code (ISM Code). London: IMO, 1993.
13. International Maritime Dangerous Goods Code (IMDG Code). London: IMO, latest edition.
14. International Code for the Construction and Equipment of Ships Carrying Dangerous Chemicals in Bulk (IBC Code). London: IMO, latest edition.
15. International Code for the Construction and Equipment of Ships Carrying Liquefied Gases in Bulk (IGC Code). London: IMO, latest edition.
16. Code of Safe Practice for Solid Bulk Cargoes (BC Code). London: IMO, latest edition.
17. International Ship and Port Facility Security Code (ISPS Code). London: IMO, 2002.
18. International Life-Saving Appliance Code (LSA Code). London: IMO, latest edition.
19. Medical First Aid Guide for Use in Accidents Involving Dangerous Goods (MFAG). London: IMO, latest edition.

СУЧАСНІ ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ В ОСВІТІ ТА ІНШОМОВНА ПІДГОТОВКА СУДНОВИХ ІНЖЕНЕРІВ

СУДК 378.147:004.9(072):37.091.33-021.68

Цинова М.В., Степанов М.О.

Національний університет «Одеська морська академія»

Practical Recommendations for Engine Cadets at Their First Voyage

The first contract in a cadet's life is the most important and responsible step in a future career. It should be approached very seriously and with thorough preparation.

Based on my experience, I would like to share some useful tips that will greatly help engine cadets during their first voyages.

Section I – Safety

Your life and health are your responsibility. From the first days on board, you must familiarize yourself with life-saving appliances and fire-fighting equipment. You also need to study your **muster list**, which assigns duties in case of a fire alarm or abandon ship procedure.

Approximately once a week, a drills is announced on board to conduct exercises on firefighting, crew evacuation, and the use of life-saving equipment.

You must use a **personal protective equipment (PPE) everywhere**. When working in the engine room, you must wear a coverall, safety shoes, ear plugs, and gloves, and if necessary safety goggles (for example, when cleaning rust from metal).

In the engine room your vigilance must be at maximum: it is very easy to hit something, fall, cut yourself, or get a sprain or fracture.

Section II – Team and Cooperation

Working in a team is not an easy task. People are different, and therefore each person requires a specific approach. Outlook on life, mentality, culture, habits, and religion can either help communication or make it more difficult.

My first contract on a ship went well. Even though some crew members had quite specific characters, I maintained good relations with everyone and we effectively performed our tasks.

At first time on board, you should behave carefully and understand who is who. For good relationships within the crew, I developed several useful rules.

The first rule – **avoid conflicts**. Always try to resolve disagreements peacefully, without screaming or assaults. Sometimes it is better to remain silent and reduce the tension in discussion.

The second rule – **talk less and listen more**. Carefully listen to the instructions of your supervisor (in our case, the second engineer). Ask fewer unnecessary questions and focus more on the work.

I also do not recommend sharing confidential personal information with the crew. A ship's crew is a closed social group, and rumors spread among people faster

than the speed of light. However, you should not overdo it either (avoiding conversations, not greeting others, not interacting). Just think about what you will say.

Section III – Work in the Engine Room

Your main task is to absorb knowledge and take a part in all repair works.

If the second engineer does not give you any instructions, it does not mean that you can sit and do nothing. It is better to approach him and ask if there is any work to do. Then the second engineer will see that you are truly interested in learning and motivated.

You can do simple things: fill a bucket with water, take a mop, clean something, or put tools in workshop.

You can also walk around the engine room and check the main mechanisms. For example, check the operating pressures of the purifiers, inspect the fuel equipment of the main engine or diesel generators for leaks, and check the bilge well levels.

Modern ships have a high level of automation and hundreds of sensors, but sometimes these systems can fail, so personal visual inspection is the most effective and safely.

In your free time, you can study drawings, learn pipelines, what each valve is responsible for, and read maker's manuals. This will improve your ability to read technical diagrams and increase your knowledge of the mechanisms.

And most importantly — participate as much as possible in all work. First, the engineers will see your motivation, which is highly appreciated and will earn you respect. Second, it is necessary for you, because while performing the work you will study the detailed structure of mechanisms and how they operate.

Tsynova M.V., Belinskyi D.L., Biriukov M.S.
National University "Odessa Maritime Academy"

Review of modern vessel technologies

Sea transport is the foundation of international trade and the global economy, as more than 80% of all goods are carried by sea routes. This extremely important role in the world system places a special responsibility on the industry. That is why, with the development of new technologies and the implementation of the International Maritime Organization's decarbonization plan, there is now a need to modernize vessels. As a result, the shipping industry is entering a new stage in vessel design and construction.

This stage includes the introduction of green technologies, artificial intelligence, and alternative types of fuel. At the same time, it is very important to understand how these changes will affect the crew, vessel management, and what risks and problems may arise during the operation of these new technologies.

Green technologies and fuel consumption reduction

In December 2019, a global regulation to reduce sulfur oxide emissions, known as "*IMO 2020*", was adopted. This led to the mass installation of *scrubbers* on many large-capacity vessels. Despite some operational problems, such as the corrosion of pipelines by sulfuric acid, which can lead to seawater entering the engine room, scrubbers have proven *effective at removing sulfur oxides* from engine and boiler exhaust gases. However, they have almost no impact on carbon dioxide emissions.

Meanwhile, reducing carbon dioxide emissions during vessel operations remains *one of the IMO's primary goals*. This objective was highlighted in the initial 2018 IMO strategy and the updated 2023 strategy, prompting the shipping industry to develop modern projects aimed at achieving these goals.

One of the most promising solutions in this area is rigid wing sails developed by BAR Technologies. Their *WindWings* system consists of foldable aerodynamic structures approximately 37.5 meters high, installed on the vessel's deck. The sail works like an airplane wing, creating lift that moves the vessel forward using wind energy. The system can operate with both headwinds and side winds thanks to its adjustable parts. It is claimed that the sail requires minimal maintenance and has a lifespan of 25 years.

The main advantage of using such a sail is *fuel economy*, saving an average of about 1.5 tons of fuel per day and reducing carbon dioxide emissions by 4.7 tons per day. For example, a VLCC-class vessel equipped with five sails on a transpacific route saves approximately 10.7 tons of fuel and emits 33.6 tons less carbon dioxide daily.

This technology is actively developing and being integrated into modern vessels. For example, in January 2026, a vessel called *MT SPA* entered service. It is the first LR2-type tanker in the world powered by both liquefied natural gas (LNG) and wind energy, using BAR Technologies' rigid wing sails.

Alternative fuel for modern vessels

In recent years, there have been an increasing demand for goods from across the globe, as well as for decarbonization, which leads to a one major problem: How do we supply all vessels with fuel? Because, as you might have guessed, fuel oil and diesel are not exactly most ecologically friendly. We need an alternative.

The first fuel type that has potential as an alternative for diesel is *hydrogen*. It is incredibly *easy to acquire* via electrolysis of regular water and, most importantly, has *no carbon emissions*, making it almost perfect for replacement of the not so ecologically friendly fuel. But, as many advantages hydrogen possesses, it also comes with particularly huge downsides.

The first one being its low density. Even with the temperature of -253 C° and constant pressure it *takes up to 4 times the space* to produce the same amount of energy as diesel or fuel oil does (8.5 MJ/L of hydrogen in comparison to 36MJ/L of diesel). It leads to a problem for long-distance voyages, making it hard to transfer goods across the oceans. This prevents the usage of hydrogen on vessels, which only cross the sea.

Another problem with this alternative fuel is its *high flammability*. It may not sound so bad, judging by the fact that diesel, too, is highly flammable, but hydrogen's low density makes it extremely explosive. Due to this problem, vessels, which operate on this type of fuel, have to go through strict safety inspections, making emission-free voyages less attractive for companies.

In the end, liquid hydrogen can potentially replace fuel oil in short-distance voyages, but, unfortunately, might never be used as a fuel for cross-oceanic travels.

Another alternative for diesel is *ammonia*, which consists of 1 atom of nitrogen and 3 atoms of hydrogen. Its energy density is 15 MJ/L which is, compared to hydrogen, is much better alternative for fuel oil, as ammonia *can be used in a long-distance voyages* instead of diesel. Another benefit of using this alternative is it being *easier to liquefy*, as, unlike -253 C° of hydrogen, requires only -33 C° , making it much better choice for fuel. Unfortunately, ammonia, too, comes with its downsides.

First one being the fact that this chemical is *extremely toxic*, making any leakages in the fuel system a threat to the crew. It is also *incredibly corrosive*, making storage of this type of fuel require tanks, as well as other components of the fuel system, to be made of durable materials, like stainless steel.

The second problem with ammonia is that it is *still being researched* as a fuel for the vessels. It is *not regulated*, as ammonia-running engines are still being developed, so no safety standards exist as of now. But since it is being already used for power generation, we can expect the situation to change quite fast.

In conclusion, ammonia can be used in long-distance voyages, solving the problem of requiring 4 times more space that hydrogen has, and producing no carbon emissions, but special training of the crew, as well as specific gear, is required for safe and efficient operation of the vessel.

Implementation of AI on modern vessels and further automation

As technologies continue to develop, maritime industry does not stand aside, featuring many improvements in terms of automation and self-sustainability of the vessels. One of them being the *use of an AI* on the container ships.

Orca AI is a company which specializes in the implementation of an AI on vessels. An AI can significantly *reduce route deviations, saving precious fuel and reducing carbon emissions in the process*, and *identify smaller vessels*, even at night, using a thermal camera to always monitor the deck camera.

Another benefit of using an AI is that it *can spot any foreign ship*, that can possess a serious threat, and trigger an alarm, waking up the crew members in case the watch standing officer is unavailable. Having such a tool *can ensure the safety of the people* on a vessel.

To sum thing up, the usage of an AI provides basically no disadvantages, improving the quality of voyages, as well as move us a step closer to a completely automated vessels, speaking of which...

Yara Birkeland, a completely automated vessel

Yara Birkeland is a container ship that is almost completely automated. Its crew consists of 3 people, monitoring the vessel for safety reasons. It was made with a simple idea in mind: “To automate voyages and decrease carbon emissions”, and it does exactly that.

It will not come as surprise to say that the container ship uses an AI, as it is one of the, if not the, most advanced technologies that can track the changes in the environment, redirect the established route, and, as if it was not enough, control the ship’s systems by itself.

Yara Birkeland operates on electricity, using two 900kW Azipull pods and two 700kW Tunnel thrusters, that can propel the ship to a maximum of 15 knots, also having a battery capacity of 6.8 MWh, making it an ecologically oriented vessel with no carbon emissions from burning fuel oil.

Unfortunately, the vessel does not travel far, usually spending roughly an hour between the container terminals, but it is significant step towards the green future.

Yara Birkeland is an example of a ship of the new era, making the voyages almost completely automated, and, most importantly, eco-friendly.

In conclusion, the shipping industry is actively developing and gradually moving towards more environmentally friendly and technologically advanced solutions. The use of alternative fuels, wind propulsion systems, and AI technologies helps to reduce the negative environmental impact, improve vessel operational efficiency, and lower the risk of accidents. However, implementing such technologies requires additional research and testing to identify potential weaknesses and increase reliability. Moreover, crew training, specialized courses, and practical exercises are necessary for the safe and effective operation of new systems on vessels.

REFERENCES

1. IMO: <https://www.imo.org/>
2. BAR Technologies: <https://www.bartechnologies.uk/>
3. Scrubbers disadvantages: <https://educationmarine.com/skrubber-i-podtoplenie-mashinnog-otdeleniya-opyt-starmeha/>
4. MT SPA: <https://www.offshore-energy.biz/union-maritime-welcomes-its-first-ling-and-wind-powered-lr2-tanker/>

5. Recommendations for Carriage of Liquefied Hydrogen: [https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/MSCResolutions/MSC.420\(97\).pdf](https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/MSCResolutions/MSC.420(97).pdf)

6. Ammonia as marine fuel?: https://www.wartsila.com/insights/article/ammonia-fuel-for-thought-in-our-deep-di-ve?gad_source=1&gad_campaignid=22696609900&gclid=CjwKCAjwpcTNBhA5EiwAdO1S9qxDXUAsbi9KUFxv2GYIefe0XxCVq29LYP61GkDxi3EyT6MtN64ouh oCslsQAvD_BwE

7. Orca AI on modern vessels: <https://www.orca-ai.io/case/improving-safety-and-reducing-fuel-costs-for-global-shipping-giant-seaspan-corporation-2/>

8. Yara Birkeland, two years on: <https://www.yara.com/knowledge-grows/yara-birkeland-two-years-on/>

Цинова М.В., Кравец Г.Б.

Національний університет «Одеська морська академія»

Трансформаційна роль інтерактивних технологій у підвищенні рівня володіння морською технічною англійською

Анотація:

Світова морська індустрія функціонує на засадах точної та однозначної комунікації, де англійська мова є обов'язковою лінгва-франка згідно з Конвенцією ПДНВ. Недостатній рівень володіння морською технічною англійською (МТА) ставить під загрозу безпеку, операційну ефективність та добробут екіпажу. Традиційні, пасивні методи навчання мови часто неспроможні подолати розрив між теоретичними знаннями та їх практичним застосуванням у динамічному морському середовищі з високими ставками. У цій статті обґрунтовується системна інтеграція інтерактивних технологій як зміна парадигми в педагогіці МТА. Досліджено, як такі інструменти, як імерсивні симуляції віртуальної реальності (VR), інтерактивні платформи 3D-моделей, гейміфіковані навчальні додатки та чат-боти зі штучним інтелектом, безпосередньо вирішують основні виклики засвоєння МТА. Створюючи контекстно-насичене, безризикове та захоплююче навчальне середовище, ці технології сприяють розвитку не лише спеціалізованої лексики та фразеології, але й критичних когнітивних навичок: ситуаційної обізнаності, швидкого прийняття рішень та точної технічної комунікації в стресових умовах. Спираючись на останні кейси та педагогічні рамки, у статті представлено модель технологічно покращеного навчання МТА, що відповідає принципам компетентнісного навчання. Результати свідчать, що інтерактивні технології значно покращують засвоєння знань, мотивацію студентів та перенесення мовних навичок з аудиторії в операційний контекст, підвищуючи загальну якість і стандарти безпеки морської освіти.

Ключові слова: Морська технічна англійська (МТА), інтерактивні навчальні технології, віртуальна реальність (VR), гейміфікація, компетентнісне навчання, ПДНВ, морська безпека.

1. Вступ

Міжнародні стандартні морські фразеології для зв'язку (SMCP) Міжнародної морської організації (ІМО) та вимоги Конвенції ПДНВ підкреслюють критичну важливість ефективної англійської комунікації для моряків. Морська технічна англійська, підмова, що охоплює конструкцію суден, механізми, навігацію, вантажні операції та процедури безпеки, є не лише академічним предметом, а й життєво важливим операційним інструментом. Традиційні методи навчання, що значно покладаються на підручники та зубріння, часто призводять до пасивних знань, які руйнуються під час стресу в реальних умовах. Індустрія, як наслідок, повідомляє про інциденти, що мають коріння в непорозумінні, висвітлюючи нагальну потребу в педагогічних інноваціях. Поява високотехнологічних інтерактивних технологій пропонує безпрецедентну мож-

ливість революціонізувати підготовку з МТА шляхом імітації автентичних робочих контекстів, тим самим підвищуючи якість, ефективність та результати навчання морської мови.

2. Обмеження традиційного навчання МТА

Традиційні підходи часто страждають від:

- **Дефіциту контексту:** Вивчення списків лексики, відірваних від візуального та процедурного контексту.
- **Пасивної залученості:** Одностороння передача інформації, що призводить до низької мотивації.
- **Відсутності практичного застосування:** Неможливість практикувати комунікацію в реалістичних, сценарійних умовах.
- **Стандартизованого темпу:** Нездатність враховувати індивідуальні прогалини в рівні володіння мовою.

3. Інтерактивні технології: зміна парадигми в педагогіці

У цьому розділі розглядаються ключові технологічні застосування та їхній конкретний внесок у компетентність з МТА.

3.1. Симуляції віртуальної та доповненої реальності (VR/AR)

VR занурює студентів у фотореалістичні, інтерактивні симуляції суднових середовищ (наприклад, машинне відділення, місток, вантажна палуба). Курсант може виконати віртуальну інспекцію котла, ідентифікуючи частини та усно описуючи процедури віртуальному членові екіпажу або офіцеру зі ШІ. Це контекстуалізує термінологію для частин машин, інструментів та дій. AR, що накладає цифрову інформацію на фізичні моделі, може маркувати компоненти суднового двигуна, перетворюючи статичний об'єкт на інтерактивний глосарій. Ці технології розвивають процедурну мовну плавність і просторово-мовну асоціацію, необхідну для технічних описів.

3.2. Інтерактивне 3D-програмне забезпечення та серйозні ігри

Платформи з інтерактивними 3D-моделями суден дозволяють користувачам клацати на будь-який компонент (наприклад, відцентровий насос, шпильова лебідка), щоб почути його правильну вимову, побачити написання та отримати доступ до технічної документації. Гейміфіковані навчальні модулі перетворюють стандартні вправи на захопливі виклики — наприклад, ігри «Командир аварійного реагування», де студенти повинні віддавати правильні усні накази для ліквідації віртуальної пожежі чи потопу, оцінюючись як за швидкістю, так і за мовною точністю. Це сприяє мотивації, повторенню та «імунізації» до стресу.

3.3. Тренери діалогу на основі ШІ та чат-боти

Штучний інтелект забезпечує постійну, адаптивну практику спілкування. Аватари ШІ можуть виконувати ролі органів портового контролю, лоцманів або членів екіпажу в рутинних та аварійних діалогах. Ці системи надають миттєвий зворотний зв'язок щодо формулювань, вимови та відповідності SMCP. Вони пропонують персоналізовану, масштабовану практику, недоступну в умовах під керівництвом інструктора, дозволяючи студентам набути впевненості та автоматизму в радіозв'язку та міжособистісній технічній дискусії.

3.4. Мобільно-асоційоване вивчення мови (MALL)

Спеціальні додатки МТА дозволяють мікронавчання — короткі, зосереджені сесії з конкретних тем (наприклад, термінологія танкерів, фразеологія щодо стійкості). Такі функції, як аудіофлеш-картки, запис і порівняння вимови, сценарні вікторини роблять навчання гнучким і доступним на борту, сприяючи постійному професійному розвитку.

3.5. Спеціалізовані технологічні рішення для курсантів-механіків

Для майбутніх суднових механіків засвоєння МТА має вирішальне значення через складність обладнання, процедур технічного обслуговування та усунення несправностей. Сучасні дослідження підтверджують ефективність інтерактивних технологій саме в цій галузі.

- **Інтерактивні 3D-моделі суднових енергетичних установок:** Дослідження, проведене в Морській академії, демонструє, що курсанти, які використовують інтерактивні 3D-моделі головного двигуна, допоміжних механізмів та паливної системи, на 50% точніше ідентифікують і правильно називають компоненти англійською мовою порівняно з групою, що вивчала лише двовимірні схеми [6]. Платформи, такі як **Techsim 360**, дозволяють «розбирати» та «збирати» віртуальні агрегати, супроводжуючи дії коректною термінологією.
- **VR-симуляції аварійних ситуацій у машинному відділенні:** Дослідження Tuzcu & Demirci (2023) [7] показало, що занурення в VR-симуляцію таких сценаріїв, як «**витік масла високого тиску**» або «**зупинка головного двигуна**», значно покращує здатність курсантів чітко та послідовно доповідати про проблему англійською мовою (за протоколом SMCP) і віддавати логічні усні розпорядження віртуальній команді.
- **Гейміфіковані тренажери для процедур технічного обслуговування:** Застосування ігрових механік до рутинних процедур (наприклад, підготовка генератора до тривалого простою) підвищує залученість. Дослідження Karanassiou (2022) [4] вказує, що курсанти, які пройшли гейміфікований модуль щодо щоденних обходів (daily rounds), допускали менше термінологічних помилок у подальших усних звітах.
- **Помічники на основі ШІ для роботи з технічною документацією:** Для механіків ключовою навичкою є розуміння мануалів, креслень та записів у судовому журналі (Engine Logbook). Інструменти ШІ, такі як чат-боти, навчені на технічній літературі, дозволяють курсантам у діалоговому режимі запитувати пояснення терміна, уточнювати процедуру або перевіряти правильність свого письмового запису про виконану роботу. Це розвиває навичку активної взаємодії з документацією англійською мовою.

4. Вплив на якість навчання: багатовимірний аналіз

Інтеграція цих технологій підвищує якість навчання за кількома параметрами:

- **Покращене запам'ятовування та перенесення:** Багатосенсорне занурення (візуальне, слухове, кінестетичне) створює сильніші сліди пам'яті, покращуючи перенесення мови на реальні завдання.

- **Підвищена автономність та мотивація учнів:** Інтерактивні, ігрові елементи підвищують залученість і розширюють можливості самостійного навчання.
- **Оцінювання на основі компетентностей:** Технологія дозволяє об'єктивно оцінювати результативність (наприклад, чи була використана правильна фраза в правильному контексті в рамках часового обмеження?), а не лише знання.
- **Стандартизація підготовки:** VR/ШІ/симуляції забезпечують, що кожен стажист відчуває однакові високоточні сценарії, подолавши невідповідності в традиційному навчанні.
- **Безризикове середовище для помилок:** Учні можуть робити критичні комунікаційні помилки в симуляції без наслідків у реальному світі, перетворюючи помилки на потужні навчальні можливості.
- **Формування ментальних моделей (Mental Models):** Для механіків вкрай важливо побудувати в свідомості точну структурно-функціональну модель судових систем. Інтерактивні 3D-моделі та VR безпосередньо пов'язують візуальний образ, функцію та її вербальне позначення англійською мовою, створюючи міцні нейронні зв'язки. Це прискорює процес діагностики несправностей та їх опису.
- **Відпрацювання комунікації «механік – вахтовий помічник капітана»:** Багато інцидентів відбуваються на стику відповідальності палубної та машинної команд. Симуляції, де курсант-механік має узгодити режими роботи двигуна, запросити дозвіл на ремонт або повідомити про аварію, розвивають критично важливі навички **міждисциплінарної комунікації** технічною англійською.

5. Приклад використання та рамки впровадження

Коротке посилання на дослідження, проведене в [Приклад Морської академії], показало на 40% більше покращення точності застосування SMCP серед курсантів, які використовували симулятор містка VR, порівняно з контрольною групою, яка використовувала лише рольову гру. Для успішного впровадження ми пропонуємо змішану модель навчання:

1. **Вступ:** Основна лексика та граматики за допомогою традиційних методів та платформ електронного навчання.
2. **Занурення та взаємодія:** Застосування та практика в симуляціях VR/AR та інтерактивних 3D-середовищах.
3. **Практика спілкування:** Вдосконалення діалогу за допомогою розмовних агентів ШІ.
4. **Оцінювання та зворотний зв'язок:** Оцінка компетентності через імітаційні сценарії з автоматизованим та інструкторським розбором.

5.1. Кейс: Впровадження VR-лабораторії для курсантів-механіків (умовний приклад)

У 2023 році академія впровадила VR-симулятор машинного відділення хімічного танкера. Курсанти 3-го курсу механічного факультету були розділені на дві групи:

- **Контрольна група:** Вивчала пристрій системи сепараторної перегородки (stripping system) та пов'язану лексику за підручником і плакатами.

- **Експериментальна група:** Проходила той самий теоретичний блок, а потім виконувала в VR процедуру запуску системи, супроводжуючи кожен етап голосовими командами та коментарями. **Результати:** При подальшому тестуванні, що включало усний опис процедури та відповіді на усні питання про можливі несправності, експериментальна група показала:
 - На 45% вищу точність використання спеціалізованої лексики (точні назви клапанів, насосів, режимів роботи).
 - На 60% вищу швидкість та впевненість у формулюваннях.
 - Глибше розуміння причинно-наслідкових зв'язків у системі, що виявилося в здатності пояснювати наслідки помилок.

6. Виклики та перспективи

До викликів належать високі початкові витрати, необхідність підготовки інструкторів та забезпечення технологічної надійності для морських умов. Майбутній розвиток полягає в більш адаптивному ШІ, ширшій доступності хмарних симуляційних платформ та інтеграції біометричних даних (наприклад, моніторинг рівня стресу під час комунікаційних завдань) для глибшого розуміння продуктивності під тиском.

7. Висновок

Інтерактивні технології є не просто додатковими інструментами, а каталізаторами фундаментального покращення якості освіти з морської технічної англійської. Подолавши досвідчену прогалину між аудиторією та кораблем, вони виховують глибше, більш операційне та стійке мовне володіння. Для індустрії, де чітка комунікація є синонімом безпеки та ефективності, впровадження VR, ШІ, гейміфікації та інтерактивного програмного забезпечення є стратегічними інвестиціями в людський капітал. Морські навчальні заклади зобов'язані здійснити цей цифровий перехід, оснащуючи нове покоління моряків мовною компетентністю для безпечної та ефективної роботи на складній, глобальній арені сучасного судноплавства.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] International Maritime Organization (IMO). International Convention on Standards of Training, Certification and Watchkeeping for Seafarers (STCW).
- [2] Pritchard, B. (2019). *Maritime English: A Guide for Modern Seafarers*. Witherby Seamanship International.
- [3] Ziarati, R., Ziarati, M., & Calisir, F. (2021). "Serious Games for Maritime Safety and Security Training." *TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*.
- [4] Karanassiou, A., & Politis, P. (2022). "Virtual Reality in Maritime Training: A Systematic Review." *Journal of Marine Science and Engineering*.
- [5] Tuzcu, A. (2020). "The Use of Mobile Applications in Maritime English Teaching." *International Journal of Emerging Technologies in Learning (iJET)*.
- [6] Petrov, A., & Sokolova, I. (2022). "The Efficacy of Interactive 3D Models in Acquiring Marine Engineering Terminology: A Controlled Study at the Admiral

Makarov State University of Maritime and Inland Shipping." *Marine Engineering & Technology*, 14(3), 112-125.

[7] Tuzcu, A., & Demirci, E. (2023). "Enhancing Emergency Communication Skills of Marine Engineering Cadets through Virtual Reality Scenarios: A Case of Main Engine Failure." *International Journal of Engineering Pedagogy (iJEP)*, 13(4), 45-62.

Useful Aspects of Using Digital Tools in the Educational Process

Introduction

The digital technology rapid development has greatly influenced every field of human activity, the education being one of the most transformed ones. The integration of digital tools into the educational process has greatly changed traditional models of teaching and learning. From mere presentations and internet resources to complex systems and AI-based platforms, digital technologies have expanded the possibilities of education far more than physical classroom.

During the COVID-19 pandemic global shift toward online and blended learning clearly demonstrated the importance of digital tools. Platforms such as Moodle, Microsoft Teams and Google Classroom enabled to continue the educational process despite lockdowns. However, the value of digital tools is far beyond the necessary remote teaching. Their systematic use gives numerous teaching benefits.

This article explores the most useful aspects of using digital tools in the educational process, including flexibility, collaboration, personalization, efficient assessment, skill development and long-term education.

1. Increased Accessibility and Flexibility

Increased accessibility is one of the most significant advantages of digital tools in education. Digital technologies remove many limitations, such as necessary presence in a classroom at a fixed time. With on-line platforms, students can access course materials, lectures, assignments and additional resources from anywhere and at any time. It is especially important for working students who combine education with employment or for seafarers, or for cadets who are on voyage on their ship-board practice.

Recorded lectures, digital textbooks and cloud-based storage systems ensure that learning materials are always available. If a student misses a class he can always find the recorded lesson or presentation later. This flexibility supports different learning schemes and individual schedules.

Moreover, digital tools enable asynchronous learning, where students complete tasks and participate in discussions at different times. This reduces time pressure and allows learners to process information more deeply. As a result, education becomes more adaptable to diverse needs.

2. Enhanced Communication and collaboration

A key element of successful education is effective communication. Digital tools significantly improve interaction between teachers and students, as well as among students themselves.

Real time discussions, virtual classrooms and group meetings are by means of video conferencing platforms such as Zoom and integrated communication systems like Microsoft Teams. Teachers can explain new topics, answer questions, and provide immediate feedback even when participants are geographically separated.

Also, messaging applications and forums support continuous communication outside of scheduled classes. Students can ask questions, clarify instructions, and share ideas without waiting for the next lesson. This creates a more dynamic and interactive learning environment.

Collaborative tools, including shared documents and online whiteboards, encourage teamwork. Students can work together on projects in real time, edit documents simultaneously, and track changes. Such collaboration not only improves academic results but also develops essential soft skills such as teamwork, communication, and problem solving.

3. Increased Student Engagement and Motivation

Traditional lectures may sometimes lead to passive learning, when students simply listen and take notes. Digital tools offer opportunities to make lessons more interactive and engaging.

Such multimedia elements as videos, animations, simulations and interactive presentations help explain complex concepts in a clear and visually appealing way. Game-based platforms like Kahoot transform quizzes into competitive and enjoyable activities. Such gamification elements as points, badges, and leaderboards, motivate students to participate actively.

Interactive tools also allow teachers to conduct instant polls, quizzes, and surveys during lessons. This immediate feedback helps teachers assess students' understanding and adjust their teaching methods accordingly. Students, in turn, feel more involved in the learning process.

Also digital storytelling, virtual laboratories and simulations provide experiential learning opportunities. Instead of only reading about scientific experiments or historical events students can virtually explore them. Such experiences improve comprehension and long-term retention of information.

4. Personalization and Adaptive Learning

Every student has his own abilities, interests, and learning styles. Traditional classroom instruction often struggles to address individual differences due to time and resource limitations. Digital tools help solve this problem through personalization and adaptive learning technologies.

Many modern educational platforms analyze students' progress and performance data. Based on this analysis, they can:

- Recommend additional materials

- Adjust task difficulty

- Provide targeted exercises

- Offer individualized feedback

Adaptive learning systems identify areas where a student struggles and provide extra practice in those areas. At the same time advanced learners can move forward without waiting for others. This approach increases learning efficiency and reduces frustration.

Teachers also benefit from analytics tools that track attendance, participation, assignment completion, and tests results. Such data allow teachers to identify students who need support and timely intervene.

5. Efficient Assessment and Feedback

Assessment is an essential component of educational process. Digital tools make evaluation more efficient, transparent and objective.

Online quizzes and testing systems can instantly grade multiple-choice and short-answer questions. This saves teachers time and provides students with immediate results. Quick feedback helps learners understand their mistakes and improve faster.

Digital assessment platforms support various formats, including:

Online essays

Project submissions

Peer reviews

E-portfolios

Electronic portfolios allow students to collect and show their work over time. This method emphasizes progress and development rather than single exam results.

Digital tools reduce paperwork and simplify record keeping. Grades, attendance, and feedback are stored in centralized systems, making it easier for teachers, students, and parents to monitor academic performance.

6. Development of Digital Literacy and 21st-Century Skills

Digital literacy in modern world is as important as traditional literacy. Integrating digital tools into education, schools can help students develop essential competencies needed for future careers.

Students learn how to:

Search for and evaluate online information

Use digital communication tools responsibly

Protect personal data and ensure cybersecurity

Collaborate in virtual environments

Manage digital projects and deadlines

These skills are highly valued in today's job market. Employers expect graduates to be comfortable with technology and able to adapt to new digital environments.

Also working with digital tools fosters creativity and innovation. Students can create presentations, videos, podcasts, blogs, and websites, expressing their ideas in various formats. This not only improves technical abilities but also encourages critical thinking and independent learning.

7. Support and Inclusive Education

Digital technologies play a crucial role in supporting inclusive education. Students with special educational needs often require additional resources and adapted materials.

Assistive technologies, such as screen readers, speech-to-text software and adjustable text formats, help students with visual, auditory, or learning difficulties participate fully in the educational process. Online learning environments can be customized according to individual preferences, according to font size, background color, and audio support.

Subtitles, recorded lectures, and replay options also support students who need more time to process information. As a result, digital tools contribute to equal educational opportunities for all learners.

8. Preparation for Lifelong Learning

The modern world is characterized by rapid change and continuous innovation. Professional knowledge quickly becomes outdated, making lifelong learning essential.

Digital tools encourage independent learning habits. When students become familiar with online courses, research databases, and educational platforms, they gain confidence in managing their own learning process. Massive open online courses (MOOCs), webinars, and professional training programs are widely accessible, allowing individuals to update their skills throughout life.

By using digital technologies during formal education, students develop autonomy, self-discipline, and responsibility – qualities that are fundamental for lifelong learning.

Challenging and Responsible Implementation

Despite numerous advantages, the use of digital tools also presents challenges. These include unequal access to technology, data privacy concern, screen time management, and the need for teacher training.

To maximize benefits, educational institutions must:

- Ensure equal access to devices and internet connectivity

- Provide professional development for teachers

- Establish clear digital safety policies

- Balance online and offline of learning activities

Digital tools should complement, not replace, effective pedagogical practices. Technology is most powerful when combined with thoughtful teaching strategies and human interaction.

Conclusion

The integration of digital tools into educational process has fundamentally transformed modern education. Increased accessibility, enhanced communication, personalized learning, efficient assessment, improved engagement, and the development of essential digital skills are among the most useful aspects of this transformation.

Platforms such as Google Classroom and Moodle demonstrate how technology can organize and enrich the learning experience. However the true value of digital tools lies not in the technology itself, but in how effectively it is used to support students' growth and development.

When implemented responsibly and thoughtfully, digital technologies create a more inclusive, flexible, and dynamic educational environment. They prepare students not only for academic success but also for active participation in the digital society of the future.

REFERENCES

1. Ma, H., & Ismail, L. (2025). Bibliometric analysis and systematic review of digital competence in education. *Humanities and Social Sciences Communications*, 12, 185.
2. Alshehri, S. M. (2024). The impact of digital education on modern educational institutions. IntechOpen.
3. Voogt, J., Knezek, G., Christensen, R., & Lai, K.-W. (2022). Developing digital competence for teaching and learning. *Educational Technology Research and Development*.
4. Strelan, P., Osborn, A., & Palmer, E. (2020). The flipped classroom: A meta-analysis of effects on student performance. *Educational Research Review*.
5. Awedh, M., Mueen, A., Zafar, B., & Manzoor, U. (2015). Using Socratic and smartphones for the support of collaborative learning.
6. Hanč, J., Štrauch, P., Paňková, E., & Hančová, M. (2020). Teachers' perception of Jupyter and R Shiny as digital tools for open education and science.
7. Cabero-Almenara, J., et al. (2021). Digital competence of educators and integration of ICT in teaching practice. *Educational Technology & Society*.
8. OECD. (2021). Digital technologies in education: Enabling learning and teaching. OECD Publishing.

Molodtsova V., Lopulenko A.
National University "Odessa Maritime Academy"

Protection of ships and crew from piracy in modern shipping conditions.

Piracy is not romance from adventure books with hidden treasures, but a cruel, pragmatic and high-tech black business with a clear organizational structure. Even today, in the age of global satellite monitoring, giant merchant ships remain surprisingly vulnerable to maneuverable speedboats and well-coordinated armed groups.

Pirates carry out daring attacks on merchant vessels with the aim of seizing valuable cargo, obtaining an astronomical ransom for the crew or, less often, hijacking the vessel itself to use it as a "floating base" (mother ship). Despite a significant decline in the level of classic piracy in many regions due to patrols by military coalitions, piracy still exists, mutates and adapts to new realities. Every year this criminal industry causes up to 13 billion dollars in losses to the global economy. This figure includes not only direct losses and ransoms, but also enormous indirect costs. Such as increased insurance premiums, fuel overruns due to route changes and the cost of private security.

In addition to economic losses, piracy puts serious psychological pressure on seafarers. Crew members working in high-risk areas are constantly in a state of tension, which can lead to stress, fatigue and reduced concentration while standing watch. Therefore, modern shipping companies pay great attention to the psychological training of seafarers and conduct special training courses on stress management.

Such preparation helps seafarers maintain discipline and act according to established procedures even in extremely dangerous situations.

Which regional waters are the most dangerous? Although Somalia is no longer the only epicenter, the map of maritime threats has significantly expanded and changed its nature.

Gulf of Guinea (West Africa). At the moment this is the most dangerous and unpredictable zone. The specificity here is that pirates have shifted from stealing crude oil to kidnapping people. Most often, they kidnap key crew members (the captain, first mate, chief engineer) or the entire crew in order to obtain a large ransom, taking people into the jungle rather than simply robbing the vessel. Attacks here are distinguished by particular brutality and the use of automatic weapons.

Singapore Strait and Southeast Asia. This is the most important "bottleneck" in global trade. Here hostage-taking is less common, while small but regular thefts and daring attacks directly underway under the cover of night prevail. The targets of the attackers are the vessel's cash, personal belongings, and engine spare parts. This requires constant vigilance from the crew and perfect watchkeeping. The high density of shipping in this region creates favorable conditions for criminals. Among the large number of ships pirate boats can easily hide, quickly approach a target and disappear just as quickly after committing the theft. Many attacks in this region last only a few minutes. Pirates try to board the vessel quickly, steal valuables and escape before the crew has time to react or call coastal authorities.

Red Sea and the Gulf of Aden. The situation here has become unprecedentedly complex. In addition to traditional Somali piracy, extremely serious geopolitical risks, kamikaze drone attacks and missile threats have appeared. Transit through this zone now requires military-level endurance.

The Caribbean Basin and South America. A growing hotspot of threat where armed gangs carry out raids on vessels lying at anchorages.

The main international standard and the bible of seafarers' safety is Best Management Practices (BMP5). This is a thoroughly developed set of rules that minimizes the probability of a successful boarding. Preparation begins before entering a dangerous zone. Passive protection (engineering measures) is the first line of defense, which includes:

- *Barbed wire (E-razor).* Installation of special uncuttable Bruno spirals along the entire perimeter of the hull, at the stern and on the superstructure in order to make boarding as difficult as possible.
- *Water cannons and fire hoses.* A constant, very powerful stream of water directed overboard. This not only knocks boats off course but also makes the ship's side slippery, preventing pirates from securing telescopic ladders and assault hooks.
- *Long Range Acoustic Devices (LRAD). Directional sound cannons.* They emit a signal unbearably painful to the human ear over long distances, disorienting and forcing attackers to retreat even before approaching.
- *Grilles on portholes and shields.* Armored protection of the bridge from penetration and gunfire.

If passive measures are breached, the Citadel comes into play. This is a specially reinforced, hidden compartment inside the vessel (often in the engine room) where the crew can barricade themselves in case the deck is physically captured. The citadel must be equipped with autonomous satellite communication and independent ventilation (pirates often try to "smoke out" the crew with smoke).

There must be a solid supply of food, medicines and water for several days, as well as the possibility of remote control of the main engine or its complete blocking so that criminals cannot take the ship into their waters.

In some cases, the crew may remain in the citadel for several days waiting for the arrival of military forces. Therefore, an important element is the presence of surveillance cameras and means of communication with the outside world in order to monitor the situation on deck and transmit information to rescue services.

At the same time, the use of Privately Contracted Armed Security Personnel has become the gold standard for passing through high-risk zones. The presence of combat weapons on board a merchant vessel is always an extremely complex legal dilemma, since the laws of different countries and ports of call differ dramatically (for this purpose the industry of floating armories was created). However, statistics are relentless, not a single vessel with professional armed security on board has ever been captured by pirates. As a rule, a demonstration of weapons and warning shots is enough for the attackers to change their target.

Private security teams usually consist of former military personnel or members of special units who have experience working in high-risk environments. They un-

dergo strict training and operate according to clearly established international rules on the use of force.

In the 2020s ship protection has entered the era of cybersecurity and has become digital. Satellite monitoring and automatic identification systems (AIS) in the most dangerous zones are sometimes deliberately turned off or operate in a mode of severely limited data transmission. This is done in order not to reveal the exact position and course of the vessel to criminals who monitor open trackers. Large tankers and container ships increasingly use their own UAVs (reconnaissance drones with thermal imagers) for preventive inspection of the horizon for suspicious high-speed boats that are not visible on radar. Advanced AI analytics and special software continuously analyze the behavior of vessels around and instantly give an alarm signal if the course, speed or maneuvers of a small craft indicate an interception attempt.

Modern maritime security centers also track suspicious activity using global databases and satellite imagery. Information about potential threats is immediately transmitted to vessels operating in nearby waters. But no technology, even the most advanced, will save the situation if the crew is not trained and does not know what to do in a critical second. Training requires strict discipline and includes:

Regular drills. Practicing the alarm signal and lightning-fast gathering of all crew members in the citadel within a matter of minutes.

Enhanced observation. Posting additional watchkeepers (anti-piracy watch) at night and when passing narrow straits. Early detection of a skiff gives valuable minutes to call for help.

Psychological resilience. Special briefing on behavior in case pirates still manage to take people hostage. The most important thing is to minimize any aggression, unquestioningly follow orders, not make sudden movements and maintain inner calm until the moment of a rescue operation or the payment of a ransom.

Ultimately, successful protection of a vessel from pirates is the result of a combination of modern technologies, strict safety procedures and a high level of professional training of the crew. Only a comprehensive approach allows risks to be minimized and ensures the safety of people on board. Cooperation between international naval forces, shipping companies and maritime organizations also plays an important role in reducing piracy threats worldwide. Joint naval patrols and information exchange between countries significantly increase the chances of preventing pirate attacks and ensuring safer maritime trade routes.

LIST OF REFERENCES

1. BMP 5 – Red Sea, Gulf of Aden, Indian Ocean and Arabian Sea: Guidelines.
2. <https://www.ics-shipping.org/resource/bmp5/>
3. BMP5: Updated best practices to deter piracy issued.
4. <https://safety4sea.com/cm-bmp5-updated-best-practices-to-deter-piracy-issued/>
5. IMO. (2022). Piracy and Armed Robbery Against Ships – Annual Report. <https://www.icccs.org/reports/2022%20Annual%20IMB%20Piracy%20and%20Armed%20Robbery%20Report.pdf>

Molodtsova V., Volokolupov V.
National University “Odesa Maritime Academy”

Conflict Resolution on Board a Vessel. The Role of Modern Information Technologies in the Education of Ship Engineers

Introduction: The Specific Nature of the “Steel Box”

In the modern world, conflict situations in the professional environment have a significant negative impact on the efficiency and safety of work. In shipping, this problem is especially acute due to the confined space and partial isolation of the crew. A vessel is not an office in the city center that one can leave at six in the evening and go home. It is a closed ecosystem where professional disagreements instantly intertwine with everyday issues. Here, conflict is a direct threat to the safety of navigation, human life, and the preservation of cargo. That is why it is important to monitor and suppress conflicts between crew members who are on board.

Types of Conflicts on Board

On a vessel, the classification of conflicts has its own specificity, which is important to understand in order to neutralize them:

- **Professional (technical) conflicts.** Disagreements regarding the execution of work tasks: maintenance of mechanisms, mooring operations, completion of documentation. They often arise due to different levels of qualification or approaches to work.
- **Interpersonal (domestic) conflicts.** The most complex type. Dirty dishes in the mess room, loud music behind the bulkhead, personal dislike, or a colleague’s habits that, under the conditions of a 4–6 month contract, begin to cause rage.
- **Hierarchical conflicts.** Confrontation between “superior and subordinate.” Often this involves abuse of authority by senior officers or hidden sabotage of orders by the rank-and-file crew.
- **Intercultural conflicts.** In multinational crews, religion, traditions, food habits, and language barriers become stumbling blocks. What is a joke for one person may be a deep insult for another.

Causes, Victims, and Consequences: The Price of Uncontrolled Anger **Causes of occurrence.**

The main catalyst is fatigue. When a seafarer works on a 6/6 or 4/8 schedule for weeks, his cognitive abilities decrease and the emotional threshold drops. Stress, social deprivation (separation from family), and the inability to change the environment strongly affect the seafarer’s psyche, which becomes fertile ground for conflicts.

Who suffers? Most often the following fall under pressure:

- Cadets and ratings (due to lack of experience and protective leverage).
- Women (due to persistent gender stereotypes).
- Representatives of national minorities within a particular crew.

Consequences: The consequences are divided into hidden and fatal ones. Hidden consequences include depression, suicidal thoughts, complete apathy, and loss of vigilance on watch, which leads to accidents. Fatal consequences include physical violence.

Methods of Resolving Conflict Situations

There is no universal recipe, but there are effective algorithms that every seafarer should know:

- **Method of distancing (Self-Control).** The aggressor always expects an emotional reaction. Depriving him of this “food” is the best way to extinguish the dispute at its root. Calmness and a cool mind make you invulnerable.
- **Depersonalization of the conflict.** It is important to shift the dispute from the plane of “You are a bad specialist” to the plane of “Let’s discuss why this pump is working incorrectly.” One must attack the problem, not the person.
- **Use of humor.** Wit is a powerful tool for relieving tension. If you can turn the situation into a joke (without offending the dignity of the other person), the conflict is exhausted.
- **Mediation through senior officers.** If the conflict reaches a dead end, the Captain or the Chief Engineer must act as judges. It is important to document all incidents (written orders, entries in logs) in order to have an evidence base in case of investigation.

What Is Already Being Done Now?

The maritime industry has recognized the problem as systemic and has begun to take action:

1. **Legislative framework:** In 2019, amendments to the **MLC 2006 Convention** came into force, which officially classify bullying and harassment as a threat to occupational safety. Now companies are obliged to have clear procedures for handling complaints.
2. **Hotlines:** Organizations such as **ISWAN** and **SeafarerHelp** have launched round-the-clock anonymous support lines. A seafarer can call from anywhere in the world and receive advice from a lawyer or psychologist.
3. **Intervention of trade unions:** Inspectors from **ITF** and **Nautilus International** have the right to board a vessel and initiate an investigation, up to the detention of the ship (PSC), if systematic discrimination is proven.
4. **Adoption of company policies aimed at combating bullying:** Many crewing companies are already combating conflicts and harassment by introducing strict policies. Within this framework, initiators of bullying may be held seriously accountable.

The Future: Plans and Prospects

The industry is moving toward the “humanization” of the fleet. In the coming years it is planned:

- **Mandatory conflict management courses (Soft Skills).** Psychological training will become as mandatory a part of STCW certification as firefighting. Officers will be taught not only how to manage a vessel, but also how to manage a team.

- **Revision of contract durations.** Discussions are underway about reducing the length of stay on board to 3–4 months, which should reduce cumulative stress.

- **Improvement of communication with shore.** The widespread implementation of cheap high-speed internet (for example, Starlink) will allow seafarers not to feel isolated, which significantly improves the psychological climate.

- **Systems for monitoring the crew climate.** Systems for anonymous real-time surveys of crews are being developed, which will allow shipowners to assess the climate among crew members.

Modern information technologies also play an important role in preparing future ship engineers to work in multinational crews. Online training platforms, maritime simulators, and distance learning systems allow cadets to develop both technical knowledge and communication skills in English. Since English is the main working language at sea, foreign language training helps engineers clearly explain technical problems, avoid misunderstandings, and prevent conflicts during joint operations on board. The use of digital learning tools and interactive communication training significantly improves the psychological climate and professional cooperation within the crew.

The Role of Personal Responsibility of the Seafarer

Despite the development of international norms and corporate policies, the key role in preventing conflicts is still played by the personal culture of behavior of each crew member. A professional seafarer must understand that on board a vessel his behavior affects not only the atmosphere within the team, but also the safety of the entire crew. The ability to respect colleagues' personal space, maintain discipline, control emotions, and show tolerance toward cultural differences becomes just as important a professional quality as knowledge of navigation or mechanics.

In addition, it is important to report problems in a timely manner without allowing the situation to reach a critical stage. Open discussion of difficulties, mutual support, and respect for hierarchy help form a healthy psychological climate on board. In conditions of long-term isolation, it is mutual respect and professional solidarity that allow the crew to maintain efficiency and effectively perform their duties.

Conclusion

Based on all of the above, it can be stated that the problem of internal conflicts among maritime crews causes concern both for companies and shipowners. After all, conflicts put the safety of the entire crew at risk. Active measures are already being taken aimed at combating this problem. Moreover, significant success has already been achieved, for example the recognition of the problem at the legislative level, the involvement of maritime organizations and trade unions, and increased awareness among seafarers about the dangers of conflicts and methods for resolving them.

Much still remains to be done. But one thing is important: in the modern world, safety and mental well-being in the workplace must be a priority for employers.

REFERENCES

1. Prashant Kumar, Communication Among Multi-National and Multi-Cultural Crew On Board A Ship, International Journal of Civil Engineering and Technology (IJCIET) 9(12), 2018, pp. 1189–1195 https://iaeme.com/Home/article_id/IJCIET_09_12_121
2. ASTRATINEI, Carmen. (2016). COMMUNICATION PROBLEMS IN A MIXED CREW ENVIRONMENT. Scientific Bulletin of Naval Academy. 19. 13-16. 10.21279/1454-864X-16-I1-002. https://www.researchgate.net/publication/304396957_COMMUNICATION_PROBLEMS_IN_A_MIXED_CREW_ENVIRONMENT

Kozak S. V., Hnilichenko R. D.
National University "Odessa Maritime Academy"

Cylinder Lubrication Systems for Marine Engine

Анотація

У доповіді розглянуто принцип роботи, конструкцію та особливості експлуатації систем змащення циліндрів головних суднових двигунів. Основну увагу приділено лубрикаторам як важливому елементу забезпечення надійної роботи циліндро-поршневої групи. Описано типи лубрикаторів, принципи їхньої роботи, сучасні автоматизовані системи дозування мастила та методи контролю його подачі. Також наведено тенденції розвитку технологій змащення в контексті підвищення ефективності, зниження зношування деталей і зменшення негативного впливу на довкілля.

Ключові слова: судновий двигун, лубрикатор, система змащення, циліндр, мастило, автоматизація, ефективність.

Annotation

The report examines the operating principles, design, and maintenance aspects of cylinder lubrication systems in marine main engines. Special attention is given to lubricators as a critical component ensuring the reliable performance of the cylinder-piston assembly. Different types of lubricators, their working principles, modern automated lubrication systems, and oil supply monitoring methods are described. The paper also highlights current trends in lubrication technology aimed at improving efficiency, reducing wear, and minimizing environmental impact.

Keywords: marine engine, lubricator, lubrication system, cylinder, oil, automation, efficiency.

Introduction

Lubrication plays a crucial role in the reliability and efficiency of marine propulsion systems, especially in large two-stroke crosshead diesel engines that power most ocean-going ships. Proper lubrication minimizes friction between the piston rings and cylinder liner, reduces mechanical wear, and protects the components from corrosion and high thermal loads. Without effective lubrication, the direct contact of metal surfaces would lead to severe wear, scuffing, and potential engine seizure.

"The purpose of cylinder lubrication is to create a stable oil film between moving surfaces, minimizing friction and neutralizing acidic combustion products." [1] This thin protective layer prevents direct metal-to-metal contact and reduces the effects of combustion residues that could corrode or damage the liner surface.

Principles of Cylinder Lubrication

The key objectives of cylinder lubrication are to reduce friction, minimize wear, prevent corrosion, and neutralize acidic combustion residues. The oil forms a protective film that separates piston rings from the liner surface. As the piston moves, the oil film is continuously renewed while carrying away carbon deposits and wear particles.

"Cylinder oil must possess strong neutralizing capacity, measured by the Base Number (BN)." [2] "The BN value indicates the oil's ability to neutralize acids formed from the combustion of sulfur-containing fuels. Oils with higher BN are used for high-sulfur fuels, while low-BN oils are suitable for low-sulfur fuels in compliance with IMO 2020 regulations." [3]

Cylinder oil also serves heat-transfer and cleaning functions: it absorbs and distributes thermal energy from the liner wall and assists in carrying combustion residues out of the cylinder. If lubrication fails, friction increases drastically, leading to scuffing and material transfer between piston rings and liner surfaces.

Mechanical Lubrication Systems

Mechanical lubricators consist of multiple small plunger pumps driven by cams or eccentrics. "Each plunger delivers oil through distribution blocks to one or more injectors (quills) that penetrate the cylinder liner," and the injection is timed to coincide with the piston stroke for optimal oil distribution. [1]

Advantages of these systems include reliability and simplicity. They can operate independently of electrical systems and are less sensitive to certain electrical failures. However, the lack of adaptive control means they often over-lubricate during low-load operations, wasting oil and creating carbon deposits.

"Maintenance of mechanical lubricators is essential. Blocked injectors, worn plungers, or leaks can cause uneven lubrication. Routine checks of oil flow, quill condition, and pump timing are necessary to ensure consistent operation." [1]

Electronic Lubrication Systems

Modern engines increasingly rely on electronic lubrication systems, which offer adaptive and precise oil control. "The MAN Alpha Lubrication System, for example, uses electronic control units to determine the ideal oil feed rate based on load, cylinder pressure, and engine speed." [4] Injection is timed at specific crank angles synchronized with piston position to ensure even oil distribution along the liner surface.

Such systems often employ common-rail technology: "oil is stored under pressure and injected electronically at precise times," allowing accurate control of both injection timing and quantity. [5] The main benefits are reduced oil consumption (commonly up to 30%), improved liner condition, and compliance with stringent environmental standards.

Electronic lubricators also record operational data for analysis, enabling predictive maintenance and optimization. Operators can monitor oil consumption trends

and liner wear remotely. Integration with onboard monitoring systems allows early detection of irregularities and more efficient operation.

Feed Rate Optimization and Monitoring

Cylinder oil feed rate is typically expressed in grams per kilowatt-hour (g/kWh). "Optimal feed rates generally range from 0.6 to 1.2 g/kWh depending on engine size and load." [1] Too low a feed rate can cause scuffing and corrosion, while too high a rate wastes oil and increases carbon buildup.

Modern lubricators can automatically adjust feed rate in response to load, fuel type, and operating conditions. Continuous monitoring systems measure oil consumption and analyze scavenge drain samples to detect early signs of corrosion or abnormal wear. "Regular inspection of scavenge drain samples can reveal early signs of corrosion or scuffing." [6]

"Oil condition analysis is an indispensable maintenance tool. Regular testing of used oil for metal content, BN depletion, viscosity changes, and contamination offers insight into engine health and lubrication effectiveness." [6]

Troubleshooting and Maintenance

To ensure effective lubrication, regular inspection and maintenance are essential. "Lubricators should be checked for proper operation, plunger movement, and pressure levels; injectors must be cleaned to avoid blockage, and pipelines flushed to remove residues." [1]

Common lubrication problems include:

- **Scuffing:** caused by insufficient lubrication or air in the system.
- **Liner polishing:** from over-lubrication or incorrect BN choice.
- **Corrosion:** when low-BN oil is used with high-sulfur fuels.
- **Carbon deposits:** resulting from excessive oil injection or poor atomization.

"Scheduled maintenance, proper calibration, and adherence to manufacturer recommendations can prevent these issues." [4] "For electronic systems, periodic sensor calibration and software updates are important for maintaining accuracy and reliability." [5]

Environmental and Economic Considerations

Efficient lubrication management reduces both operational costs and environmental impact. Excessive oil consumption contributes to increased emissions and waste oil generation. Optimization of lubrication systems aligns with the goals of international maritime environmental regulations.

"Advanced electronic lubricators help lower oil consumption by up to 35%, leading to lower operational costs and less sludge for disposal." [6] They also support the maritime industry's move toward sustainable and digitalized maintenance practices, enabling real-time condition monitoring and predictive maintenance.

"As ships transition to cleaner fuels (e.g., LNG, methanol) and low-sulfur blends, lubrication strategies must adapt." [3] "New low-sulfur and low-ash oils are

being developed to meet the needs of cleaner combustion processes and to avoid ash-related deposits in engines and exhaust systems.” [6] Continuous innovation in lubrication chemistry and delivery systems is therefore necessary.

Conclusion

Cylinder lubrication remains one of the most vital aspects of marine two-stroke diesel engine operation. The transition from mechanical to electronic lubricators, the development of adaptive control algorithms, and improvements in oil chemistry have significantly enhanced efficiency and sustainability.

Proper lubrication ensures minimal wear, optimal engine performance, and compliance with environmental standards. The balance of oil quality, feed rate, and maintenance determines the longevity of critical components. As the shipping industry embraces digitalization and decarbonization, lubrication systems will continue to evolve and play a central role in engine reliability.

As one industry expert summarized, "Lubrication is both a science and an art—it requires precision in formulation, delivery, and control to ensure machinery longevity at sea." [7]

REFERENCES

1. CIMAC Recommendation 15: *Lubrication of Two-Stroke Crosshead Diesel Engines*, 2008.
2. Chevron Marine Lubricants, *Marine Lubricants Handbook*, 2020.
3. Shell Marine, *Marine Lubricants Pocketbook*, 2021.
4. MAN Energy Solutions, Technical Paper: Alpha Lubrication System, 2018.
5. arXiv, *Injection Rate of Cylinder Lubrication Oil in Large Two-Stroke Marine Diesel Engines*, 2023.
6. SKF Marine, *Vessel Lubrication Management Guide*, 2019.
7. Draffin, N., *An Introduction to Marine Lubricants*, Petrosport, 2017.

Kozak S.V., Antonov D.
National University «Odessa Maritime Academy»

Electric Propulsion System

Анотація

У роботі розглянуто електричні рушійні системи сучасних суден, їхню конструкцію, принцип роботи, основні елементи, переваги та обмеження. Особливу увагу приділено гібридним системам та тенденціям розвитку повністю електричного судноплавства. Описано приклади сучасних суден із використанням таких технологій, що сприяють підвищенню енергоефективності та зниженню шкідливих викидів.

Ключові слова: електрична рушійна установка, судновий електродвигун, гібридна система, енергоефективність, морський транспорт.

Annotation

The paper examines electric propulsion systems in modern ships, describing their structure, operating principles, main components, benefits, and limitations. Special attention is given to hybrid technologies and the growing trend of fully electric vessels. Examples of modern ships using such technologies are discussed, emphasizing their contribution to energy efficiency and emission reduction.

Keywords: electric propulsion, marine motor, hybrid system, energy efficiency, maritime transport.

Introduction

In recent decades, the maritime industry has been undergoing a technological revolution. The increasing demand for environmentally friendly and energy-efficient solutions has led to the rapid development of electric propulsion systems. These systems replace or complement traditional mechanical propulsion by using electric motors to drive ship propellers. Electric propulsion provides flexible power management, lower emissions, reduced noise, and greater operational efficiency.

Principle of Electric Propulsion

The basic principle of electric propulsion is the conversion of electrical energy into mechanical energy through electric motors. Electricity is generated by diesel generators, batteries, or alternative energy sources such as fuel cells. The generated electricity is then distributed through the ship's power management system to drive the propulsion motors. This configuration allows for efficient operation under different load conditions and provides high maneuverability, especially in dynamic positioning operations. [4]

Main Components and Systems

An electric propulsion system generally consists of the following main components:

1. **Power Generation Units** – diesel generators, batteries, or renewable energy systems that produce electrical power.
2. **Power Distribution System** – cables, transformers, and converters that deliver power to the propulsion motors.
3. **Propulsion Motors** – electric motors that convert electrical energy into mechanical torque to rotate the propeller.
4. **Control and Automation Systems** – manage power flow, optimize efficiency, and ensure safety under all operating conditions.
5. **Energy Storage Systems** – modern vessels use lithium-ion batteries or supercapacitors to store excess energy for later use. [1]

Types of Electric Propulsion

1. **Diesel-Electric Propulsion** – Diesel generators supply electricity to propulsion motors and ship services. This type is common in cruise ships, research vessels, and icebreakers due to its flexibility and reliability.
2. **Hybrid Propulsion** – Combines diesel engines and electric motors, allowing the ship to operate in full electric mode in ports or environmentally sensitive areas, reducing emissions and fuel consumption.
3. **Fully Electric Propulsion** – Relies entirely on batteries or fuel cells for propulsion. Such systems are used in ferries, short-distance passenger vessels, and harbor tugs where recharging infrastructure is available. [6]

Advantages and Challenges

Electric propulsion systems offer numerous advantages:

- Higher efficiency and better fuel economy at variable speeds.
- Reduced greenhouse gas emissions and pollution.
- Quieter operation, minimizing underwater noise.
- Easier integration with renewable energy sources.
- More flexible ship design due to the separation of engines from propeller shafts.

However, several challenges remain. The initial cost of electric systems is higher than conventional ones. Batteries and power electronics add weight and complexity, and energy storage limitations restrict long-distance operation. Continuous research aims to address these challenges by developing lighter, more efficient batteries and advanced control systems. [5]

Case Studies

Several modern vessels have successfully adopted electric or hybrid propulsion technologies:

- **Color Hybrid Ferry (Norway)** – one of the world's largest plug-in hybrid vessels, using batteries and diesel generators.
- **E-Ferry Ellen (Denmark)** – a fully electric ferry operating entirely on battery power with zero emissions.
- **Yara Birkeland (Norway)** – the world's first autonomous and fully electric container ship.

- **Royal Navy Type 45 Destroyers (UK)** – equipped with integrated electric propulsion for improved efficiency and silence.

These examples demonstrate how electric propulsion contributes to sustainable maritime transport and complies with international emission regulations. [2]

Future Trends in Electric Marine Propulsion

Future development of electric propulsion focuses on increasing energy storage capacity, integrating hydrogen and ammonia fuel cells, and expanding the use of renewable energy sources such as wind and solar power. Digitalization and smart energy management will further optimize power usage onboard. The combination of electric propulsion and autonomous navigation systems is expected to transform the maritime industry, making it safer, cleaner, and more efficient. [3]

Conclusion

Electric propulsion systems represent a crucial step toward achieving sustainable and eco-friendly maritime transport. They provide flexibility, energy efficiency, and environmental benefits unmatched by traditional propulsion systems. With ongoing innovation in batteries, power electronics, and automation, electric propulsion is becoming the new standard for modern ships. It not only improves operational performance but also helps the maritime sector meet global decarbonization goals.

REFERENCES

- [1. Carlton, J. Marine Propellers and Propulsion. Butterworth-Heinemann, 2019.](#)
- [2. Wärtsilä Marine. Sustainable propulsion technologies. Wärtsilä Publication, 2022.](#)
- [3. ABB Marine & Ports. Electric propulsion solutions, 2021.](#)
- [4. MAN Energy Solutions. Hybrid propulsion systems technical guide, 2020.](#)
- [5. IMO. Energy Efficiency Measures for Ships. International Maritime Organization, 2023.](#)
- [6. DNV. Electric and Hybrid Ship Propulsion Report, 2024.](#)

Kozak.S.V., Balanchuk S.
National University «Odessa Maritime Academy»

Tasks of an Electro-technical Officer on a Ship

Анотація: У роботі розглянуто ключові обов'язки та задачі суднового електромеханіка (ЕТО). Описано його роль у забезпеченні експлуатації, обслуговуванні та ремонті електричного та електронного обладнання на борту судна. Особливу увагу приділено відповідальності за системи автоматики, навігаційне обладнання та силові установки. Розглянуто важливість дотримання правил безпеки під час роботи з електрообладнанням.

Ключові слова: судновий електромеханік, ЕТО, електрообладнання, системи автоматики, технічне обслуговування, морська безпека.

Annotation: The paper examines the key duties and tasks of a ship's Electro-technical Officer (ETO). It describes their role in ensuring the operation, maintenance, and repair of electrical and electronic equipment on board the vessel. Special attention is paid to the responsibility for automation systems, navigation equipment, and power plants. The importance of adhering to safety regulations when working with electrical equipment is also discussed.

Keywords: Electro-technical Officer, ETO, ship equipment, electrical systems, automation, maintenance, maritime safety.

The Electro-technical Officer (ETO) is a licensed member of the engine department on a merchant ship. This role is crucial for the operational safety and efficiency of the vessel, as modern ships are heavily reliant on complex electrical, electronic, and automated systems.[4.]

The Importance of the ETO on the Ship

The electrical and electronic systems form the "nervous system" of a modern vessel. Without a competent ETO, the ship cannot function safely. The ETO is responsible for the maintenance and repair of virtually all electrical equipment, ensuring that systems for navigation, communication, power generation, and propulsion support are fully operational. A failure in these systems could lead to a blackout, loss of navigation, or a fire, endangering the crew and the vessel.

Key Responsibilities of an ETO

1. Power Generation and Distribution

The ETO is responsible for the main power plant, including the generators and the main switchboard. They must ensure stable power generation, manage load distribution across the ship, and maintain emergency power supplies, such as the emergency generator and batteries. [1.]

2. Automation, Control, and Instrumentation

Modern ships use complex automation systems for the engine room, cargo handling, and ballast systems. The ETO must maintain, troubleshoot, and repair these systems, including programmable logic controllers (PLCs), sensors, and control interfaces.[2.]

3. Navigation and Communication Equipment

The ETO assists the deck department by maintaining vital navigation and communication equipment. This includes radars, ECDIS (Electronic Chart Display and Information System), GPS, GMDSS (Global Maritime Distress and Safety System), and satellite communication terminals.[3.]

4. Maintenance of Electrical Machinery

This includes the inspection and maintenance of electric motors for pumps, fans, cranes, windlasses, and steering gear. On ships with diesel-electric propulsion, the ETO's role is even more critical, as they are responsible for the high-voltage propulsion motors and converters.[1.]

5. General Electrical and Electronic Systems

The ETO also handles the maintenance of all other electrical systems, from galley equipment and accommodation lighting to fire alarm systems and internal telephone networks.

Safety and Maintenance

Safety is the highest priority for an ETO. Working with high-voltage equipment presents significant risks. The ETO is responsible for implementing and enforcing strict electrical safety procedures, such as "lock-out/tag-out" (LOTO), before any maintenance begins. Regular maintenance, such as insulation testing of cables, cleaning switchboards, and testing circuit breakers, is crucial to prevent equipment failure and electrical fires. Proper documentation and maintaining a log of all maintenance and repairs are also essential parts of the job.

Conclusion

The Electro-technical Officer is a vital specialist essential for the operation of any modern vessel. They ensure the reliability, efficiency, and safety of all electrical and electronic systems. As ships become increasingly complex and automated, the responsibility and importance of the ETO in maritime transport will only continue to grow.

REFERENCES

1. Hall, D.T. Practical Marine Electrical Knowledge. 4th ed. Witherby Publishing, 2021.
2. Witherby Publishing. Ship Automation for Marine Engineers and ETOs. 2nd ed. 2020.

3. International Maritime Organization (IMO). GMDSS Manual. 2024 Edition. IMO Publications, 2024.

4. International Maritime Organization (IMO). STCW: Standards of Training, Certification and Watchkeeping for Seafarers. 2017 Consolidated Edition. IMO Publications, 2017.

Kozak S. V., Adzhiyan A.
National University «Odesa Maritime Academy»

Sustainability in maritime shipping and reduction of emissions

Анотація

У цій роботі розглядається проблема екологічної стійкості у морській галузі з акцентом на зменшення шкідливих викидів із суден. Проаналізовано основні екологічні виклики, спричинені морським транспортом, та представлено міжнародні стандарти, зокрема ті, що запроваджені Міжнародною морською організацією (ІМО) і Конвенцією MARPOL. У доповіді розглядаються інноваційні технології, такі як альтернативні види палива (СПГ, біопаливо). Також висвітлюються практичні аспекти застосування цих технологій і їх економічна доцільність.

Ключові слова:

морський транспорт, екологічна стійкість, зменшення викидів, ІМО, MARPOL, екологічне судноплавство, альтернативні види палива.

Annotation

This paper explores the issue of environmental sustainability in the maritime industry, focusing on reducing harmful emissions from ships. It analyzes the main environmental challenges caused by maritime transport and presents international standards, particularly those introduced by the International Maritime Organization (IMO) and the MARPOL Convention. The report discusses innovative technologies such as alternative fuels (LNG, biofuels). It also highlights practical applications, economic feasibility.

Keywords:

maritime transport, environmental sustainability, emissions reduction, IMO, MARPOL, green shipping, alternative fuels.

Introduction

The international maritime shipping industry plays a pivotal role in global trade, moving an estimated 80-90% of world goods by volume. At the same time, this sector has become a significant contributor to environmental degradation through the emission of greenhouse gases (GHGs) and other air pollutants. As global attention on climate change and sustainable development intensifies, the need for eco-efficient and low-emission shipping becomes increasingly urgent. [1]

In particular, emissions from vessels—including carbon dioxide (CO₂), sulfur oxides (SO_x), nitrogen oxides (NO_x), and particulate matter (PM)—pose risks both to the marine and coastal environment and to the global atmosphere. Studies suggest

that without mitigation, maritime shipping emissions could increase substantially in coming decades. [2]

1. Maritime Transport and Environmental Challenges

Maritime transport is a backbone of the world economy, delivering vast amounts of cargo across continents and enabling international trade flows. However, the environmental footprint of shipping is non-trivial: according to data, shipping was responsible for around 1×10^9 tonnes of CO₂ in 2018, representing about 3 % of global anthropogenic CO₂ emissions.

Impacts on Marine and Coastal Systems. The environmental impacts are multiple: acidification and nutrient loading from NO_x/SO_x, deposition of particulates, and direct CO₂ → ocean uptake contributing to acidification of marine waters. As trade volumes increase, the shipping sector's share of total emissions may increase if unchecked. [3]

2. International Standards and Regulations

Role of IMO

The IMO is the specialised UN agency responsible for the safety and security of shipping, as well as prevention of marine pollution by ships. It has also taken leadership in regulating GHG emissions from international shipping. In 2011, MARPOL Annex VI was amended to introduce mandatory energy efficiency regulations for ships: the Energy Efficiency Design Index (EEDI) for new ships, and the Ship Energy Efficiency Management Plan (SEEMP) for all ships. [4]

The Initial IMO Strategy on the Reduction of GHG Emissions from Ships (2018) set out the vision to reduce total annual GHG emissions from international shipping by at least 50% by 2050 relative to 2008 and to work toward phasing them out entirely as soon as possible. [5]

The 2023 IMO GHG Strategy represents an updated framework with enhanced ambition. Key elements include: reducing carbon intensity of international shipping by at least 40% by 2030 (compared with 2008), increasing the uptake of zero or near-zero GHG technologies and fuels (targeting at least 5%, striving for 10% of energy used by international shipping by 2030), and a goal for net-zero GHG emissions around 2050. [6]

3. Technological and Operational Solutions for Emission Reduction

To meet the regulatory targets and environmental imperatives, the shipping industry must adopt a suite of technical and operational measures. These span from alternative fuels to ship design, engine technologies, and voyage optimisation.

Alternative Fuels & Energy Sources

Some of the leading fuel/energy options include:

LNG (Liquefied Natural Gas): Lower sulfur content, reduced NO_x, but not zero-carbon and methane slip is an issue.

Biofuels / Synthetic fuels: Potentially lower net CO₂ if feedstock and life-cycle emissions are well managed.

Electric / Hybrid Propulsion: Particularly for short sea shipping or ferries, battery or fuel-cell based systems may be viable. [7]

REFERENCES

1. <https://essd.copernicus.org/articles/17/277/2025/essd-17-277-2025.html?>
2. <https://acp.copernicus.org/articles/25/6575/2025/?>
3. <https://www.mdpi.com/2071-1050/17/7/2936?>
4. <https://www.imo.org/en/mediacentre/pressbriefings/pages/decadeofghgaction.aspx?>
5. <https://academic.oup.com/jel/article-abstract/33/1/85/5920576?>
6. <https://www.imo.org/en/ourwork/environment/pages/2023-imo-strategy-on-reduction-of-ghg-emissions-from-ships.aspx?>
7. <https://www.mdpi.com/2071-1050/17/7/2936?>

Kozak S.V., Ivanov O.
National University «Odessa Maritime Academy»

Ship Propulsion System

Анотація

У роботі розглянуто основні типи суднових рушійних установок, їхні конструктивні особливості, переваги та недоліки. Особливу увагу приділено сучасним енергоефективним і екологічним системам, які використовуються в морській галузі, таким як гібридні та електричні установки. Наведено приклади інновацій, спрямованих на зниження викидів і підвищення ефективності морського транспорту.

Ключові слова: судновий двигун, рушійна установка, гібридна система, морський транспорт, енергоефективність.

Annotation

The paper examines the main types of ship propulsion systems, their design features, advantages, and disadvantages. Special attention is paid to modern energy-efficient and environmentally friendly systems used in the maritime industry, such as hybrid and electric propulsion. The paper also highlights recent innovations aimed at reducing emissions and improving the efficiency of maritime transport.

Keywords: marine engine, propulsion system, hybrid technology, maritime transport, energy efficiency. [2]

Ship propulsion systems are essential components that enable vessels to move through the water efficiently and safely.

They convert energy from various sources, such as diesel fuel or electricity, into mechanical motion, propelling the ship forward.

In this essay, we will discuss the main types of ship propulsion systems, their advantages and disadvantages, and modern innovations that make them more efficient and environmentally friendly.

The Importance of Propulsion Systems on the Ship

The propulsion system is the heart of a ship's movement. Without it, the vessel cannot maneuver, maintain course, or achieve the required speed.

Modern propulsion systems are designed not only to provide power but also to ensure fuel efficiency, reduce noise, and minimize environmental pollution.

Types of Ship Propulsion Systems

1. Diesel Engine Propulsion

Diesel engines are the most common type of propulsion system used in ships today. They work by converting chemical energy from fuel into mechanical energy.

The diesel engine drives a propeller through a shaft, providing thrust that moves the vessel forward. [2]

Advantages include high efficiency, reliability, and easy maintenance. However, diesel engines produce emissions that contribute to air pollution.

2. Gas Turbine Propulsion

Gas turbines are used in high-speed ships such as naval vessels and passenger ferries.

They provide high power output and quick response to speed changes.

Despite these advantages, gas turbines have high fuel consumption and maintenance costs, making them less common in commercial shipping. [3]

3. Steam Turbine Propulsion

Steam turbines were widely used in the early 20th century, especially in large ocean liners. [4]

They convert heat energy from steam into mechanical energy to rotate the propeller. Although efficient and reliable, steam systems require large boilers and are less fuel-efficient compared to modern engines.

4. Electric and Hybrid Propulsion

Electric propulsion systems are becoming increasingly popular due to their environmental benefits. [1]

They use electric motors to drive the propeller, powered by generators or batteries. Hybrid systems combine diesel engines and electric motors, allowing the ship to operate efficiently under different conditions.

These systems are quieter, produce fewer emissions, and reduce fuel consumption.

5. Nuclear Propulsion

Nuclear propulsion is mainly used in naval submarines and icebreakers.

It uses nuclear reactors to generate heat, which produces steam that drives turbines connected to the propeller.

The main advantage is that it allows ships to operate for long periods without refueling. However, the cost, complexity, and safety concerns limit its use in commercial ships.

Modern Innovations in Ship Propulsion

The maritime industry is constantly seeking ways to improve propulsion efficiency and reduce environmental impact.

Recent innovations include the use of LNG (liquefied natural gas) as a cleaner fuel alternative, wind-assisted propulsion using sails or rotors, and fully electric ships powered by renewable energy sources.

These technologies represent the future of sustainable maritime transport.

Safety and Maintenance of Propulsion Systems

Maintaining a propulsion system is crucial for ensuring safe and continuous operation.

Regular inspections, lubrication, vibration monitoring, and performance testing help prevent failures and extend equipment lifespan. Proper training of the crew is also essential to handle emergencies and perform basic maintenance tasks.

Conclusion

Ship propulsion systems are vital for the operation of any vessel. They determine the ship's speed, maneuverability, and efficiency. From traditional diesel engines to modern hybrid and nuclear systems, each type of propulsion has its advantages and applications. With the growing focus on environmental protection, the development of clean and efficient propulsion technologies is essential for the future of maritime transport.

REFERENCES

1. [Carlton, J. Marine Propellers and Propulsion. Butterworth-Heinemann, 2019.](#)
2. [MAN Energy Solutions. Marine propulsion systems: Technical guide, 2021.](#)
3. [U.S. Navy. Engineering Manual: Ship propulsion and power systems, 2020.](#)
4. [Wärtsilä Marine. Sustainable propulsion technologies. Wärtsilä Publication, 2022.](#)

Козак С.В.

Національний Університет "Одеська Морська Академія". місто Одеса

Розвиток професійних навичок, знань та вмінь студентів у вивченні англійської мови з використанням сучасних методів та рейтингових оцінювань

Abstract: The article is devoted to the formation of skills and abilities during the teaching of English using modern methods and rating assessments. The article provides examples of a business game in the format of a conference in the form of an interactive practical lesson. Examples of a business game are given for different levels of basic English proficiency. The article considers the rating assessment of knowledge using points.

Keywords: methodology, rating, business game, English, knowledge, skills, abilities.

Анотація: Стаття присвячена формуванню навичок та вмінь під час навчання

англійської мови за допомогою сучасних методик та рейтингових оцінок. У статті наведені приклади ділової гри у форматі конференції у вигляді інтерактивного практичного заняття. Приклади ділової гри наведені для різного рівня володіння базовою англійською мовою. Стаття розглядає рейтингову оцінку знань, за допомогою балів.

Ключові слова: методика, рейтинг, ділова гра, англійська мова, знання, навички, вміння.

Стандарти вищої освіти спрямовані на розвиток професійних навичок, знань та вмінь студентів. У процесі навчання студенти засвоюють нову інформацію, застосовують її на практиці, а також вирішують проблеми та завдання, поставлені викладачем. Роль викладача є ключовою в освітньому процесі. Специфіка вивчення програми з іноземної мови для студентів нелінгвістичних університетів спрямована на розвиток таких навичок: Усне мовлення – правильна вимова, побудова речень, інтонація. Письмове мовлення – передача лінгвістичної інформації через літерні зображення звуків, слів та фраз. Безпосереднє застосування навичок на практиці – під час спілкування, під час ділових ігор, для вирішення конкретного завдання чи проблеми. Навичка – це досконале володіння дією, автоматизований компонент свідомої діяльності.

1) Формування навичок. Під час здобуття вищої освіти студенти засвоюють нову інформацію під час практичних занять. Під час заняття вони записують визначення, словниковий запас та граматичні аксіоми. Конспекти студентів містять коротке тлумачення інформації, представленої викладачем.

2) Розвиток навичок. Одним із найкращих методів розвитку навичок є застосування знань на практиці. Студенти вивчають предмет і за допомогою ді-

лових ігор, рольових технік та рейтингових оцінювань закріплюють свої знання. Нижче перелічені типи навичок, які студенти набувають під час навчального процесу. Сенсорні навички стосуються сприйняття інформації як в освітньому, так і в професійному контексті. Моторні навички є результатом оволодіння рухами. Вони необхідні для читання, письма, виконання тестів тощо. Розумові навички демонструються через виконання розумових завдань та вирішення конкретних проблем, поставлених викладачем. Розвиток розумових навичок необхідний для ефективного вирішення проблем як під час навчання, так і в професійній роботі студента. Мовленнєві навички є результатом розвитку та застосування мовленнєвої діяльності. Ці навички є частиною усного та письмового спілкування. Мовленнєві навички є ключовими у вивченні дисциплін іноземних мов. Навички співпраці є результатом оволодіння нормами, правилами та умовами успішної взаємодії між спеціалістами, що призводить до виконання спільного завдання. Навички колективних дій підкріплюються встановленням темпу та ритму спільної діяльності всіх членів команди. Ці навички забезпечують синхронність, координацію та ефективність усієї команди. Комунікативні навички – це усталені виразні рухи та дії, що включаються у взаємодію з іншими. Вони сприяють встановленню контактів, взаєморозумінню та створенню позитивного емоційного та професійного тону спілкування.

Знання.

Професійні знання є результатом розуміння фактів та явищ професійної діяльності, їх зв'язків, властивостей та взаємозв'язків. Кожен студент повинен бути високо підготовлений до негайного та правильного застосування своїх знань у виконанні професійних завдань. Сукупність та якість професійних знань студента повинні відповідати його майбутній спеціальності та посадовим обов'язкам [2, с. 25].

Залежно від дисципліни, студент вивчає пов'язану інформацію, яка потім трансформується в знання. Для іноземної мови специфіку наукового знання можна поділити на такі етапи.

1) Професійна лексика. У процесі навчання студент зустрічається з новими, незнайомими словами. Роль викладача полягає в правильній інтерпретації нових правил словникового запасу та перевірці знань.

2) Знання граматики. Граматичні норми іноземної мови є фундаментальними в будь-якій мовній дисципліні. Граматичний мінімум поділяється на семестри, а знання перевіряються за допомогою тестів та підсумкових оцінок.

3) Лексична грамика. Спираючись на попередні пункти, студент також практикує набуті знання з метою їх застосування у формі мовлення, діалогу, монологу та ділових ігор.

Навички та Вміння .

Навички найяскравіше проявляються в успішному використанні знань та навичок, у правильному їх застосуванні в новому та складному середовищі. Кожен спеціаліст потребує багатьох гнучких навичок, пов'язаних з різними аспектами його роботи. Навички найяскравіше проявляються в повторюваних умовах, тоді як вміння дозволяють людині творчо застосовувати навички в новому середовищі. На відміну від навичок, вміння вимагають чіткого самоконт-

ролю, активної усвідомленості та володіння узагальненими методами виконання різних завдань. Професійні знання, вміння та навички повинні утворювати систему, що охоплює найважливіші аспекти професійної діяльності [3, с. 16].

Ділова гра.

Одним із способів закріплення набутих знань, вмінь та навичок є проведення ділової гри зі студентами. Ділова гра дозволяє студентам відірватися від звичного формату аудиторних занять, а під час гри викладач також має можливість виявити сильні та слабкі сторони своїх студентів.

Формат інтерактивного практичного заняття на тему «Мій корабель» з дисципліни англійська мова.

Гра представлена у вигляді конференції, під час якої учасники (курсанти) представляють інформацію про компанію, яку вони представляють (як частина гри). Конференція проводиться англійською мовою. Під час презентації учасники ставлять запитання щодо теми та в кінці заняття роблять висновок щодо пройденого матеріалу (підсумок). Гра розрахована на студентів першого та другого курсів рівня А1.

Цілі гри.

1. Курсанти повинні мати фактичну інформацію, або надану їм (наприклад, типи суден, програма мореплавства, обов'язки екіпажу, певний базовий текст, навколо якого побудована гра), або завдання самостійно знайти цю фактичну інформацію.
2. Мовний матеріал відпрацьовується.
3. Ситуація та факти представляються та обговорюються віч-на-віч.

Роль вчителя.

Після завершення підготовчого етапу та початку гри вчитель дозволяє учням грати в гру та не втручається. Вчитель «відсутній» (протягом цього часу можна записувати помилки учнів та аналізувати хід гри). Звичайно, у слабших або більш пасивних групах вчитель також може відігравати певну роль, але це іноді може обмежувати студентів.

Початкові умови:

1. Курсант представляє інформацію про екіпаж судна, членом якого він є. Інформація представлена у вигляді презентації PowerPoint обсягом 10-12 слайдів.
2. Експерти/Ведучий. Під час презентації курсанти слухають та записують інформацію. В кінці презентації курсанти ставлять запитання представнику компанії англійською мовою. В середньому 1-2 запитання.
3. Діалог/Інформаційний захист. Ведучий відповідає на запитання та пояснює аудиторії всі нюанси та зацікавленість роботою на судні.

Приклади ділової гри для груп з різним рівнем володіння мовою.

У групах початкового рівня діловій грі має передувати система вправ, які готують студентів до цього виду діяльності. По-перше, це можуть бути «тренування» – серія суворо контрольованих стимулів та відповідей. У кожній вправі кожен стимул вимагає лише однієї правильної відповіді.

Felix keeps the watch every day, (now) Felix is keeping the watch now. I want to have some photos from my shipboard training. But I don't have any photos.

Мета цих вправ – виробити автоматичні та структурно правильні відповіді.
Методи обговорення:

Вступ до дискусії.

Вступ до дискусії зазвичай складається з кількох основних моментів, які керівник групи може охопити за хвилину-дві. Нижче наведено перелік пунктів, які зазвичай включаються до вступу. Звичайно, ви також можете використовувати власні слова, щоб передати ці пункти.

Привітання: Good morning / afternoon / evening.

Привернення уваги. Is everyone ready to begin? Why don't we get started? Загальне формулювання теми: We're here today to talk about _____. Формулювання конкретної мети або завдання обговорення.

Мета / завдання цього обговорення - домовитися / вирішити / вирішити. Представлення членів групи. At our meeting today, we have Mike Smith, who is a government official. We also have _____. Why don't you introduce yourselves?

Відкриття теми для обговорення: Mary / Andrew, would you like to begin? Who would like to begin?

Студентів зазвичай поділяють на дві підгрупи (кожна може включати від п'яти до восьми осіб). Двоє з них - керівники бригад, які розмістили оголошення про роботу в газеті. Кожній підгрупі надається наступна інформація: оголошення про роботу, зразок резюме та інформація про співбесіду, які обговорюються на уроці. Кожному учаснику призначається роль, а кандидатам надаються очікувані характеристики. Приклади наведено нижче. Поки одна підгрупа проводить співбесіди, іншу можна попросити сформулювати «Тіньовий кабінет» [3, с. 8] та паралельно з кріюїнг-менеджерами обрати свого кандидата на вакантну посаду. Потім буде залучена й інша підгрупа. Керівників вищої ланки слід попередити, що у них є суворо визначений час для кожного кандидата; інакше гра може затягнутися. Крім того, менеджерам знадобиться час, щоб прийняти рішення та оголосити його.

5. Т: Дорогі друзі, тепер ви можете бачити дві групи, які підготували презентацію своєї майбутньої співбесіди у кріюїнгової агенції.

6. Т: Дорогі студенти! Я хочу подякувати вам за вашу роботу. Ви були справді чудові; я сподіваюся, що ви використаєте свої знання англійської мови у майбутньому. А тепер настав час вручити вам сертифікати, для всіх вас.

Сертифікат. Видано _____, щоб підтвердити, що вона (він) закінчила курси англійської мови для майбутніх фахівців морського флоту і можете бути рекомендований для роботи у складі багатонаціональних екіпажів, де потрібна англійська мова.

Старший менеджер:

Examples of vocabulary used during the game

<p>To employ To recruit To flourish</p>	<p>- How many people do you <u>employ</u>? - Our company is <u>flourishing</u> and we <u>recruit</u> more than a hundred workers. Every year we <u>employ</u> ten more. - Great!</p>
<p>Shipping Company Certificate CV interview</p>	<p>- Everybody knows our Shipping Company and every future seafarer would like to work for our company. - <u>What about you?</u> Are you ready for CV interview? - What kinds of certificate do you have?</p>
<p>Crewing agency To be employed To be an experienced seaman To meet troubles</p>	<p>- Does your family (friend) help you to be employed at any crewing agency? - Certainly, my father is a seaman. - Is your father an experienced seaman? - Rather. - Do you <u>meet any troubles</u> in crewing agency?</p>
<p>The terms and conditions Promising To sign Contract of employment</p>	<p>- Mr. Jones, let's discuss <u>the terms and conditions</u> of our new contract of employment? - With pleasure. I find it very <u>promising</u>. - Shall we <u>sign</u> it tonight? - All right!</p>

Structure of a business game

Stage	Content	Teacher's activities	Student's activities
1.Preparatory	Students prepare a presentation, and the audience prepares for a discussion.	Distribution of roles	A student presenting prepares to speak (as a company representative). Students preparing to ask questions and listen to the presentation (jury)
2.Starting	The student begins a presentation about his company.	The teacher makes notes on grammatical or lexical errors in the students' speech. At the end of the presentation, the teacher gives the floor to those who ask questions	The student representing the company gives a detailed account of the firm's operations, citing graphs and statistics. The student judges listen attentively
3. Discussion	Students engage in a discussion on the topic of the representative's presentation	The teacher gives the floor to each student in turn, making corrections as they speak.	Students ask questions of the presenter and learn additional information in English. On average, the audience asks 10 questions.
4. Rehearing	The student representative of the company switches roles with other students.	The teacher monitors the progress of the work, maintains language standards, and also participates in the discussion.	Students ask questions of the presenter and learn additional information in English. On average, the audience asks 10 questions.
5.The final stage	Each of the business game participants will express their opinion on the best presentation.	The teacher makes a conclusion and votes together with the jury for the most interesting company and expresses his opinion.	The conclusion is summarized, everyone asks questions and makes comments on certain points.

Висновки щодо ділової гри.

Після того, як на всі презентації та запитання надано відповіді, студенти голосують за найцікавішу презентацію та захищають свою думку в діалозі. Викладач слухає студентів, виправляє граматичні помилки та ставить запитання.

Висновок.

Використання ділових ігор на уроках англійської мови допомагає мотивувати навчальне мовлення студентів, а розробка та використання викладачем наочних посібників (схем, таблиць, колажів тощо) допомагає студентам продукувати логічні та зв'язні іншомовні твердження.

- навички пошуку, аналізу та використання нормативно-правових документів у своїй професійній діяльності
- здатність ефективно та публічно спілкуватися, вести переговори, зустрічі, вести ділове листування та підтримувати електронні комунікації
- навички кількісного та якісного аналізу інформації під час прийняття управлінських рішень, а також побудови економічних, фінансових та організаційно-управлінських моделей шляхом їх адаптації до конкретних управлінських завдань.

Рейтингове оцінювання.

Рейтингове оцінювання знань студентів є одним із методів оцінювання знань студентів. Класична форма оцінювання (залежно від курсу студента) поділяється на дві системи: «Залік» та «Іспит».

Залік – це форма оцінювання знань студентів в університетах. Замість виставлення оцінки, як це зазвичай робиться під час іспиту, після успішного складання тесту до академічної виписки та журналу оцінок вноситься відмітка про успішне завершення курсу або розділу (ця відмітка також називається «заліком»). Під час заліку враховується не лише рівень теоретичних знань, але й результати практичної підготовки та тестів.

В українській системі освіти тести зазвичай проводяться під час «залікової сесії», яка проводиться перед екзаменаційною сесією. Якщо студент не складає залік, він не допускається до іспитів [2, с. 9].

Рейтингова система оцінювання знань студентів не суперечить класичній системі; ця система використовується для ефективного оцінювання роботи студентів протягом семестру. Це означає, що знання студентів оцінюються не лише під час заліку /іспиту, а й протягом усієї їхньої роботи протягом семестру.

Поточні форми оцінювання студентів включають три тести на семестр, в кінці кожного навчального місяця. Проміжні оцінювання включають диференційовані письмові роботи.

Поточна оцінка	Максимальний відсоток
Відвідування занять	10%
Test #1	10%
Test #2	10%
Test #3	10%
Домашнє завдання	5%
Практичні завдання	5%
РАЗОМ	50%

Під час розрахунку оцінки за курс необхідно дотримуватися такої послідовності: результат іспиту виражається в балах (50 балів), потім він додається до балів, набраних під час поточного оцінювання. Отриманий сумарний результат переводиться в традиційну шкалу оцінювання згідно з таблицею:

100-бальна шкала	Традиційна шкала оцінювання	
95-100	відмінно	Прохідний бал
83-94		
68-82	добре	
56-67	задовільно	
50-55		
20-49	незадовільно	
0-19		

Підсумкова оцінка – іспит.

Відвідування розраховується на основі середньої відвідуваності студентів за весь семестр. Оцінювання, проведене протягом семестру, виставляється викладачем. Мінімальний бал за оцінку – 0, максимальний – 10. За семестр проводиться три оцінювання, кожне в кінці відповідного навчального місяця. Виконання домашніх завдань протягом семестру перевіряється викладачем і оцінюється як «зараховано» або «не зараховано». Мінімальний бал – 0. Максимальний – 5.

Висновки

Підготовка фахівців у вищих навчальних закладах підпорядковується певним психологічним принципам, які відображають суттєві психологічні умови та передумови розвитку та формування особистості студента, успішності його навчання та виховання в університеті, ефективності роботи викладачів та адміністрації. До цих принципів належать: позитивна мотивація до навчання, інтелектуальна активність студентів, належна організація їхньої діяльності (від курсу до курсу), врахування ролі психологічних факторів у житті університетських колективів, викладанні та адміністрації [1, с. 26].

Використання рейтингових методів оцінювання позитивно впливає на ефективність навчання; студенти розуміють, як працювати протягом семестру та презентують свої кінцеві результати на іспитах/заліках. Ділові ігри також сприяють розвитку професійних навичок студентів, оскільки під час ділових ігор студенти поведуться відповідно до своїх ролей та застосовують свої знання на практиці.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

:

- 1.Козак С.В. Дис. Формування іншомовної комунікативної компетенції у майбутніх фахівців морського флоту. Одеса.2001.225с.
- 2.Климова Т.В. Інноваційні технології навчання іноземних мов у вищій школі./ Іноземні мови.-2019.-вип.3
- 3.Richards J.C. Rodgers T.S. Approaches and methods in language teaching. -Cambridge:CUP,2014.
- 4.Brown H.D. Principles of language learning and teaching. - Pearson,2014

Kozak S. V., Prodanov Y. O.
National University «Odessa Maritime Academy»

Ballast Water Treatment Systems on Modern Ships

Анотація

У роботі розглядаються сучасні системи очищення баластних вод на судах, їх принцип роботи, типи та вплив на екологію. Особливу увагу приділено міжнародним вимогам та Конвенції Міжнародної морської організації (ІМО) щодо управління баластними водами. Розглянуто технології знезараження води та перспективи розвитку екологічно безпечних рішень.

Ключові слова: баластна вода, очищення, ІМО, екологічна безпека, морський транспорт.

Annotation

The paper examines modern ballast water treatment systems on ships, their operating principles, types, and environmental impact. Special attention is paid to international requirements and the International Maritime Organization (IMO) Ballast Water Management Convention [1]. Various disinfection technologies and prospects for environmentally safe solutions are discussed.

Keywords: ballast water, treatment, IMO, environmental safety, maritime transport.

Introduction

Ballast water plays a crucial role in maintaining a ship's stability, trim, and structural integrity during voyages. However, the discharge of untreated ballast water poses a significant threat to marine ecosystems, introducing invasive species and harmful microorganisms. To address this issue, the International Maritime Organization (IMO) adopted the Ballast Water Management Convention (BWMC), which requires ships to manage and treat ballast water before discharge [1].

Ballast Water Management Convention

The BWMC, adopted in 2004 and enforced in 2017, establishes global standards for ballast water treatment [1]. It requires ships to implement management plans, maintain ballast water record books, and use approved treatment systems. The goal is to prevent the spread of invasive aquatic species and protect marine biodiversity.

Types of Ballast Water Treatment Systems

There are two main categories of ballast water management methods: mechanical and physical-chemical systems [2]

1. Mechanical methods include filtration and separation processes to remove sediments and large organisms from ballast water.
2. Physical-chemical methods use technologies such as ultraviolet (UV) irradiation, ozonation, electrochlorination, and chemical dosing to neutralize microorganisms. Modern treatment systems often combine several methods for maximum efficiency and compliance with IMO standards.

Examples of Ballast Water Treatment Technologies

One of the most commonly used technologies is ultraviolet (UV) disinfection, which eliminates microorganisms without adding harmful chemicals [3]. Another effective approach is electrochlorination, where chlorine is generated from seawater to kill invasive species. Some advanced systems combine filtration, UV treatment, and active substances to achieve compliance even in high-turbidity waters.

Environmental and Operational Challenges

Despite significant progress, ballast water treatment systems face several challenges, including energy consumption, maintenance requirements, and the need for crew training. Additionally, ensuring consistent performance in varying water salinity and temperature conditions remains a technical difficulty.

Future Trends

Future developments in ballast water treatment technology focus on energy-efficient systems, real-time monitoring, and automation [4]. Integration with ship control systems and digital diagnostics is expected to enhance compliance and operational reliability. Furthermore, global cooperation and stricter enforcement will continue to drive innovation in environmentally friendly maritime technologies.

Conclusion

Ballast water treatment systems are essential for protecting marine ecosystems and ensuring sustainable maritime operations. Compliance with IMO standards not only helps preserve biodiversity but also strengthens the maritime industry's environmental reputation. As technology evolves, more efficient, reliable, and eco-friendly solutions will shape the future of global shipping.

REFERENCES

- [1. International Maritime Organization \(IMO\). Ballast Water Management Convention, 2017.](#)
- [2. Lloyd's Register. Ballast Water Treatment Systems: Technical Overview, 2022.](#)
- [3. DNV. Maritime Environmental Technologies Report, 2023.](#)
- [4. Wärtsilä Marine. Sustainable Ballast Water Management Solutions. Wärtsilä Publication, 2022.](#)

Kozak.S.V., Ambros A.
National University «Odessa Maritime Academy»

Construction of a ship`s electric motor

Анотація

У роботі розглянуто основні компоненти та конструктивні особливості суднового електродвигуна. Розглянуто його головні компоненти, такі як статор, ротор, система ізоляції та охолодження, і їхній адаптації до жорстких умов експлуатації в морському середовищі, капітальний ремонт електродвигуна.

Ключові слова: судновий електродвигун, ротор, статор, капітальний ремонт.

Annotation

The paper examines the main components and design features of a marine electric motor. Particular attention is paid to the analysis of its key assemblies, such as the stator, rotor, insulation and cooling systems, and their adaptation to harsh marine operating conditions, overhaul of a electric motor.

Keywords: marine electric motor, rotor, stator, overhaul, synchronous, asynchronous, elevator

Marine electric motors are key components that provide propulsion and power for various vessel systems. They convert electrical energy into mechanical motion, driving propellers, pumps, and other machinery. Designed to withstand harsh marine conditions, these motors ensure reliable and efficient operation while meeting modern environmental standards. In this essay, we will examine the fundamental types of marine electric motors, their key design features and operational principles, and the modern innovations that enhance their reliability, efficiency, and suitability for maritime applications.

Main Components and Design Features of a Marine Electric Motor

A marine electric motor is a complex assembly designed for reliability in the harsh marine environment. Its main components include the stator, the stationary part that generates a rotating magnetic field, and the rotor, which rotates inside the stator to produce mechanical power. An electric motor receives power from the main diesel generator through the ship's electrical distribution system. The generator produces electricity, which is then channeled to the main switchboard. From the switchboard, power is distributed via electrical cables to various consumers, including the electric motor. [1]

Key design features distinguish it from standard industrial motors. These include advanced cooling systems, often sealed with water-to-air heat exchangers, to prevent overheating. Robust insulation is critical to protect against moisture, salt, and vibrations. Furthermore, the motor's construction utilizes corrosion-resistant materials and

special coatings on parts like the shaft and housing to withstand the corrosive sea atmosphere. These features ensure the motor's durability, safety, and efficient operation onboard a vessel.

Synchronous and Asynchronous electric motors

The fundamental difference between synchronous and asynchronous electric motors lies in the behavior of their rotors. In a synchronous motor, the rotor locks in step with the stator's magnetic field and rotates at exactly the same speed, requiring either permanent magnets or a separate power supply to create its own magnetic field. In contrast, an asynchronous (induction) motor operates on electromagnetic induction: the stator's field induces a current in the rotor, which then creates its own magnetic field to chase the stator's field. This results in the rotor always turning slightly slower than the magnetic field, a characteristic known as "slip."

While synchronous motors are valued for their high efficiency and precision in industrial applications, the maritime industry overwhelmingly relies on asynchronous motors for its daily operations. At sea, reliability is paramount, and the simple, rugged construction of the induction motor makes it ideally suited for the harsh marine environment. They are exceptionally durable and tolerant of vibrations, constant motion, and the salty, corrosive atmosphere that quickly degrades more complex equipment. This robustness, combined with their lower initial cost and ability to handle variable loads, makes them the workhorse of any vessel, powering essential systems like bilge and ballast pumps, cooling water pumps, ventilation fans, anchor windlasses, and cargo handling gear.

Insulation and Cooling Systems for Marine Electric Motors

The insulation and cooling systems of a marine electric motor are specifically engineered for harsh sea conditions. The insulation is made of moisture-resistant and vibration-proof materials to prevent electrical failure from humidity, salt, and mechanical stress. The cooling system often uses a sealed design with a water-to-air heat exchanger, which efficiently removes heat without exposing the internal components to the corrosive marine atmosphere. These adaptations are crucial for the motor's reliability, longevity, and safe operation at sea. [2]

General overhaul of electric motor

The complete overhaul of a marine electric motor involves systematic disassembly, cleaning, and restoration. First, the motor is disconnected and dismantled, with the rotor carefully separated from the stator. All components undergo thorough cleaning using distilled water and specialized solvents to remove corrosive salt, dirt, and oil deposits without causing mineral buildup. This is followed by a detailed inspection and testing of the insulation, bearings, and windings. Worn or damaged parts like bearings and seals are replaced. Finally, the motor is precisely reassembled, realigned, and subjected to performance tests to ensure it meets operational specifications before being returned to service. [3]

Personal Experience with Electric Motors

I am currently aboard the GNV Azzura, where I am completing my apprenticeship as an Electro-Technical Cadet. During the first days of the voyage, I had the opportunity to observe the repair of a faulty elevator. The cause of the failure was burnt-out stator windings in the electric motor. By replacing the damaged motor, the elevator was successfully repaired.

Conclusion

The electric motor is a cornerstone of modern marine engineering, offering a highly efficient and versatile means of propulsion and auxiliary power. Its robust construction, featuring specialized insulation and cooling systems, ensures reliable operation in the demanding marine environment. As the maritime industry steadily transitions towards sustainable practices, the electric motor's compatibility with hybrid configurations and clean energy sources positions it as a pivotal technology for the future. Its role in reducing emissions, enhancing maneuverability, and improving overall energy efficiency is undeniable, making it essential for the evolution of environmentally responsible maritime transport.

REFERENCES

1. Bose, B. K. (2006). *Power Electronics and Motor Drives: Advances and Trends*. Academic Press.
2. Gieras, J. F. (2021). *Advancements in Electric Machines (Power Systems)*. Springer.
3. Abdelrahman, M. (Ed.). (2020). *Marine Engineering: Principles and Physics of Ship Systems*. CRC Press.
3. Harrington, R. L. (Ed.). (1992). *Marine Engineering*. Society of Naval Architects and Marine Engineers (SNAME).

Hrynychuk H., Uzun A.
National University "Odesa Maritime Academy"

Nuclear-powered merchant ships: an unattainable dream or the near future?

The impact of vessels on the environment.

For decades, the industry relied on Heavy Fuel Oil (HFO) that is a byproduct of the refining process. While HFO was the cheap, dense energy source that built modern global trade, it came with a heavy environmental price. Its high sulfur content led to significant SO_x emissions, contributing to acid rain and respiratory issues in coastal populations, while its combustion released thick "black carbon" that accelerated the melting of Arctic ice.

The turning point came with the implementation of MARPOL Annex VI, which gradually tightened the noose on local pollutants. The most dramatic shift for engineers was the "IMO 2020" Global Sulphur Cap, which slashed the allowable sulfur in fuel from 3.5% to 0.5%. This forced a massive transition to Very Low Sulphur Fuel Oil (VLSFO) and the widespread installation of exhaust gas cleaning systems, or "scrubbers".

Transitioning from HFO to Ultra-Low Sulfur Fuel Oil (ULSFO) was supposed to be a cleaner middle ground, but it introduced a new danger for the environment: Black Carbon. To achieve low sulfur levels while maintaining engine performance, many ULSFO and VLSFO blends are packed with aromatic compounds. When these fuels burn, they often produce higher levels of soot and black carbon than traditional HFO—sometimes up to 85% more. Black carbon is a potent climate-forcing agent; when it settles on Arctic ice, it absorbs sunlight and accelerates melting far more effectively than CO₂. Scrubbers may help solve this problem. However, even now we have difficult challenges. The primary issue with scrubbers—particularly the common open-loop systems—is that they use seawater to "wash" the sulfur from exhaust gases. This process creates massive volumes of discharge water that is highly acidic, often with a pH as low as 3. When this acidic "cocktail" is pumped overboard, it directly contributes to ocean acidification in busy shipping lanes and ports. Even closed-loop systems, which recirculate the water, produce a toxic sludge that is difficult and expensive to manage safely.

IMO 2050 (Net-zero framework).

The maritime industry is currently undergoing its most radical transformation since the transition from sail to steam. Driven by the International Maritime Organization's (IMO) revised Greenhouse Gas Strategy, the mandate is clear: the global fleet must reach net-zero emissions by or around 2050. For the marine engineer, this is no longer a distant policy discussion; it is a fundamental shift in the design, operation, and maintenance of the machinery that powers global trade.

The core purpose of the IMO 2050 program is to decouple maritime growth from environmental impact by targeting a «Well-to-Wake» reduction in emissions.

*(Well-to-Wake) is a comprehensive, life-cycle methodology for measuring greenhouse gas emissions in the maritime industry, covering every stage from fuel extraction ("well") to final consumption onboard a ship ("wake").

New types of fuel and their disadvantages.

In marine engineering, we balance two limits: the weight of the fuel (Specific Energy) and the space it takes up (Energy Density). Traditional fuels like HFO and VLSFO are the gold standard for density, offering roughly 40–41 MJ/kg and a high volumetric density of about 38–39 MJ/L. This allows for compact, simple fuel tanks.

When we look at LNG, the energy per kilogram actually improves to roughly 50 MJ/kg, but because it is a liquified gas, its volumetric density drops to about 21–23 MJ/L. This means that even though it's «stronger» per kilo, you need about 1.8 times the volume of HFO to carry the same energy. Ammonia is more challenging; its specific energy is only about 18.6 MJ/kg, with a volumetric density of 12–15 MJ/L. To match the energy of HFO, you need to carry nearly 2.2 times the mass and provide roughly 3 times the storage volume.

Hydrogen is the most extreme case. It has the highest specific energy of any fuel at approximately 120 MJ/kg—nearly triple that of HFO. However, even in its liquid state (-253°C), its volumetric density is only about 8.5 MJ/L. This creates a massive storage penalty: to get the same energy as a tank of HFO, you need a hydrogen tank 4.5 to 5 times larger. Furthermore, while HFO tanks are simply part of the hull structure, these new fuels require specialized independent tanks: LNG needs cryogenic insulation at -162°C, Ammonia requires -33°C or high pressure, and Hydrogen demands extreme cryogenic conditions at -253°C.

The shift in operational complexity is even higher. Traditional HFO and VLSFO are primarily «dirty» but predictable; your main concerns are viscosity, sulfur, and sludge. In contrast, LNG introduces the challenge of «methane slip»—unburnt fuel escaping the exhaust—which is a potent greenhouse gas. Ammonia is perhaps the most daunting for engine room crews; it is highly corrosive to copper-based alloys and lethal to humans at very low concentrations. An ammonia leak is a life-threatening emergency, requiring advanced gas detection and specialized ventilation. Hydrogen presents the opposite problem: it is the smallest molecule in the universe, making it prone to leaking through even the tightest seals, and it burns with an almost invisible flame, making fire detection incredibly difficult without specialized infrared equipment.

LNG was the first major «clean» alternative because it virtually eliminates SO_x and particulate matter, and it reduces CO₂ by about 20–25%. However, it introduces a major environmental «hidden trap»: Methane Slip. Methane is a greenhouse gas over 80 times more potent than CO₂ in the short term. If even a small percentage of unburnt methane escapes through the engine exhaust or the supply chain, the climate benefits of switching from HFO can be completely neutralized. In 2026, the focus for LNG vessels is on high-pressure injection and catalysts to «trap» this slip.

Ammonia (NH₃) is the «zero-carbon» frontrunner because it contains no carbon atoms—meaning it produces zero CO₂ during combustion. However, it brings a new set of environmental risks. If handled incorrectly, ammonia is highly toxic to marine life and humans a minor leak during bunkering or a hull breach could devastate a local ecosystem. Furthermore, burning ammonia can produce Nitrous Oxide (N₂O), a greenhouse gas 273 times more powerful than CO₂. To be truly "green,"

ammonia must be managed with SCR (Selective Catalytic Reduction) systems to ensure these nitrogen oxides are converted back into harmless nitrogen and water.

Hydrogen is the «gold standard» for the environment. When used in a fuel cell or a specialized internal combustion engine, its only exhaust emission is water vapor. It produces zero SO_x, zero CO₂, and amount of NO_x depends on quality of combustion. The environmental «catch» with hydrogen is almost entirely in its production. Currently, most hydrogen is «Gray» (made from natural gas), which still releases massive CO₂ at the factory. For a ship to be truly net-zero, it must use Green Hydrogen made from renewable electricity.

As we can see, although these fuels are cleaner sources of energy, each has its own pitfalls and operational difficulties.

Pros and cons of nuclear-powered ships.

At its simplest, a nuclear reactor is a high-tech furnace. It uses a process called fission, where atoms (usually Uranium) are split to release a massive amount of heat. In a ship, this heat turns water into steam, which spins a turbine to drive the propeller and generate electricity.

From an environmental perspective, this process is remarkably clean. Unlike traditional engines, a nuclear reactor produces zero carbon dioxide, sulfur oxides, or particulate matter during operation, making it one of the most effective ways to decarbonize global trade. The environmental footprint is further minimized by the immense energy density of the fuel, which reduces the sheer volume of resources needed to power a vessel over its lifetime.

Regarding the fuel cycle, once the uranium is spent, it is not simply discarded. The used fuel is carefully removed and transported to specialized cooling and storage facilities. In these secure locations, it is either stored in reinforced dry casks designed to last for decades or sent to advanced reprocessing plants where valuable material can be recovered for future use. This ensures that radioactive byproducts are strictly contained and managed, preventing any damage for the ecosystem.

Small Modular Reactors (SMRs) are the modern, "portable" version of this technology. Unlike the massive plants found on land, SMRs are compact, factory-built units designed to be plugged directly into a ship's hull.

The reason nuclear is a «game-changer» for merchant vessels is the sheer amount of energy packed into the fuel. Here is how they compare in terms of how much energy you get per kilogram of fuel:

Nuclear (Uranium): ~80,000,000 MJ/kg (pure U-235)

Hydrogen: ~142 MJ/kg

LNG (Natural Gas): ~55 MJ/kg

VLSFO (Standard Oil): ~40 MJ/kg

Ammonia: ~19 MJ/kg

The advantages of SMRs go far beyond just being green.

1. In conventional ships, if you want to go faster, your fuel consumption (and cost) increases exponentially. Because nuclear fuel costs are a tiny fraction of the total ship cost, a nuclear vessel can sail at high speeds (24+ knots) constantly. This could shave weeks off global trade routes without reducing profits.

2. Traditional ships must carry thousands of tons of fuel. By replacing those massive fuel tanks with a compact SMR, a vessel can carry significantly more paying cargo.

5. Why merchant fleet get it only now if NAVY and icebreakers have it for 70 years?

Navies have «sovereign» budgets. They can afford the massive upfront cost of a reactor because the strategic benefit (stealth and staying power) is priceless. Merchant ships, however, must answer to shareholders.

In the 1960s, there were nuclear merchant ships, like the American NS Savannah and the German Otto Hahn. But they faced a major problems, critical for merchant:

1. Every time the NS Savannah wanted to enter a new country, it required months of diplomatic negotiations. Many ports refused entry due to public fear of radiation or lack of nuclear insurance frameworks. A cargo ship that can't reliably enter a port is useless.

2. Early reactors were bulky and required massive lead shielding. Because they were «one-off» designs, they took up too much space that should have been used for cargo.

What changed now?

1. Traditional marine reactors, while highly capable, are fundamentally ill-suited for the commercial shipping industry. Most existing designs utilize high-enriched uranium (HEU), which presents significant proliferation risks and carries heavy regulatory burdens from the IAEA (International Atomic Energy Agency) that private companies cannot easily manage. In contrast, modern modular reactors are designed to operate on low-enriched uranium (LEU), which substantially lowers security concerns and aligns with international non-proliferation standards.

2. The financial model for nuclear shipping is defined by a stark trade-off: high initial capital investment offset by exceptionally low operational costs. While installing a Small Modular Reactor (SMR) is currently 3 to 5 times more expensive than a traditional diesel or LNG engine, the long-term economic advantages are transformative.

3. The primary benefit lies in the radical shift in bunkering. The need to include ports with cheap fuel prices in your route will no longer bother ship owners. Unlike conventional vessels that require bunkering every 20 to 30 days, nuclear-powered ships operate for 5 to 10 years before needing to refuel. This level of autonomy provides a massive operational edge, especially in the face of volatile global fuel markets.

In the current landscape of 2026, where carbon taxes are rising and IMO regulations are tightening, the SMR becomes a powerful strategic asset. By eliminating the need for fossil fuels, ship owners can save immense amounts of money, effectively bypassing the costs of carbon compliance and securing a predictable, low-cost energy future for their fleet.

4. The primary barrier to nuclear shipping has been port access, but the transition to SMRs in 2026 has introduced the principle of passive safety. Unlike older reactors that require active pumps and electricity to prevent overheating, SMRs are designed to cool themselves using natural convection and gravity in the event of a

total power failure. This technological leap is currently being matched by regulatory progress; the International Maritime Organization (IMO) and the IAEA's ATLAS project are establishing a new „Nuclear Code.” This framework provides the legal and safety guarantees necessary for major global hubs, such as Singapore and Rotterdam, to accept nuclear-powered commercial vessels into their waters.

7. What possible challenges will the crew face on such vessels?

The transition to Small Modular Reactors (SMRs) introduces a fundamental shift in the responsibilities and technical challenges faced by marine engineers. Unlike conventional internal combustion engines, which allow for manual disassembly and component replacement during a voyage, many SMR designs are engineered as sealed, integral units. This "black box" philosophy means that physical intervention within the primary circuit is often impossible at sea due to radiation shielding and modular construction. Consequently, the engineer's role will evolve from hands-on mechanical repair to high-level system monitoring and the management of long-term component degradation.

The integration of nuclear technology also creates a significant competency gap within the maritime workforce. A new generation of engineers must be proficient in both traditional naval architecture and advanced nuclear physics, requiring a level of specialization that is currently rare in the commercial shipping sector. Operating a nuclear-powered vessel necessitates a deep understanding of processes occurring inside the reactor and rigorous radiation safety protocols. Balancing these high-level technical requirements with the demanding lifestyle of long-term sea deployments presents a major recruitment and training hurdle for the industry.

Furthermore, engineers must contend with the unique physical stresses that the marine environment imposes on a nuclear installation. While land-based reactors operate in stable conditions, shipboard reactors are subject to constant vibration from propulsion systems, structural flexing of the hull, and the violent motions of heavy seas. Maintaining the mechanical integrity of the interfaces between the rigid reactor module and the flexible vessel structure requires constant vigilance. Onboard technical staff will be tasked with conducting sophisticated non-destructive testing and structural monitoring to ensure that environmental fatigue does not compromise the reactor's containment.

The high level of automation and digitalization inherent in modern SMRs also introduces critical vulnerabilities in cybersecurity. As these reactors rely on complex software for autonomous safety functions, the engineer's role increasingly encompasses system administration and cyber-defense. Beyond the technical demands, there is a persistent psychological challenge in managing crew dynamics due to poor understanding of working principles by crew.

Projects of the near future.

Today, the global shipbuilding industry has moved from the conceptual design stage to the practical implementation and production capacity development phase. The main technology leaders—China, South Korea, and the United Kingdom—are simultaneously developing ships powered by small modular reactors, targeting specific commissioning dates between 2028 and 2035.

The Chinese KUN-24AP ultra-large container ship conceptual project, with a capacity of 24,000 TEUs, is the most ambitious in the long-haul class. It is based on a fourth-generation molten salt reactor (MSR) powered by thorium fuel. The use of molten salts allows the reactor to operate at low operating pressure, dramatically improving safety and eliminating the risk of explosive rupture of the reactor vessel. According to official plans from the Jiangnan Shipyard, active construction is scheduled to begin between 2028 and 2030. A consortium of South Korean corporation Samsung Heavy Industries and Danish company Seaborg Technologies is leading the floating energy sector. Their compact molten salt reactor (CMSR) project is designed for installation on specialized power barges with a capacity of up to 800 MW. The modular design allows for factory assembly of the reactor and its integration into the vessel as a prefabricated unit. The first commercial vessel of this type is expected to be launched as early as 2028, marking the first mass application of SMR technology in the marine environment.

The British consortium, including Core Power and Rolls-Royce, is focused on creating an integrated nuclear service infrastructure, which envisions operation without the need for crew maintenance of the core. These projects are expected to be implemented as fully operational commercial vessels by 2032–2035. The current limiting factor remains the international regulatory framework, but the International Maritime Organization (IMO) plans to complete the development of the Nuclear Code by 2027, which will provide a legal basis for such vessels to enter ports around the world.

Conclusion

1. For large vessels, such as mega-container ships and supertankers, switching to nuclear reactors (SMRs) is economically feasible due to the fuel's enormous energy density. In the face of stringent environmental penalties and rising synthetic fuel costs, a vessel's ability to cruise at 30 knots without refueling for 5-10 years creates an unrivaled competitive advantage. A nuclear power plant frees up up to 10% of the usable volume previously occupied by fuel tanks, which directly translates into additional profit.

At the same time, small and medium-tonnage fleets will likely continue to rely on alternative fuels such as green ammonia, hydrogen, or methanol. For smaller vessels, the cost of an SMR installation and the complexity of its maintenance remain economically prohibitive in 2026. It is easier and cheaper for small vessels to bunker with new fuels in coastal zones than to carry expensive nuclear infrastructure on board.

2. The engineers on new-generation nuclear-powered vessels is undergoing a radical transformation. The marine engineer profession is shifting from traditional mechanics to nuclear physics and predictive analytics. The primary tasks of an onboard engineer are monitoring the reactor's „digital twin,” managing system cybersecurity, and monitoring the structural integrity of modules under dynamic ocean loads. The specialist of 2026 is a highly qualified analyst whose job is not to fix breakdowns, but to prevent them through a deep understanding of processes in the reactor core.

3. The near future will mark the finalization of the international „Nuclear Code” under the auspices of the IMO and the IAEA, which will remove legal barriers to nuclear-powered vessels entering key global ports. The regulatory framework is expected to be completed between 2027 and 2028, paving the way for mass keel laying.

The first commercial nuclear-powered vessels of the new type are scheduled to be launched within the following timeframes:

2028: Launch of South Korean floating nuclear-powered barges (Samsung Heavy Industries) to supply power to port infrastructure.

2030: Scheduled launch of China’s first mega-container ship, the KUN-24AP, powered by thorium.

2032–2035: Launch of Western-produced designs from Core Power and Rolls-Royce, marking the beginning of a full-fledged era of „peaceful atoms” in global trade logistics.

REFERENCES

1. Веб-сайт URL: https://carbonmarketwatch.org/2024/09/30/international-maritime-sector-must-set-sail-for-a-just-and-clean-transition/?gad_source=1&gad_campaignid=22946371102&gbraid=0AAAAAq1FW3fd3cnIyxKCSVW88Cw2VCanS&gclid=Cj0KCQiA8KTNBhD_ARIsAOvp6DLKdR1KWBYEYU512_7K13_AiZKUrBx5aMVH_i9kQttgU-Qn8Rq8v0aAsciiEALw
2. Веб-сайт URL: https://www.oecd-nea.org/jcms/c_12892/radioactive-waste-management?hl=uk-UA
3. Веб-сайт URL: <https://www.corepower.energy/news/imo-advances-plan-to-update-regulations-for-nuclear-ships?hl=uk-UA>
4. Веб-сайт URL: <https://www.iaea.org/publications/15790/small-modular-reactors-advances-in-smr-developments-2024?hl=uk-UA>
5. Веб-сайт URL: <https://theicct.org/sector/maritime-shipping/>

Air Lubricating Systems : their perspective and challenges.

Introduction

A vessel's resistance when moving through the water is made up of multiple components, of which frictional resistance is the most dominant. Injection of air into the turbulent boundary layer (between the stationary and moving water) can reduce the frictional resistance of the hull.

Air lubrication systems (ALS) represent promising energy-saving technologies in modern ship design. The maritime industry faces increasing pressure to reduce fuel consumption and greenhouse gas emissions.

Air lubrication technologies reduce friction between the ship hull and seawater by introducing air into the boundary layer, thereby decreasing hydrodynamic resistance and improving vessel efficiency.[1]

Principle of operation

Air lubrication systems operate by injecting air beneath the vessel's hull to create a layer of air or bubbles between the hull surface and surrounding water. This reduces viscous resistance and therefore propulsion power demand.

There are several main concepts:

- Micro-bubble lubrication – air bubbles injected into the boundary layer.
- Air layer systems – continuous air film along the hull.
- Air cavity systems – trapped air pocket beneath flat-bottom hull sections.

The Damen Air Cavity System (DACS)

With DACS an air cavity is created by injecting air underneath the vessel behind a small cavitator that separates the water flow from the hull. To secure the cavity, longitudinal skegs are installed to prevent the air from escaping to the side. The compressors only need to overcome the hydrostatic pressure due to the draught of vessel. As a result of this, the air cavity method requires considerably lower compressor power, than competitive first generation systems. To maximise the area of the hull covered by the system, a series of subsequent cavities are created, separated by transverse skegs that ensure seakeeping behavior is maintained. Having a series of cavities in place has the additional advantage that any air escaping from one cavity is absorbed in the next. [2]

TMC delivers the Microbubble method

The microbubble method is gaining popularity since it can be used on existing hulls. Small bubbles are injected into the water near the ship's hull through several nozzles, which reduce the resistance between the hull and the seawater. The exact process in which friction decreases in the mixture of air and water is dependent on

many factors such as size of the bubbles and where they are injected. However, the bubbles need to be as close as possible to the solid surface of the hull. The biggest challenge is to keep the bubbles inside the so-called boundary layer. The bubbles that are washed away from the area near the hull-wall lose their effect. Therefore, drag reduction only works in a section close to the air outlet. Several air injectors can be placed separately to continuously reduce the drag along the hull wall. The size of the microbubbles is also important since big bubbles cannot move inside the boundary layer and the buoyancy force influences their motion.[3]

Benefits and perspectives

Air lubrication systems offer multiple operational and environmental advantages:

- Fuel consumption reduction typically between 7–12% depending on vessel type.
- Verified fuel savings of about 7–8% during sea trials of commercial vessels.
- Lower CO₂ emissions supporting compliance with EEXI, CII, and EU ETS regulations.
- Potential return on investment within approximately three years.
- Applicability for both newbuild ships and retrofit installations.

As environmental regulations become stricter, air lubrication is considered a key technology in the maritime energy transition.

Technical challenges

Despite strong potential, several technical challenges limit widespread adoption:

- Maintaining a stable air layer under varying speeds and sea states.
- Energy consumption of air compressors reducing net efficiency gains.
- Dependence on hull geometry and vessel operational profile.
- Bubble loss caused by turbulence and propeller suction effects.
- Complex integration during retrofits requiring detailed hydrodynamic analysis.
- Influence of seawater salinity on bubble behaviour and drag reduction effectiveness.

These challenges mean that air lubrication performance must be optimized for each individual vessel design.

Future perspectives

Future development of air lubrication systems focuses on:

- Improved air distribution control systems.
- Integration with digital monitoring and CFD optimization.
- Hybrid solutions combining air lubrication with alternative fuels and energy-saving devices.
- Expansion to different vessel categories including cargo ships, cruise vessels, and offshore ships.

Continued research collaboration between shipyards, universities, and research institutes is expected to accelerate adoption.

Economic and operational expenses

Installation costs and system complexity remain significant barriers. Operators must balance capital investment against long-term fuel savings. However, growing fuel prices and decarbonization policies improve the economic attractiveness of ALS technologies. Classification societies have independently verified efficiency improvements, increasing industry confidence in the technology.

Conclusion

Air lubricating systems represent a highly promising solution for reducing fuel consumption and emissions in shipping. With the right ship hull design, ALS can generate substantial reductions of both CO₂ emissions, with decrease of the vessel's operating costs.

While technical and economic challenges remain, verified performance data and ongoing research demonstrate strong long-term potential.

As decarbonization becomes central to maritime operations, air lubrication systems are likely to become a standard component of energy-efficient ship design.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Marin web site (<https://www.marin.nl/en/research/air-lubrication>)
2. Damen web site (https://www.damen.com/equipment/green-solutions/damen-air-cavity-system?utm_source=google&utm_medium=cpc&utm_campaign=21816984652&utm_id=7015p0000013XVSA2&utm_term=hull%20air%20lubrication&utm_content=167595355143)
3. TMC Compressors web site (<https://www.tmc.com/blog/article/brief-introduction-air-lubrication-systems-als>)

Опришко М. О.

Національний університет "Одеська морська академія"

Інфографіка як складова частина навчального процесу

Сьогодення характеризується постійним збільшенням обсягу інформації й обмеженими часовими ресурсами для її обробки. Щодня розширюється кількість джерел, через які інформація потрапляє до людини. У таких умовах пошук дійсно потрібних і цінних даних стає дедалі складнішим завданням. Одним із дієвих засобів впорядкування інформації є інфографіка. Її використання набуває особливої важливості в освітній сфері, зокрема під час створення навчальних матеріалів. Інфографіка сприяє розвитку ключових навичок, пов'язаних зі здатністю критично аналізувати інформацію. Водночас зростає значення вміння курсантів ефективно засвоювати матеріал у вигляді стислих конспектів. Інтеграція інфографіки дозволяє вдосконалити процес створення конспектів і зробити його більш результативним.

Функції інфографіки можна розділити на три основні категорії:

- ілюстративна: забезпечує оригінальність і привабливість інфографіки, сприяє наочності й компактній виставі візуальних даних, виділяє ключову інформацію за допомогою графічних акцентів.

- когнітивна: допомагає структурувати і систематизувати інформацію, з'єднує образні й абстрактні елементи, забезпечує цілісність сприйняття, стимулює процеси аналізу й синтезу даних, а також активізує асоціативне мислення.

- комунікативна: використовується для надання інструкцій до дій, візуальної вказівки, акцентування значимих елементів, надання рекомендацій і керівництв по освоєнню інформації [1 - 4].

Освітня функція інфографіки відіграє суттєву роль у сучасних навчальних виданнях, адже вона дозволяє полегшити сприйняття інформації та пояснює її за допомогою графічних елементів. Однією з ключових тенденцій у розробці навчальних і методичних матеріалів стає прагнення до максимальної візуалізації змісту. Щоб максимально реалізувати потенціал інфографіки, видавці в усьому світі активно досліджують, як візуалізовані дані впливають на розуміння студентами навчального матеріалу. Згідно з дослідженнями, розмір і формат інфографіки можуть суттєво змінювати спосіб засвоєння інформації із підручника. У разі, якщо теоретичний матеріал супроводжується інфографікою великого формату, студенти зазвичай спершу аналізують її, а вже потім переходять до текстового матеріалу. Така структура опанування є особливо помітною, коли навчальний матеріал характеризується підвищеним рівнем складності. Максимального рівня засвоєння інформації вдається досягти при комбінації тексту й інфографічних елементів [5, 6].

Інфографіка як метод вистави інформації має ряд переваг:

- візуально транслює повідомлення через графічні елементи. Враховуючи, що більшість курсантів краще сприймають візуальну інформацію, цей спосіб сприяє більш ефективній комунікації між викладачем і курсантом;

- мінімізує інформаційний шум, відрізняючись лаконічністю й достатньою повнотою надаваних даних без їхнього перевантаження;

- будь-яка інфографіка сприяє структуруванню теми, тому що вибір графічної форми для передачі повідомлення має на увазі ретельне й точне використання візуальних рішень [7, 8].

Інфографіка повністю відповідає ключовим трендам сучасної освіти. Вона користується популярністю як в електронних, так і в друкованих виданнях, відповідаючи вимогам цифровізації, тобто переходу вмісту в цифрове середовище. Цей формат дозволяє представити інформацію з високим ступенем концентрації, залишаючись при цьому лаконічним і компактним, що особливо важливо для інтеграції в друковані матеріали (рис. 1).



Рис. 1. Тривимірна модель корабля

Крім того, інфографіка являє собою багатофункціональний мультимедійний формат, що об'єднує текстову інформацію, аудіоматеріали та візуальні елементи. Одним із ключових чинників її успішності є здатність передавати велику кількість інформації на обмеженому просторі. Завдяки таким перевагам інфографіка, яка інтегрує можливості мультимедійних технологій, продовжує залишатися ефективним і затребуваним інструментом у галузі освіти. Її створення є результатом складного і творчого процесу, який стає можливим завдяки спільній роботі викладачів, редакторів та дизайнерів.

Використання конспектів лекцій, складених із застосуванням схем, ключових понять і асоціацій, сприяє кращому засвоєнню матеріалу курсантами. Су-

часні програмні додатки дозволяють значно підсилити ефект такого підходу, додаючи інтерактивність і виразність у навчальні матеріали. Молоде покоління дедалі частіше надає перевагу отриманню інформації через екрани мобільних пристроїв, вважаючи цей спосіб більш зручним та швидким у порівнянні з традиційним читанням друкованого тексту (рис. 2).



Рис. 2. Приклад візуалізації даних, наданих на сайті <https://www.5wgraphics.com>

Інфографіка у статичному форматі, яка містить факти та числові дані, динамічні графіки, що відображають зміни чи прогрес, а також короткі відеоролики, які наочно демонструють інформацію через виразні візуальні образи та текст, залишаються найзатребуванішими форматами передачі знань. На мал. показаний приклад візуалізації даних і процесів, що ясно ілюструє, як великий обсяг інформації можна виразити наочно й ефективно за допомогою графічних елементів.

Інфографіка може бути корисною для викладачів не лише під час розробки конспектів. Завдяки сучасним мультимедійним технологіям, проекторам та інтерактивним дошкам, стає можливим створення наочних навчальних матеріалів, що відповідають принципам освітньої інфографіки. Опрацьовуючи інфографіку, курсанти повинні навчитися чітко аналізувати подану інформацію, виділяти основні моменти та відрізняти їх від другорядних, виявляти приховані або імпліцитно представлені дані у змішаних текстах, розумітися на графіках і діаграмах, а також обдуманно оцінювати та використовувати отримані знання, спираючись на власний досвід та ціннісні орієнтири.

Крім того, необхідно підкреслити, що інфографіка може відігравати значну роль у роботі з понятійним апаратом для поглиблення розуміння кожного кон-

кретного предмета. Цей інструмент візуалізації є ефективним засобом роботи з несучільними текстами. Він допомагає краще засвоювати навчальний матеріал, сприяє розвитку дослідницьких навичок і критичного мислення. Однак важливо, щоб інфографіка гармонійно узгоджувалася зі змістом освітнього матеріалу. Надмірне використання цього може відволікати увагу студентів і заважати їм зосереджуватися на головних аспектах досліджуваної теми [9 - 12].

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Трушко, Е. Г., Шпаковський, Ю. Ф. Інфографіка як сучасний спосіб подання інформації. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/infografika-kak-sovremennyy-sposob-predstavleniya-informatsii>.
2. Жидков, І. О., Сандлер, А. К., Афтенъев, А. Ю., Опришко, М. О. Розвиток технічного мислення при вивченні нарисної геометрії // Матеріали 54 наук.–метод. конференції проф.–виклад. складу та курсантів. – Одеса: ОНМА. – 2002. – С. 121 - 122.
3. Сандлер, А. К. Совершенствование информационного обеспечения эксплуатации энергетических установок // Нові технології навчання у вищій технічній освіті: досвід, проблеми, перспективи. – Київ: НУХТ. – 2004. – С. 54 - 56.
4. Sandler, A., Opryshko, M. Restoration and popularization of engineering heritage on latest technologies // Current scientific goals, approaches and challenges: Collection of Scientific Papers "SCIENTIA" with Proceedings of the V International Scientific and Theoretical Conference, December 12, 2025. Dresden, Federal Republic of Germany: International Center of Scientific Research. – 2025. – pp. 566 – 575. DOI 10.36074/scientia-12.12.2025.
5. Newsom, D., Haynes, J. Public Relations Writing: Form & Style. – Cengage Learning, 2010. – 448 p.
6. Бокарева, Ю. С., Романовская, В. Е. Инфографика как современное средство коммуникации // Вісник ХДАДМ. Теорія та історія дизайну. – 2014. – С. 13 - 16.
7. Cairo, A. The Functional Art: An introduction to information graphics and visualization. – New Riders, 2012. – 384 p.
8. Friendly, M. A Brief History of Data Visualization // Psychology Department and Statistical Consulting Service York University. –2006. – 43 p.
9. Черняк, Л. Инфографика: от истоков к современности. URL: <http://www.osp.ru/os/2013/05/1303600>.
10. Опришко, М. О. Огляд підходів і методів ергономічного проектування і устаткування ходового містка // Матеріали Наукової конференції "Морський та річковий флот: Експлуатація та ремонт". – Одеса: ОНМА. – 2015. – С. 179 - 183.
11. Сандлер, А. К., Карпілов, О. Ю., Удолатій, В. Б. Програмування графіки: навчальний посібник. – Одеса: НУОМА, 2025. – 106 с.

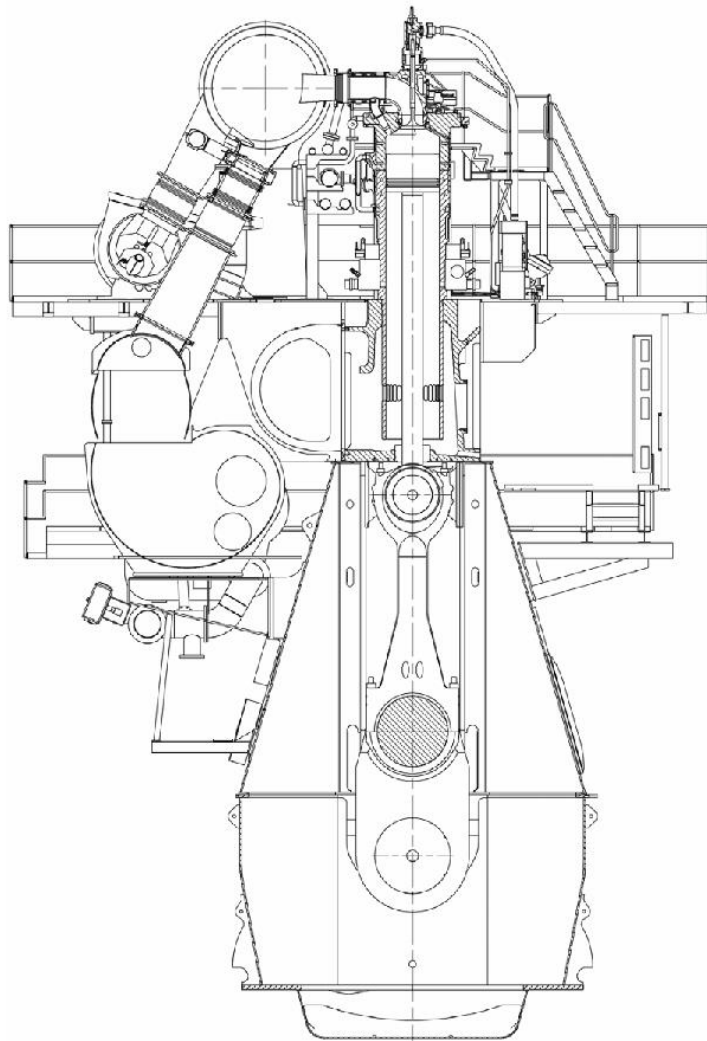
12. Сандлер, А. К., Опришко, М. О., Дулгеров, Д. Д. Дизайн круїзних суден – традиції та інновації фірменного стилю // The process and dynamics of the scientific path: collection of scientific papers «SCIENTIA» with Proceedings of the VIII International Scientific and Theoretical Conference, May 9, 2025. Strasbourg, French Republic: International Center of Scientific Research. P. 106 - 115. DOI: 10.36074/scientia-09.05.2025.

Кравец Г.Б., Дудніченко С.В.
National University "Odessa Maritime Academy"

MAN B&W ME-GA Engines Dual Fuel Concept

General Description:

The ever valid requirement of ship operators is to obtain the lowest total operational costs, and especially the lowest possible specific fuel oil consumption at any load, and under the prevailing operating conditions. Two of the most important factors in adjusting the engine to match the prevailing conditions is to control the fuel injection and exhaust valve activation. A system with electronically controlled hydraulic activation provides the required flexibility, and such systems form the core of the engine control system.



ME Concept

The ME engine concept consists of a hydraulic-mechanical system for activation of the fuel oil injection and the exhaust valves. The actuators are electronically controlled by a number of control units forming the complete engine control system. MAN Energy Solutions has specifically developed both the hardware and the soft-

ware in-house, in order to obtain an integrated solution for the engine control system. The fuel booster consists of a simple plunger powered by a hydraulic piston activated by oil pressure. The oil pressure is controlled by an electronically controlled proportional valve. The exhaust valve is opened hydraulically by means of a two-stage exhaust valve actuator activated by the control oil from an electronically controlled proportional valve. The exhaust valves are closed by the 'air spring'. In the hydraulic system, the system lubricating oil is used as the medium. It is filtered and pressurized by a hydraulic power supply unit mounted on the engine or placed in the engine room. The starting valves are opened pneumatically by electronically controlled 'On/Off' valves, which make it possible to dispense with the mechanically activated starting air distributor. Engine Operating Modes By electronic control of the above valves according to the measured instantaneous crankshaft position, the engine control system fully controls the combustion process. System flexibility is obtained by means of different 'engine running modes', which are selected either automatically, depending on the operating conditions, or manually by the operator to meet specific goals. The basic running mode is 'fuel economy mode' to comply with IMO NO_x emission limitation.

Dual Fuel – GA Concept

The dual fuel engine is designed to operate on several type of fuels. This is beneficial both for economic and environmental reasons. The GA engine allows the engine to run on either fuel oil (FO) or compressed natural gas (CNG).

Injection and Admission

Dual fuel operation requires the injection of first pilot fuel (to start the combustion) and the admission of fuel gas (second fuel) into the combustion chamber. Different types of valves are used for the injection of pilot fuel and admission of fuel gas. The auxiliary media required for both fuel oil and fuel gas operation is:

- Compressed gas
- Fuel oil (pilot oil by the fuel oil system)
- Control oil for actuation of Safe Gas Admission Valves (SGAV)
- Sealing oil to separate gas and control oil

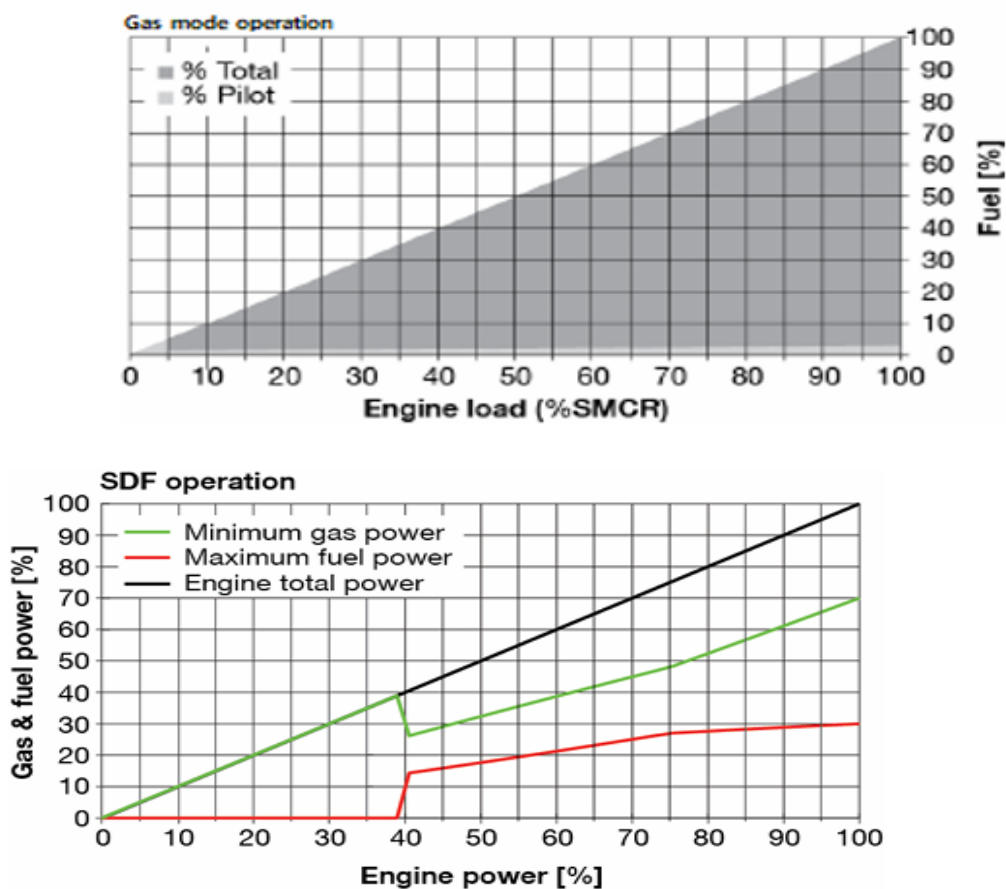
Main GA Components

- A fuel gas pipe system for gas distribution to and from SGAVs mounted on each cylinder.
- A ventilation air system to transport possible leaking fuel gas to a secure place in free open space.
- A sealing oil system, delivering sealing oil to the gas components separating control oil and gas.

- A inert gas system that enable purging of the fuel gas system.
- A control and safety system, comprising a hydrocarbon analyzer for checking the hydrocarbon content of the ventilation air in the ventilation air system.

Engine Operating Modes

One main advantage of the ME-GA engine is its fuel flexibility. The control concept comprises different fuel modes: • Gas mode (Natural Gas with minimum pilot oil amount) • Fuel mode (VLSFO or MGO) • Specified Dual-fuel mode (SDF, Natural Gas and Fuel oil mix)



Micro booster injection valve (MBIV)

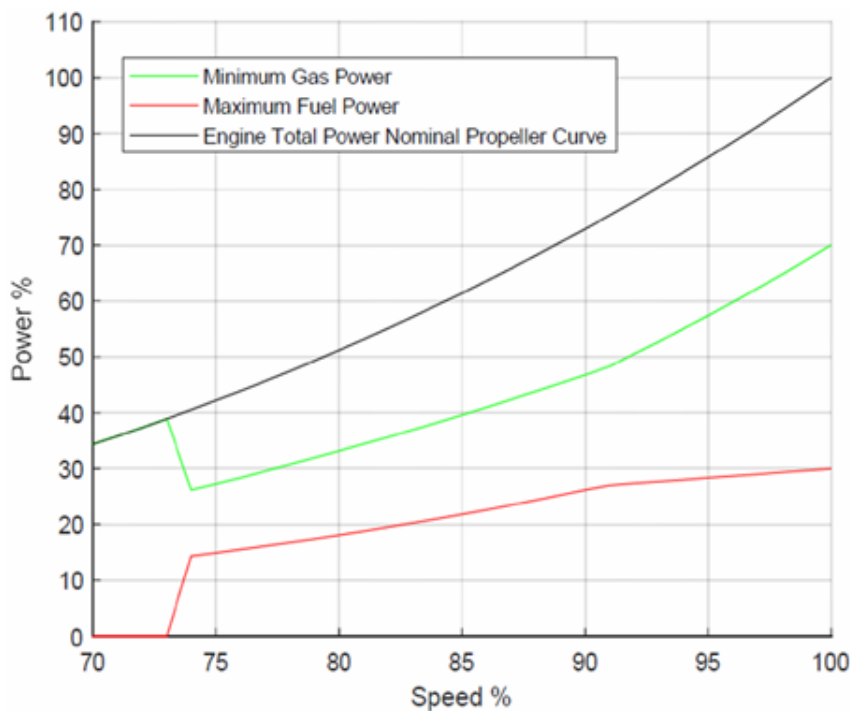
The dual-fuel operating mode is used for gas operation. It can only be started manually by an operator on the main operating panel (MOP) in the control room. The ME-GA engine will be equipped with a dedicated pilot valve, the micro booster injection valve (MBIV). The MBIV is based on existing fuel booster injection valve (FBIV) design. The pilot oil fraction is 0.5%, and the fuels are 0.5% VLSFO or MGO/MDO.

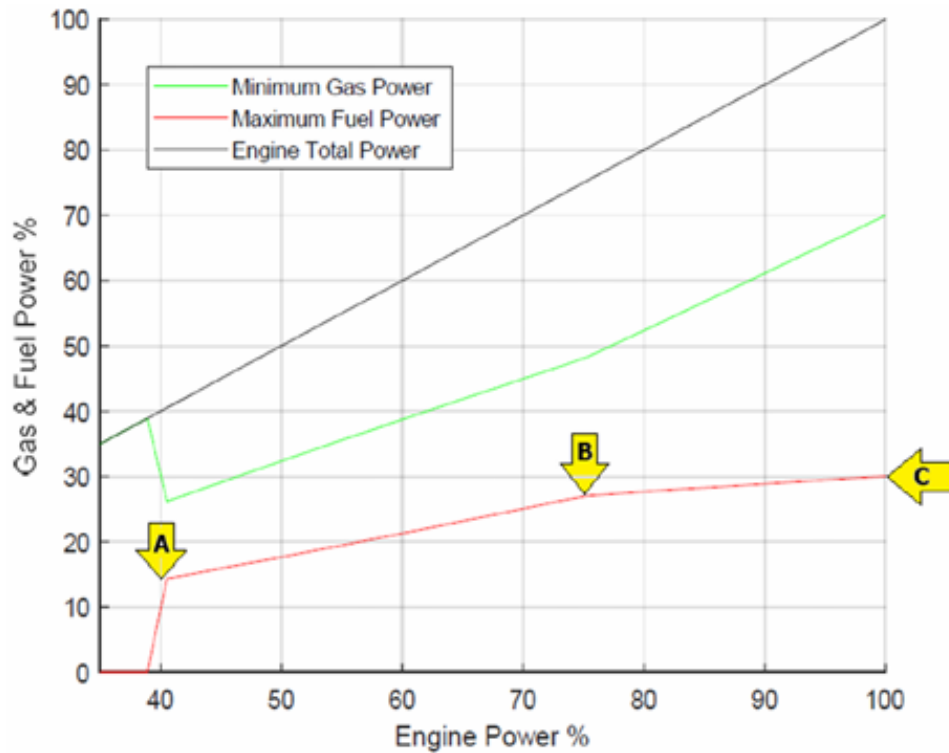
The MBIV shares the same fuel oil supply system as the main fuel oil injectors, but on the engine, the fuel oil is split between the main injectors and the pilot oil system. In general, if a failure occurs in the fuel gas system it will result in a fuel gas shutdown and a return to the fuel-oil-only mode. The fuel-oil-only mode is known

the ME engine. Operating the engine in this mode can only be done on fuel oil, and the engine is considered gas safe. The specified dual-fuel mode is based on economic considerations and the decision to run the ME-GA engine on fuel oil or gas. In principle, the operation can continue on either fuel oil or gas depending on availability and feasibility.

SDF (Specified Dual-fuel mode) Operation

The ME-GA engine runs on a mixture of gas and fuel oil. The FGSS specifies a maximum limit of gas flow (SF Load Limit signal) to the ME ECS for propulsion. During SDF operation, the amount of gas injected can be adjusted to the available gas supply flow limit. If the required engine load cannot be sustained within the “SF Load Limit”, the ECS will adjust the gas injection amount according to the limit by increasing the fuel oil injection amount. The SDF mode can only be activated by the FGSS control system. In cases, where the gas flow is insufficient at a specific engine load, fuel oil will automatically be added to compensate the flow requirement. The gas to fuel oil ratio must be kept within the SDF range to maintain a reliable combustion process. If the range is exceeded, the engine will automatically switch to the fuel-oil-only running mode, and gas standby. Currently, it is expected that a gas to diesel ratio of 10 ~ 30% is realistic above 40% engine load. SDF operation is a compromise compared to dual-fuel and/or fuel-oil operation. It means that the SDF mode is characterised by a reduced engine efficiency, and increased methane slip, and increased NOx emissions.





Maximum Fuel Power				
	Engine Load	Engine Speed	FO Index	FO Load
	0.0%	0.0%	0%	0%
	39.9%	73.6%	0%	0%
A	40.0%	73.7%	20%	14.2%
B	75.0%	90.9%	30%	27.0%
C	100.0%	100.0%	30%	30.0%

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. <https://www.man.eu/engines/en/products/marine/engines-for-commercial-shipping/commercial-shipping.html>
2. <https://www.man-es.com/en/marine>

Гринчук Г.В., Коблік В.В.
Національний Університет «Одеська морська академія»

Використання сервісу Google Forms для контролю рівня знань здобувачів вищої освіти в умовах дистанційного та змішаного навчання

Дистанційне навчання відкриває можливості для здобувачів з усього світу отримувати якісну освіту та стало невід'ємною частиною життя особливо у сьогоденних реаліях коли безпека у пріоритеті. Дистанційне навчання має кілька очевидних переваг та дозволяє здобувачам мати доступ до великого обсягу навчальних ресурсів, враховуючи особисті потреби і темпи навчання. Сучасні інформаційні технології розширюють можливості у доступі до інформації, розвитку особистих компетенцій, налагодженні взаємодії та комунікацій. Завдяки їх швидкому розвитку дистанційне навчання стає все більш доступним та ефективним. Нові платформи та програмні рішення полегшують процес навчання як для викладачів, так і для здобувачів вищої освіти. На сьогодні дистанційна освіта в Україні має безліч переваг, але і потребує ретельного вирішення деяких проблем. Одна з яких - це контроль знань у сучасних умовах що вимагає відмінні від традиційного навчання методи.

Контроль знань студентів є необхідним елементом дистанційної форми навчального процесу, який має місце на всіх стадіях процесу навчання. Особливого значення він набуває після вивчення будь-якої теми, розділу програми і завершення навчання. Одним з сучасних методів контролю є використання тестів. Тести – це не ідеальний спосіб перевірки засвоєння матеріалу, але найкращий з тих, який ми можемо використати в умовах дистанційної освіти.

Використання тестів у навчальному процесі надійно увійшло у світову педагогічну практику. Інтеграція України у міжнародне співтовариство вимагає співставлення освітніх рівнів, а також узгодження принципів підготовки здобувачів вищої освіти. Тому першочерговим завданням нині є запровадження сучасних технологій навчання й оцінювання його результатів. Використання сучасних технологій дає нові можливості, змінюється призначення та можливості тестів, їх форми та методи обробки результатів тестування та їх інтерпретації.

Слово “тест” англійського походження (буквально – випробування). Тести як вимірювальний інструмент використовуються в більшості країн світу. Тестологія (наука про створення і використання тестів), як теорія і практика тестування, існує більш 120 років, і за цей час накопичений величезний досвід використання тестів у різних сферах людської діяльності.

Тестування - це метод педагогічної діагностики, за допомогою якого вибір поведінки, що презентує передумови і результати навчального процесу, повинен максимально відповідати принципам зіставлення об'єктивності, надійності та валідності вимірів, пройти обробку й інтерпретацію та бути прийнятим для застосування в педагогічній практиці.

Тестування як форма контролю має багато переваг:

1. Висока технологічність, що забезпечує розробку, проведення та підрахунок результатів із застосуванням комп'ютерної техніки;

2. Об'єктивність оцінювання, що застерігає від упередженого ставлення і забезпечує рівні умови суб'єктам навчального процесу під час тестового контролю.

3. Простота процедури проведення тестування та обробки отриманих результатів.

4. Використання кількісних показників для визначення рівня засвоєння матеріалу.

5. Чіткість та однозначність умов тестових задач, що забезпечує рівність у сприйнятті їх змісту.

6. Одночасність перевірки знань усіх здобувачів освіти

Також існують деякі недоліки тестування такі як: готові варіанти відповідей, можливість угадування, використання допомоги ШІ.

Цих недоліків частково можна уникнути, якщо використовувати тести різного вибору: альтернативного чи множинного, тести на розрізнення, групування, систематизацію та класифікацію елементів. Тестування не замінює інші форми контролю, а тільки доповнює їх.

Саме враховуючи всі переваги й недоліки тестування здійснюється контроль рівня засвоєння знань здобувачами освіти.

Тести поділяються на контролюючі (summative) та формувальні або формуючі (formative). Мета контролюючих тестів перевірити, контролювати та оцінювати рівень навчальних досягнень. Такі тести можна провести наприкінці вивчення теми, курсу як підсумкові та контрольні.

За допомогою формувальні тестів (formative) моніторять процес навчання розуміння та діагностують труднощі. Їх можна проводити постійно під час навчального процесу, що дає якісний зворотний зв'язок між викладачем та здобувачами освіти.

У процесі навчання поточний контроль знань студентів відіграє важливу роль та дає змогу виявити і своєчасно реагувати на прогалини у знаннях. Крім того, поточний контроль сприяє додатковій мотивації для вивчення навчального матеріалу впродовж вивчення дисципліни. Реалізація поточного контролю забезпечує об'єктивність оцінювання знань студентів та раціональне використання часу навчального процесу, що особливо актуально при груповій формі навчання, коли затрати часу на спілкування з кожним студентом надто великі.

Одним із найпростіших і найзручніших сервісів є Google Forms – програмне забезпечення для створення та адміністрування опитування, який може автоматизувати перевірку знань студентів під час дистанційного навчання. Google Forms використовують самостійно чи як складник платформи Google Classroom. За його допомогою створюють різні типи завдань.

Google Forms можуть використовуватися для проведення як формувального, так і контролюючого тестування. Використання таких тестів онлайн дає змогу автоматично перевіряти результати. Розробка та використання тестів має наступний порядок:

Перший етап це підготовка навчального матеріалу. Потрібно підібрати питання, з яких буде складатися тест та тип самого тесту. Google Forms дають можливість створювати різнопланові запитання:

- завдання з варіантами відповіді: вибір одного варіанту відповіді з кількох запропонованих, тести одиничного вибору;
- вибір кількох варіантів відповіді з кількох запропонованих, тести множинного вибору;
- таблиця з варіантами відповіді де необхідно встановити відповідність між виразами в рядках та колонках таблиці, тести на відповідність;
- завдання з короткими відповідями, які можуть бути у вигляді числа чи тексту, тести з відкритою відповіддю.

Викладач може встановити обмеження на кількість спроб, дату та час доступу до тесту.

2) Другий етап - це налаштування Google Forms. Спочатку потрібно створити форму, для цього перейти Google Форми та авторизватися. Потім створити заголовок і запитання. Для цього натиснути «+» та ввести назву форми, опис та питання, вибираючи типи: текст, один зі списку, прапорці, шкала тощо. Якщо питання обов'язкові - потрібно активувати перемикач «Обов'язково». Google Forms дають можливість змінювати дизайн та додавати зображення. Всі дані зберігаються автоматично на Google Диску. Для отримання посилання потрібно натиснути кнопку «Надіслати» (угорі праворуч) його можливо надіслати поштою або вбудувати на сайт.

Останній крок це вибрати спосіб перегляду відповідей. Відкрийте вкладку «Відповіді», щоб побачити результати у формі або в Google Таблиці.

3) Третій етап - це проведення самого тесту. Після створення тесту можна відкрити до нього спільний доступ, або надіслати електронною поштою. Посилання на готову форму може бути відправлено студенту індивідуально по електронній пошті або в повідомленні соціальної мережі. Тести працюють на будь-яких пристроях (смартфонах, ПК) через посилання.

4) Четвертий етап - це аналіз результатів тестування. Значною перевагою електронних форм є те, що результати анкетування в них опрацьовуються автоматично, аналізуються, виводяться в наочному вигляді. Електронні форми зберігаються в хмарному сховищі, постійно доступні, до них можна звернутися у будь-який момент. Після виконання тесту студент як і викладач має змогу побачити свої результати, якщо ці можливості були вказані в налаштуваннях.

Таким чином використання Google Forms в освітньому процесі сприяє підвищенню інтересу у студентів та заохочення їх до навчання, економить час викладачів на перевірку результатів тестування. Цей інструмент надає викладачам та здобувачам освіти ефективні способи організації навчання, особливо в умовах дистанційного навчання.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Близнюк Т. Цифрові інструменти для онлайн і офлайн навчання: навчально-методичний посібник. Івано-Франківськ : Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника, 2021. 64 с.

2. Варянича Л. О., Шевченко О. М., Петросова В. І. Цифрові інструменти Google для української освіти: використані можливості в умовах війни. Академічні візії. 2023. № 17.

URL: <https://academyvision.org/index.php/av/article/view/229>

3. Водяницький І. О. Використання інформаційних технологій фахівцями технічних дисциплін. Українські студії в європейському контексті. 2023. № 7. С. 187–192.

4. Галчанська В. В. Значення електронних засобів навчального призначення та перспективи їх використання. Українські студії в європейському контексті. 2023. № 7. С. 201–206. 7. Гулай О., Кабак В. Цифрові інструменти GOOGLE як засіб удосконалення освітнього процесу в закладах вищої освіти. Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка. Серія: педагогіка. 2023. Т. 1, № 2. С. 14–23. DOI: <https://doi.org/10.25128/2415-3605.22.2.2> (дата звернення: 24.03.2023).

5. Кривонос О. М., Котенко О. Д. Використання цифрових технологій в освітньому процесі. Наука і техніка сьогодні. 2023. № 1 (15). С. 161-176. DOI: [https://doi.org/10.52058/2786-6025-2023-1\(15\)-161-175](https://doi.org/10.52058/2786-6025-2023-1(15)-161-175) (дата звернення: 24.03.2023).

6. Конопляник Л. М. Роль цифрових інструментів при організації дистанційного навчання фахової іноземної мови в умовах пандемії. Інноваційна педагогіка: наук. журнал. 2021. Вип. 41, т. 2. Одеса : Видавничий дім «Гельветика». С.121–127.

DOI: <https://doi.org/10.32843/2663-6085/2021/41/2.24>

Koblik V.V., Kanyesvky S.
National University "Odessa Maritime Academy"

Research on emergency operating modes of a ship's air start compressor electric drive by using a digital twin model

The main objective of this research is to investigate the emergency operating modes of a ship's air start compressor electric drive using the concept of a digital twin. The purpose is to determine how a digital model can simulate the real operation of the drive, help identify potential failures, and improve the overall reliability and safety of the ship's electrical systems.

To achieve the goal, the following tasks were defined:

1. To study the structure and operation of the air start compressor electric drive used on vessels.
2. To create a digital twin that replicates the main physical and electrical parameters of the drive.
3. To simulate and analyze possible emergency modes, such as short circuit, phase loss, overload, and overheating.
4. To evaluate the response of the protection and control systems during abnormal conditions.
5. To determine how the use of digital twin technology can improve diagnostics and preventive maintenance of ship electric drives.

The study employs numerical modeling tools such as MATLAB/Simulink and specialized marine electric drive simulation software. The model includes the propulsion motor, inverter, control system, and mechanical load, taking into account electromagnetic, thermal, and mechanical dynamics. Fault scenarios - such as voltage unbalance, short circuit, and loss of one phase - are simulated to evaluate system stability and control response.

The starting air compressor is part of the air starting system, which plays a crucial role in ensuring reliable starting of the main engine. Compressed air is necessary to initiate the combustion process in the main engine cylinders. Essentially, the compressor creates the "starting impulse" for starting the main engine. Any malfunction in this system can lead to serious delays or even emergency situations during vessel operation, since without starting air, the main engine cannot be started.

Traditional maintenance methods are mainly based on regular inspections and scheduled overhauls. However, these approaches are reactive - they address failures only after they occur. The concept of a digital twin offers a more advanced solution, allowing continuous monitoring and virtual testing of equipment without interfering with the real system. A digital twin is a computer-based model that mirrors the behavior of the physical system in real time, making it possible to predict and analyze failures before they cause damage.

The digital twin continuously receives data from sensors (IoT devices) installed on the physical object (e.g., a compressor's electric drive). This data (current, voltage, temperature, vibration, etc.) allows the digital model to reflect the current state, performance, and history of the real object.

The model is based on physical, chemical, and mathematical laws, as well as data collected throughout the object's lifecycle.

In this research, a digital twin of the air start compressor's electric drive was developed using simulation tools. The model included essential parameters such as torque, current, voltage, rotor speed, and temperature. To ensure accuracy, the model was calibrated using real operational data obtained from a functioning ship compressor system.

Several emergency situations were simulated to study the system's response:

Phase loss: One of the motor phases was disconnected, leading to a drop in torque, increased vibration, and higher current in the remaining phases.

Short circuit: A sudden current spike was observed, demonstrating the importance of a fast-acting protection relay.

Overload: The simulated load was increased beyond the rated value, resulting in overheating and efficiency reduction.

Cooling failure: The lack of airflow caused rapid temperature rise in the stator windings, eventually triggering an automatic shutdown.

These simulations allowed a detailed analysis of the compressor's electric drive under real-world emergency scenarios without any risk to the actual equipment.

Results and discussion.

The obtained results confirmed that the digital twin accurately reproduces the behavior of the electric drive in both normal and abnormal operating modes. The model clearly demonstrated how critical parameters, such as torque and temperature, change under fault conditions.

The simulation results showed that the digital twin can effectively predict potential failures before they occur. For instance, by observing deviations between real-time sensor data and simulated values, it is possible to detect early signs of phase imbalance, bearing wear, or insulation degradation. This makes it possible to switch from reactive maintenance to predictive maintenance, which significantly reduces downtime and repair costs.

Moreover, the digital twin provides a safe environment for testing new control algorithms and for training ship personnel. Crew members can learn how the system reacts to faults and how to respond correctly without endangering actual machinery.

Conclusions.

The research has demonstrated that digital twin technology offers great potential for analyzing and improving the reliability of ship electrical drives. The digital model of the air start compressor provides valuable insights into system dynamics, enabling engineers to:

- understand complex interactions during emergency conditions;
- optimize control and protection systems;
- reduce maintenance time and costs;
- increase overall safety and efficiency of ship operations.

Thus, the digital twin can serve not only as a research tool but also as a practical element of future smart ship systems. The digital twin allows for more than just noting a deviation; it determines the significance of that deviation in the context of remaining useful life. For example, a slight increase in vibration or a change in the

harmonic content of the current may be an early precursor to incipient bearing wear or insulation degradation. By converting these deviations into actionable alerts, the system minimizes unplanned operational pauses. Instead of waiting for a catastrophic failure (e.g., a complete motor burnout due to overheating) and the resulting forced downtime of the vessel for several days, the twin-based system provides an advance recommendation for component replacement, which can be scheduled at an operationally convenient time or during a port call.

Preliminary estimates suggest that this approach can reduce unscheduled downtime for critical equipment by 30-40% and substantially lower the costs of emergency repairs, which are inherently more expensive than planned maintenance. Reducing the probability of failure in critical systems, such as the air start compressor necessary for main engine ignition, directly impacts overall navigational safety, especially during complex maneuvering or adverse conditions. The digital twin can serve not only as a tool for engineers but also as a powerful platform for informed managerial decision-making, aligning with the broader trend of digital transformation within the maritime industry.

Prospects.

Future work should focus on integrating the digital twin with real-time data collected through onboard sensors and automation systems. This will allow automatic comparison between actual and simulated performance and early detection of anomalies. Another promising direction is the use of artificial intelligence and machine learning to enhance the self-learning ability of the model, making it capable of adaptive behavior and autonomous fault prediction.

As digital transformation continues in the maritime industry, the use of digital twins will become standard practice for improving safety, energy efficiency, and sustainability of ship operations.

The digital twin provides a safe virtual environment for simulating emergency conditions (phase loss, short circuit) and practicing crew actions without the risk of damaging expensive equipment.

Creating a digital twin for the company's entire fleet. This will enable comparative analysis of the performance of similar equipment on different vessels, identifying best maintenance practices, and optimizing spare parts procurement company-wide. In the future, this digital twin could be used for virtual certification of new equipment and even for issuing operating permits, reducing the need for time-consuming and costly sea trials.

REFERENCES

1. S. M. A. Cruz et al., "Real-Time Digital Twins for Intelligent Fault Diagnosis and Condition-Based Monitoring of Electrical Machines," *Energies*, vol. 18, no. 17, 2025.
2. A digital twin comprehensive monitoring system for ship equipment,» *Polish Maritime Research*, vol. 31, no. 4, 2024.
3. A Comparison between Digital-Twin Based Methodologies for Predictive Maintenance of Marine Diesel Engine," *SPEEDAM*, 2024.
4. "A Digital Twin Approach for Fault Diagnosis in Unmanned Ships Integrated Power System," *IEEE Xplore*, 2023.

Koblik V.V., Motuzko A.
National University "Odessa Maritime Academy"

Devices and equipment of modern LNG vessels

Nowadays, liquefied natural gas (LNG) plays a very important role in the global energy industry. Due to the increasing demand for clean and efficient fuel, modern LNG vessels have become an essential part of international transportation. These ships are specially designed to safely carry liquefied natural gas at extremely low temperatures over long distances.

Modern LNG vessels are equipped with advanced devices and high-technology equipment that ensure safety, efficiency, and environmental protection. Over the years, shipbuilding technologies have significantly improved, allowing engineers to develop more reliable cargo systems, navigation equipment, and automation technologies.

Types and construction of tanks

There are four types of LNG tanks: A,B,C and membrane. Membrane is the most popular type of tanks. They adopt corrugated stainless steel as the membrane material. The corrugations, are laid longitudinally and transversely. This design of the 'waffle' membrane is to allow the absorption of thermal contractions and ship movement stresses.

The tank primary barrier is manufactured from 1.2mm thick low carbon stainless steel. Also it has an insulation that consists of balsa wood panels filled with fibreglass or plastic foam bound by plywood sheets, sandwiched between the stainless steel primary barrier and the carbon steel inner hull. Balsa wood or aluminium foil sheet reinforced with glass cloth laminate provides the secondary barrier. The tank primary and secondary barriers are made from 36% nickel steel (invar) 0.7mm thick. Because of the very low thermal expansion coefficient of invar there is no need to compensate for thermal contraction. The insulation boxes filled with perlite are assembled in a similar way to bricklaying.

The insulation thickness, approximately 530mm, allows a boil-off rate of 0.15% per day. In accordance with the IGC Code, the maximum filling capacity for any cargo tank is 98% by volume. However, because of contractual requirements, supported by Flag State approval and allowing for an average boil off rate of 0.15% per day, a slightly higher loading capacity is permitted. On average, a membrane vessel will load to 98.5% by volume.

Equipment used on LNG vessels

Inert Gas Generator (IGG)

IGG plays a very important role in ensuring safety during cargo operations and transportation of liquefied natural gas. Inert gas is used for the inerting and gas freeing of cargo tanks, cargo pipe lines and void spaces for survey or maintenance requirements.

Any inert gas produced must have a dew point lower than the temperature of the cargo containment system in order to prevent ice damage to the tank insulation. So it is essential to minimise the amount of water vapour contained by the inert gas. The

water vapour can be removed, either from inert gas or from air, by cooling, freezing, compressing and cooling, adsorption drying or a combination of these processes.

The Dew point is the temperature at which the water vapour in the atmosphere becomes saturated and condensation begins. The operating parameters of the driers should be such that they can produce and maintain dry air or inert gas with a dew point below the temperature of the cargo tanks in order that no condensation can form on the tank surfaces.

The inert gas is produced by removing oxygen from the air by a combustion process. The quality of inert gas depends on the type of fuel burnt, the combustion efficiency and the effectiveness of the scrubbing arrangements.

A light distillate fuel, such as gas oil, is pumped through the atomizing burner into a combustion chamber where it is thoroughly mixed with filtered air from a blower. The combustion control is automatic and designed to ensure steady conditions producing very low oxygen content without soot formation. A light distillate fuel, such as gas oil, is pumped through the atomizing burner into a combustion chamber where it is thoroughly mixed with filtered air from a blower. The combustion control is automatic and designed to ensure steady conditions producing very low oxygen content without soot formation.

The gas then passes into a cooling tower and water separator where it is scrubbed by water sprayers through which the gas must pass to the outlet at the top of the tower.

Scrubbing cools the gas, and removes solid particles, unburnt fuel and sulphur gases that would otherwise contaminate the system. An oxygen analyser is installed and monitors the gas after the water separator. The saturated gas then has its dew point reduced to the required level.

The valves are operated by the O₂ and dew point analysers and are only opened when the gas analysis meets with the gas requirements. Under all other conditions the gas is blown to the atmosphere via a line running to the top of the funnel.

N₂ Generator

Gaseous nitrogen is produced on board LNG vessels and used for the pressurisation/purging of the barrier insulation spaces, bulkhead seal gas for the LD and HD compressors, fire extinguishing in the vent mast riser, purging of various parts of the cargo piping and for purging of the pipes related to boiler gas burning.

Nitrogen is produced either by the vaporization of liquid nitrogen supplied from shore, or by generators whose principle is based on hollow fibre membranes to separate air into nitrogen and oxygen.

The general principle behind all membrane systems is selective permeation. Each gas has a characteristic permeation rate in that they have an ability to dissolve and diffuse through a membrane. This characteristic allows fast moving gases such as oxygen to be separated from the slow moving gases such as nitrogen.

The main component in a membrane system is the membrane module. Each module contains thousands of hollow fibre membranes fitted into a pressure vessel.

Compressed air is fed through the bore of the hollow fibres. As the air flows along the fibre, oxygen, carbon dioxide and any water contained in the air permeate

through the membrane wall faster than the nitrogen. As the air is gradually depleted of the fast moving gases it becomes enriched in nitrogen.

By adjusting the air flow through the membrane, different nitrogen purities and flow rates can be produced. On older ships which have been retro-fitted with an N₂ generator, the nitrogen produced by the generators is stored in pressure vessels on deck; otherwise the pressure vessels are normally near the generator. There is very little maintenance required on the membrane separator module. However ancillary equipment such as filters and heaters need to be periodically inspected or renewed. The electrochemical oxygen sensor must be inspected and serviced at six monthly intervals. Repair of the transmitter must only be carried out by trained service personnel.

Cryogenic liquid nitrogen is stored in insulated tanks made from 'cold resistant' material - usually a stainless steel pressure vessel. The cryogenic tank has an outer vessel of structural steel, protected by several layers of anti-corrosion paint.

The space between the inner and outer tanks is kept under vacuum and is filled with a non-flammable, high efficiency insulation, which allows nitrogen to be stored over extended periods without appreciable losses.

Storage tanks fitted on deck aboard gas ships are usually re-filled in port by tank trucks.

LNG Vaporiser

The LNG vaporiser is of a shell and U-tube type construction. To avoid thermal stress, the heat exchanger consists of a single-pass shell and fully welded U-tube bundle entirely fabricated from stainless steel.

Cargo liquid is supplied to flow through the tubes, and steam, supplied at 1000kPa, condenses outside the tubes. The vaporiser is pneumatically controlled; the LNG supply to the vaporiser is controlled by the vapour outlet temperature.

The LNG vaporiser can be used for the following operations:

Purging of cargo tanks with vapour after inerting with inert gas and prior to cool down.

Emergency forcing. The LNG vaporiser can be used as a forcing vaporiser whenever the forcing vaporiser has failed.

Discharging cargo without the availability of a vapour return from the terminal.

If the discharge terminal is unable to supply a vapour return facility. Liquid LNG can be fed to the vaporiser via the cargo spray line system.

Liquid nitrogen vaporisation for inerting the cargo tanks and insulation spaces.

On vessels that maintain storage of liquid nitrogen, the LNG vaporisers are used to heat the liquid nitrogen and produce nitrogen gas at approximately +20°C. The nitrogen gas can then be used to inert cargo tanks and insulation spaces.

When being put into operation, the exhaust steam/condensate temperature and vapour outlet temperature must be closely monitored. Depending on the operation to be carried out by the vaporiser, the outlet temperature can be set from -140°C to +20°C.

HD Compressor (High Duty Compressor)

High Duty (HD) compressors are installed on board to provide safe handling of excess LNG vapour during loading of cargo, tank gassing up (when displacing N₂

ashore) and tank cool down and warm-up operations. During loading and tank cool down operations the cargo tank and vapour line pressure will rapidly increase due to the boil off gas. To decrease the pressure, the HD compressor is used to discharge the boil off gas to the shore facility. Control of the compressor is achieved by regulating the position of the compressor inlet

guide vanes, and hence the flow rate, to maintain the cargo tank/vapour line pressure at a pre-set pressure.

During warm-up operations (the process of gradually heating the cargo tanks after the discharge of LNG, this operation is necessary to avoid thermal stress in the tank structure and insulation) the HD compressors are used to circulate warm gas via the gas heaters through the cargo tanks.

This operation is normally done at sea. During gassing up operations, the HD is normally only used to send the displaced inert gas ashore if it is nitrogen. (Most terminals will not accept IG from generators because of the impurities.)

Steam turbines have also been used as a driving mechanism with the steam turbine fitted directly to the compressor. Both turbine and compressor are fitted as one unit and therefore a gas tight bulkhead is not required, as both turbine and compressor are in the Cargo Machinery Room.

Driving mechanisms

In recent years, electric motor driven compressors have been installed on ships, the motor being segregated from the compressor by a gas tight bulkhead. The drive shaft connecting the motor and compressor penetrates the bulkhead. The bulkhead integrity is achieved by a gas tight shaft seal.

Steam turbines have also been used as a driving mechanism with the steam turbine fitted directly to the compressor. Both turbine and compressor are fitted as one unit and therefore a gas tight bulkhead is not required, as both turbine and compressor are in the Cargo Machinery Room.

Seal gas system

A seal gas system is provided to prevent lubricating oil mist from entering the LNG gas stream and to prevent cold gas from flowing into the gearbox and into the lubricating oil system. Nitrogen gas is used as the sealing gas which is fed into a carbon ring with back-up, labyrinth type, seals fitted between the gearbox shaft bearing and the compressor wheel. The nitrogen seal pressure must always be maintained higher than the suction pressure. Seal gas pressure is normally maintained at 30 kPa.

Lubricating oil is stored in the compressor's lubricating oil sump. An immersed steam heater is fitted in the sump in order to maintain a constant temperature of 25°C and avoid condensation when the compressor is stopped.

Lubricating oil is supplied via two lube pumps, the main pump being driven from the high speed shaft gear and the standby/auxiliary pump being electrically driven. Both supply oil to a common supply line feeding the bulkhead seal and compressor gearbox. The pressure is maintained at 600 kPa and the temperature at 40 to 50°C.

Surge Control System

An automatic surge control system is provided to ensure that the compressor flow rate does not fall below the designed minimum during starting and steady operation. This system comprises:

- a flow transmitter
- a suction and a discharge pressure transmitter
- a ratio station
- an anti-surge controller, and
- a surge control valve fitted on the gas stream

If the flow rate falls below the designed minimum preset ratio between the gas flow and compressor differential pressure signals, the anti-surge controller produces a signal which modulates the compressor's surge valve.

LD Compressor (Low Duty Compressor)

LD compressors are installed on board to supply boil-off gas to the boilers, main engine, diesel generators. The objective for utilising cargo boil-off vapour as part of the total fuel consumption is to reduce the conventional fuel consumption and bunker costs.

Another objective is to establish, where possible, a sub-cooled layer of LNG at the liquid surface which helps to inhibit excessive boil off and minimise cargo losses.

It should be noted that an acceptable boil-off rate today is 0.15% the boil-off from the next generation of LNG ships is expected to reduce to 0.1%

The LD compressor's capacity is dependent on signals from the boiler fuel gas control valve position and signals from the vapour header pressure. The higher of these signals is used as a measured value to two PID controllers.

Gas Heaters

The gas heater is of a shell and U-tube type construction. To avoid thermal stress, the heat exchanger consists of a shell and fully welded U-tube bundle entirely fabricated from stainless steel. Cargo vapour flows through the tubes and steam, supplied at 1000 kPa, condenses outside the tubes.

The heaters are used for the following purposes:

Heating the LNG vapour which is then delivered to the HD Compressor for warming up the cargo tanks prior to gas freeing.

Heating boil-off gas supplied to the ship's main boilers via the LD compressor.

Forcing Vaporiser

The Forcing vaporiser is of a shell and U-tube type construction, similar in design to the LNG vaporiser. The vaporiser is installed upstream of the LD compressor with a mist separator at the mixing point with the natural boil-off gas. The forcing vaporiser is used for vaporising LNG liquid to provide gas for burning in the boilers additional to the cargo's natural boil-off.

The LNG is supplied by a spray/stripping pump. The LNG flow is controlled by an automatic inlet feed valve which receives its signal from the boiler's gas management system.

The values listed are typical specifications of forcing vaporisers. The operating parameters of the vaporiser should be such that it can maintain cargo tank pressures within predetermined limits. The vaporiser must be thoroughly pre-heated with

steam before the introduction of any LNG. This is to safe guard against freezing up the condensate side of the unit.

Main Cargo Pumps

On membrane vessels, two main cargo pumps (port and starboard) are located at the base of a three-legged stainless steel trellis fitted beneath the liquid dome. The liquid dome is located near the ship's centre line at the aft part of the tank. On Moss vessels, the tanks contain a central pipe tower, fitted in the domes for the purpose of access into the tank and for the support of pipes and cables running to and from two main cargo pumps fitted at the bottom of the tanks.

Design features

The pumps are of the submerged electric motor type fitted to a single stage centrifugal pump with one inducer stage. The pumped LNG serves to cool the motor windings together with cooling and lubricating the pump and motor bearings.

Gas Combustion Unit (GCU)

Because of the introduction of Dual Fuel diesel engines for propulsion of LNG vessels, an alternative means of LNG boil-off management has been evolved.

Gas combustion units are obligatory for LNG carriers fitted with Dual Fuel diesel engines in order to burn excess boil-off gas when the engine slows down. This could occur while manoeuvring, during harbour operations, when burning off uncondensable gases rejected from the re-liquefaction plant, while at anchor, while alongside or when the engine is switched to diesel mode.

The oxidiser is basically a gas burner suitably sized to deal with the maximum design boil-off rate of the vessel. It is fitted on a frame encased in a large all welded double skinned tube. The inner furnace tube is manufactured from either refractory brickwork or heat resistant steel capable of resisting furnace temperatures up to 1200°C.

The gap between the cylinders acts as an insulation space being cooled by an air flow from two combined combustion and dilution air fans. The gas combustion unit must be fitted in a gas safe area such as the funnel uptake area.

The maximum allowable flue gas temperature must not exceed 535°C.

Re-liquefaction Plant

Traditionally, LNG ships fed boil-off gas (BOG) to the engine room as a fuel for the main boilers to drive the ship's steam turbine propulsion. However, increase in the cost of LNG and advancements in engine technology have led the operators to seek alternatives to the steam turbine. Combined with BOG reliquefaction, electric propulsion powered by 4-stroke engines is a popular choice for LNG carriers, with the largest ships favoring 2-stroke engines. Re-liquefaction of LNG has been accomplished for many years in the processing plants on shore. Early reliquefaction plants for ships were adapted from the technology already in use on shore.

The most common reliquefaction system used on shore is the Brayton cycle (Reversed constant pressure cycle) and this is considered the most practical system that can be used for onboard BOG re-liquefaction systems. The shipboard systems use nitrogen as the refrigerant in the reverse Brayton Cycle; this avoids the use of mixed refrigerants.

The reverse Brayton Cycle is adopted and developed by individual manufactures, however the basic principle of operation is the same.

In conclusion, modern LNG vessels are highly advanced ships equipped with a wide range of devices and technical equipment that ensure safe, efficient, and environmentally friendly transportation of liquefied natural gas. Every system on board, including cargo equipment, safety systems, navigation devices, and automation technologies, plays an important role in the overall operation of the vessel.

Due to modern engineering solutions and strict international safety standards, LNG carriers are able to transport gas over long distances with minimal risk. The development of new technologies continues to improve the reliability and efficiency of these ships.

Therefore, the devices and equipment of modern LNG vessels are essential for safe maritime transportation and for meeting the growing global demand for natural gas.

REFERENCES

1. LNG tanks: Types, sizes and construction: <https://molgasenergy.com/lng-tanks-types-sizes-and-construction>
2. LNG equipment: <https://www.cartindustries.com/Markets/LNG-Equipment>
3. Ocean Learning Platform: <https://app.oceantg.com/>

Molodtsova V.
National University "Odesa Maritime Academy"

Educational games in reducing communication barriers among marine engineers

Maritime trade is one of the most globalized spheres today. Effective communication is particularly important for operational efficiency and safety in multinational working environment specific for the maritime sector. However, psychological anxiety, limited language proficiency, and intercultural differences may create communication barriers for mariners, which adversely affect their confidence and impairs teamwork.

This study investigated the potential of educational games as an innovative pedagogical tool in decreasing language barriers in marine communication. We conducted a 10-week experiment with a target group of 30 second-year marine engineering cadets. The research involved the use of such activities as role-playing, scenario-based simulations, and collaborative problem-solving tasks. The findings demonstrated that game-based learning notably enhanced communicative engagement and reduced students' fear of making errors when speaking. The participants of the target group reported their communication anxiety significantly decreased. Realistic scenarios of professional situations were particularly effective in fostering pragmatic communication strategies tailored to shipboard environments. The study proved the effectiveness of educational games in Maritime English instruction and highlighted the value of realistic professional simulations for developing maritime communicative competence.

Introduction

The maritime sector is one of the most globalized spheres. In working environment where people come from diverse linguistic and cultural backgrounds, effective communication is vitally important, as it directly affects safety of people, ship and cargo. According to numerous investigations, many maritime accidents have been reported to occur due to communication failures resulted in misunderstanding among crew members and human error. Hence, efficient communication is a fundamental professional skill for mariners, both navigators and engineers.

Difficulties in conducting spontaneous discourse, related to hesitation and language-related anxiety, can impede the growth of mariners' language proficiency. Interactive and student-centric learning methodologies are acquiring greater focus nowadays. Educational games, as part of game-based learning approaches, create a safe environment where learners can actively participate in communicative activities with greater confidence and a higher level of engagement.

Experts found that communication difficulties are mainly caused by linguistic, psychological and intercultural barriers.[1] The multilingual and multicultural crews present a fertile field for miscommunication between crewmembers which increases the risk of misunderstanding and operational risks.

Game-based learning is a recognized effective teaching method that enhances motivation and engagement of student.[2] At the same time, students' anxiety considerably goes down. Cadets are involved in interactive tasks and role-plays that can help reduce language-related stress. Scenario-based activities replicate real-world communication situations and let students practice speaking in professional real-like contexts developing their situational awareness and problem-solving skills in a safe, controlled atmosphere.

Scenario-based learning is widely used in ESP, however their role in boosting communicative confidence and removing language-related barriers needs thorough further investigation.

Methodology

This research investigated the effect of educational games on the development of communicative competence of the target group of 30 second-year engineering cadets. It included three stages:

- an initial assessment of students' communicative competence and participation levels in the classroom;
- ten-week experiment with educational games extensively involved in Maritime English instruction;
- and a final assessment of the changes in communicative competence and engagement in lesson activities.

Educational games have proven to provide a supportive environment for learners encouraging them to use English freely with a high level of engagement in the learning process. The educational games practiced during the experimental period included:

- Role-playing shipboard conflict scenarios;
- Emergency communication drills;
- Multinational crew briefing exercises;
- Collaborative problem-solving activities.

Data collection methods

The methods of data collection included participation monitoring, self-assessment questionnaires, and teacher evaluation.

Scenario-based role-plays were designed to reflect realistic engine room situations, so that the cadets could act out real-life maritime challenges.

Example:

During routine preparatory checks before departure, fuel system inspections are underway. The 3rd Engineer is focused on cleaning a fuel oil duplex filter as a part of system readiness checks while the 2nd Engineer oversees the process.

Here, we can consider several variants of interaction between the participants. By selecting appropriate patterns and communication tones, students can act out different scenarios as they would in real life. Besides mastering necessary vocabulary, overcoming language barriers, and experiencing possible communicative settings

within their professional communication framework, the students learn to feel how the choice of the phrases and grammatical patterns directly affects the flow of communication.

Scenario Variant 1: Cooperative Professional Communication

This scenario demonstrates a supportive and collaborative approach. The senior engineer monitors the progress using a respectful tone. Such interaction ensures good teamwork and encourages the junior engineer to feel confident when reporting on the done work.

Dialogue:

2nd Engineer: "How's the fuel oil filter cleaning coming along?"

3rd Engineer: "I'm just finishing up and sealing the filter housing now."

2nd Engineer: "Alright, let's double-check that the filter is secure before activating the fuel system."

Scenario Variant 2: Hierarchical Communication with Mild Reproach

In this situation, the senior engineer approaches from a hierarchical position. The tone of his message demonstrates his dissatisfaction with the delay. However, this style of communication is common in operational contexts with limited timing.

Dialogue:

2nd Engineer: Still working on the fuel oil filter?

3rd Engineer: Yes, there was some dirt inside the element.

2nd Engineer: This should have been completed earlier before we began preparations.

Scenario Variant 3: Behavior-Control Communication

It illustrates directive tone on the part of the senior engineer. At the same time, the engineer gives clear and firm instructions to prevent risk and unsafe operation. It's quite common at emergencies when safety and accuracy are essential.

Dialogue:

2nd Engineer: Stop the preparation.

3rd Engineer: Almost done with the filter.

2nd Engineer: Clean it thoroughly first. Do not start the fuel system yet.

Scenario Variant 4: Clarification and error prevention

This scenario focuses on clarification to avoid misunderstanding and resulting failures. The senior engineer checks the proper completion of the procedure and ensures that the junior engineers realizes the importance of verification before checking.

Dialogue:

2nd Engineer: Did you replace the sealing ring after cleaning the filter?

3rd Engineer: I cleaned the filter, but I haven't changed the ring yet.

2nd Engineer: Please, replace it. We cannot risk fuel leakage during operation.

Scenario Variant 5: Emergency-oriented communication

This situation demonstrates communication at urgent circumstances, so instructions are short and clear. The focus is on immediate action. Such a style is typical during technical problems when prompt actions are essential.

Dialogue:

2nd Engineer: Hold on. I see fuel pressure dropping.

3rd Engineer: Should I start the engine?

2nd Engineer: No! Check the filter housing and report.

Through role-playing such practical scenarios cadets enhance their communication and interaction skills within authentic settings which can be beneficial for their professional path.

Along with it, cadets analyze different communication strategies in terms of resolution of an oncoming conflict by understanding the effect of a proper social pattern choice.

Results and discussion

The research discovered a significant increase in students' engagement after the experimental period of educational games application. The level of participants' engagement rose almost twice: from 42% to 79%. Cadets reported feeling more confident in starting conversations, clarifying and expressing opinions. Group interaction became more structured and cooperative. Students didn't show fear of admitting their own mistakes, being quite tolerant of others' errors as well. These findings demonstrated a highly positive role of educational games in reducing language-related barriers.

Games allow students experiment with the language in spontaneous speech, recognizing varying communicative styles. Scenario-based activities helped practice collaborative approaches, emergency instruction to ensure effective communication under operational stress. Intercultural scenarios develop empathy and adaptability, along with flexibility, when interacting with representatives from other cultures.

Further research

Future research could involve a broader target group of different ages and specialties. Furthermore, the use of AI provides great opportunities of drilling a wide range of scenario-based simulations to practice using proper language patterns becoming aware of the aftereffects of this choice in terms of problem-solving and conflict-resolution skills.

The integration of artificial intelligence as an interactive partner in scenario-based communicative activities considered to be a promising trend in Maritime English instruction. Such interaction with AI in the framework of designed scenarios of real-like simulations mirrors realistic maritime communication and provides dynam-

ic AI-generated responses during speaking practice. What is particularly beneficial is that these responses are unpredictable and can lead the dialogue in any direction guiding students to promptly and appropriately react. So, students will need to adjust their communicative strategies in real time, which is an excellent practice of spontaneous speech.

In addition to varying tones and patterns, AI can assume different roles. Thus, artificial intelligence partner can affect the development of a dialogue and create communicative challenges for a student, who, in his turn, can select from a set of linguistic and grammatical patterns, choosing a tone and register, can lead the dialogue toward cooperative problem solving, hierarchical instruction, or conflict resolution.

Such experience teaches students to carefully select appropriate communicative patterns being aware of possible communicative outcomes. In order to control the flow of professional interaction, students should apply effective language structures and avoid unclear instructions, while the AI partner may add extra complications within the scenario, prompting the learner to reconsider the communication strategy. Thus, the dialogue becomes a dynamic learning process where students learn to predict and evaluate the communicative consequences of their linguistic decisions.

In ESP, the use of artificial intelligence offers a number of benefits. These could be individualized learning trajectories for cadets which give a possibility to practice professional communication repeatedly in varied operational contexts. AI can analyze learners' responses and adjust the complexity level of the communicative activity, fostering gradual growth of students' communicative competence. Through simulations of professional contexts involving emergency decision-making, technical troubleshooting in the engine room, intercultural misunderstandings within multinational crews, or time-critical operational instructions, cadets can improve not only their linguistic competence but also situational awareness, decision-making abilities, and professional communication strategies.

Thus, artificial intelligence can be more than a technological instrument. It will be an educational partner. The integration of AI-driven dialogue systems into scenario-based educational games has the potential to greatly enhance Maritime English practice for maritime cadets by creating flexible, adaptive, and highly realistic learning environments.

Conclusion

Educational games represent a valuable pedagogical tool for removing communication barriers among seafarers. The combination of interactive activities and realistic scenarios boosts communicative confidence, and enhances their cross-cultural competence. The introduction of scenarios-based simulations into Maritime English instruction will improve students' preparedness for communicative challenges at work, furnishing them with all necessary communicative skills for efficient and successful communication on board ship.

The research demonstrated a high potential of educational games in students' classroom engagement and reduction of errors' fear. Scenario-based simulations enabled learners to differentiate between various communicative styles, such as col-

laborative approaches, hierarchical instructions, and emergency-oriented directives. Language-related anxiety was significantly mitigated through creation of a controlled and realistic environment. Moreover, incorporating intercultural and multilingual problems into scenarios contributed to developing students' soft skills, such as empathy, adaptability, and flexibility, which is of great importance in cadets' future career.

Further investigation can focus on the role of artificial intelligence (AI) in Maritime English instruction as an interactive partner in educational games. AI can generate spontaneous responses creating challenging communicative situations for cadets, where they will have to select appropriate language patterns and communicative strategies. The choice of linguistic patterns, tone and register affects the outcomes of the communication act. AI-driven simulations could adjust the dialogue with the consideration of the student's choice, and providing the context for effective conflict resolution, collaborative problem-solving, or emergency communication protocols. Students will be able to experience realistic, responsive interactions in a safe and controlled environment. This approach could both prepare cadets for real-life challenges at sea and furnish them with the cognitive flexibility and linguistic precision required for safe and efficient ship operations.

REFERENCES

1. Gabedy, G. & Hu, Y. (2025). Enhancing maritime safety through linguistic analysis: a case study of communication failures in maritime accidents. *WMU Journal of Maritime Affairs*. <https://link.springer.com/article/10.1007/s13437-025-00371-y>
2. Acar, U., & Varsami, C. (2021). Practical Communication Approach in Maritime English. *TransNav – International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*. https://www.transnav.eu/Article_Practical_Communication_Approach_Acar%2C59%2C1153.html
3. Simanjuntak, M.B., Selasdini, V., Malau, A.G., Barasa, L., Gahyadi, T. (2024). Development of maritime English communication learning model based on multiliteracy pedagogy. *Multidisciplinary Science Journal*, 7(5), 2025237. <https://www.malque.pub/ojs/index.php/msj/article/view/5613>

Fire drills on board

Main purpose

The aim of performing any type of drill on the ships is to make the crew members aware of different procedures that need to be followed during emergency conditions. It is a means to make the crew members aware of the equipment and procedures that are to be used during emergencies.

In the shipping sector, the most authoritative source of statistics is the annual Allianz Safety and Shipping Review.

Fire is the second source of statistics. Fires have been occupying second place in the overall number of vessel losses (7 fully lost vessels in 2024).

While sinking is a more common cause of vessel losses, it is fires that are currently causing the most concern for insurers and classification societies. The number of shipboard fires is on the rise (approximately 250 serious fires in 2024, a record high over the past decade).

This is why fire drills are given such obsessive coverage:

1. There are no firefighters on ships

If your house is on fire, you go outside and call the fire department. On a ship, there is no place to go. If the crew cannot handle the fire on their own within the first 15-20 minutes, the ship will probably be lost.

2. Ships are a perfect oven (Heat conductivity)

Ships are made of steel, and steel conducts heat perfectly. If a cabin or part of a hold is burning, the deck, bulkheads, and ceiling heat up instantly. This creates a conduction effect: paint, cables, and furniture in an adjacent room can ignite simply from a red-hot wall, even without open flames. Drills teach the crew not only to extinguish the main fire but also to cool adjacent areas.

3. Toxicity and complex cargoes

Modern vessels transport millions of lithium-ion batteries (in containers and electric vehicles on Ro-Ro ships), chemicals, and fertilizers. A lithium-ion battery fire cannot be extinguished with water; it releases toxic gases and is prone to thermal runaway. If the crew is not trained to work in Self-Contained Breathing Apparatuses (SCBA), people will suffocate in minutes.

4. Human factor and panic

According to Allianz statistics, up to 75% of all maritime incidents are related to human error. In a smoke-filled, narrow corridor, with alarms blaring and zero visibility, panic sets in. Regular fire drills are essential for building "muscle memory." A seafarer must be able to blindly don a breathing apparatus, find the right valve, and roll out a fire hose without thinking twice



Automatic Sprinkler System

The sprinkler system is considered one of the most reliable fire extinguishing systems on a vessel and operates in a fully automatic mode. The requirements for the design and specifications of the sprinkler system are strictly regulated by the FSS Code

Unlike fixed fire extinguishers, such as CO₂ extinguishers that discharge gas throughout the entire engine room or cargo hold, sprinklers are used in spaces where people live and work. This includes accommodation spaces, mess rooms, corridors, galleys, and public spaces. In passenger ships and ferries, the presence of sprinklers is strictly mandatory.

Principle of Local Action

The main feature of this system is that it does not flood the entire accommodation block when a general fire alarm is raised. The sprinklers operate only in the location where a fire actually occurs.

The sprinkler head has a valve held closed by a special glass bulb filled with liquid. In a fire in a room, the temperature increases quickly. When it reaches a critical temperature (usually 68°C for a red liquid-filled bulb), the bulb bursts because of the expansion of the liquid inside. The valve opens, and water is sprayed onto the deflector in a dense shower over a 9-16 square meter area. The rooms on either side remain completely dry because the temperature in these rooms is normal.

Fire-Fighting vessel

These ships have immense power. Depending on their type (ranging from I to III), they can deliver water ranging from 2,400 to 9,600 cubic meters per hour at a distance of over 100 meters. However, the presence of this "maritime firefighter" does not mean that the crew of the stricken ship becomes a mere spectator. This is a complicated joint operation that demands absolute discipline.

1. Command & Communication

Until a salvage contract (such as LOF - Lloyd's Open Form) is formally signed and command is handed over to a qualified Salvage Master; the Master retains full responsibility for the ship. Communication begins with the establishment of communication through VHF. The tug must not pour water on the ship randomly. The Master or the On-Scene Commander designates where the fire monitors should be pointed.

2. Fire Control Plan

It is essential for the salvors to have information about the layout of the distressed vessel, i.e., the location of fuel tanks, dangerous goods, or pressurized cylinders. To do this, the salvors must be supplied with the Fire Control Plan. As per regulations, a copy of the plan is always kept outside the accommodation block in a red watertight tube-specifically designed for shore-based and rescue teams.

3. Boundary Cooling

The main aim of the tug during the initial phase is not to put out the fire in the engine room (the huge water jet simply won't reach there), but to cool the boundaries. Strong jets of water are aimed at the ship's body and deck. This is done to ensure that the red-hot steel doesn't deform and the fire doesn't spread to the next compartment because of the high thermal conductivity of the metal. At the same time, the crew tries to put out the fire from the inside, for example, by sealing the compartment to activate the fixed fire-extinguishing system (CO₂).

4. Connecting to the Fire Main (International Shore Connection)

If the distressed vessel experiences a blackout and its own fire pumps are not working, the crew can receive water from the tug. The International Shore Connection (ISC) is used for this purpose. This is a standard universal flange that the crew fits onto their fire hydrant, and the tug connects its hose to it. Thus, the pressure from the rescue vessel's pumps is supplied directly into the distressed vessel's internal fire main system, allowing the crew to use fire hoses inside the compartments.

5. The Main Hidden Threat: Stability Control

This is the least obvious but most deadly aspect of the joint operation. Fi-Fi tugs pour thousands of tons of water onto the ship. If this water accumulates on the deck or in the accommodation, the Free Surface Effect occurs. The center of gravity shifts, and the vessel can lose stability and capsize. Therefore, the Chief Officer

must continuously monitor the list and draft. The crew must open the scuppers to drain water overboard and simultaneously pump it out of internal spaces using pumps. If the list becomes critical, the Master immediately orders the tug to stop the water supply.



The One of the biggest fires ever reported

On March 6, 2018, when the ultra-large container ship Maersk Honam caught fire in the Arabian Sea, killing 5 crew members.



The incident occurred when the ship was 900 nm west of India, en route from Singapore to the Suez Canal.

The Transport Safety Investigation Bureau (TSIB) of Singapore led the investigation. It was believed that the fire started among a block of 54 containers having 1000 tonnes of sodium dichloroisocyanurate dihydrate (SDID), a powerful oxidiser used in disinfectants and pool chemicals.

SDID was classified as IMO Class 9 (miscellaneous dangerous goods) rather than the more stringent Class 5.1 (oxidising substances), despite its hazardous properties when stored in large quantities.

The investigation found that the decomposition of SDID, triggered by heat or contamination, could have generated enough heat to ignite a fire that grew out of control.

The crew's initial response was hampered due to delays in sealing the cargo hold, which reduced the effectiveness of the CO₂ fire suppression system and allowed toxic smoke to enter the accommodation area.

The fire alarm was also not raised immediately, and some ventilator flaps could not be closed because of smoke and heat.

The fire continued to burn for many days, and the vessel was towed to the UAE for salvage.

After this incident, TSIB recommended the installation of additional temperature sensors in cargo holds and a review of SOLAS fire-fighting standards for container ships.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. <https://www.marineinsight.com/types-of-ships/what-are-tug-boats/>
2. <https://commercial.allianz.com/news-and-insights/reports/shipping-safety.html>
3. <https://www.marineinsight.com/know-more/biggest-fires-on-ships-ever-reported/>

Ніколаєва Т.С.,
Національний університет «Одеська морська академія»

Використання інноваційних технологій у процесі викладання морської англійської мови

У статті досліджується використання інноваційних цифрових технологій [1] у процесі викладання морської англійської мови у закладах вищої морської освіти. Особлива увага приділяється інтеграції штучного інтелекту (AI), технологій Інтернету речей (IoT) та блокчейн-технологій в освітній процес. В умовах глобалізації морської індустрії ефективна професійна комунікація англійською мовою є ключовою компетентністю майбутніх морських фахівців. Дослідження базується на вимогах Міжнародної конвенції [3] про підготовку і дипломування моряків та несення вахти (STCW) та рекомендаціях Міжнародної морської організації (ІМО). Результати дослідження демонструють, що використання сучасних цифрових технологій підвищує ефективність навчального процесу, сприяє формуванню професійної комунікативної компетентності та підготовці курсантів до роботи в умовах цифрової трансформації морської галузі.

Ключові слова: морська англійська мова, інноваційні технології, штучний інтелект, морська освіта, STCW.

У сучасному глобалізованому світі англійська мова стала універсальним засобом міжнародної професійної комунікації. Особливо важливу роль вона відіграє у морській галузі, де ефективне спілкування між членами екіпажу різних національностей є критично важливим для забезпечення безпеки судноплавства. Англійська мова визнана офіційною робочою мовою мореплавства [2] та використовується у міжнародних документах, інструкціях, навігаційних повідомленнях і стандартизованих фразах морської комунікації.

Згідно з вимогами Конвенції STCW [3], моряки повинні володіти достатнім рівнем англійської мови для розуміння технічної документації, навігаційної інформації та здійснення професійної комунікації. Недостатній рівень мовної підготовки часто стає причиною помилок та аварій у морській практиці.

У зв'язку з розвитком цифрових технологій змінюється і підхід до навчання у закладах вищої освіти. Використання інтерактивних платформ, симуляторів, систем штучного інтелекту та інших цифрових інструментів дозволяє підвищити ефективність викладання морської англійської мови та наблизити освітній процес до реальних професійних умов.

У дослідженні використано комплекс теоретичних методів [1; 4; 5]: аналіз наукових джерел, порівняльний аналіз сучасних освітніх технологій, а також узагальнення міжнародного досвіду викладання морської англійської мови. Теоретичною основою дослідження стали положення Конвенції STCW, рекомендації Міжнародної морської організації (ІМО), а також наукові праці з проблематики морської освіти та використання цифрових технологій у навчанні.

Інноваційні технології у морській освіті. Сучасна морська освіта активно впроваджує цифрові технології [1], що дозволяють підвищити якість підготовки майбутніх фахівців. До найбільш перспективних технологій належать штучний інтелект та блокчейн-технології.

Штучний інтелект у викладанні морської англійської мови. Сьогодні, окрім традиційних ресурсів, на допомогу приходять технології штучного інтелекту (ШІ), які швидко поширюються і використовуються в усіх сферах сучасного світу і, зокрема, в освіті. Застосування інструментів ШІ стало одним із способів інтенсифікації навчання, ефективним шляхом подолання освітніх втрат на всіх рівнях. Такі інструменти полегшують і урізноманітнюють навчання курсантів, а роль викладача дещо змінюється: він стає фасилітатором, ментором, консультантом, який допомагає організувати роботу та направити початковий процес. Штучний інтелект відкриває нові можливості для персоналізації навчання [1]. Інтелектуальні освітні системи можуть аналізувати рівень знань курсантів, адаптувати навчальні матеріали та надавати індивідуальні рекомендації. У викладанні морської англійської мови ШІ використовується для автоматичної перевірки вимови, аналізу мовлення та створення інтерактивних навчальних середовищ. Також технології штучного інтелекту використовуються у симуляторах морської комунікації, де курсанти можуть відпрацьовувати професійні ситуації, пов'язані з навігацією, аварійними повідомленнями та взаємодією з портовими службами.

Вибір тих чи інших сервісів на основі штучного інтелекту викладачем англійської мови залежить перш за все від цілей заняття, від цільової аудиторії, тобто курсантів, рівня сформованості їх мовленнєвих навичок, а також вміння і готовності викладача працювати і опанувати роботу з ресурсами [5].

Серед способів використання програм на основі технологій ШІ, які допоможуть викладачеві оптимізувати процес розвитку мовленнєвих навичок курсантів як на заняттях з англійської мови, так і під час самостійної підготовки до занять, можна виокремити наступні:

«Віртуальні асистенти» або мовні боти для створення усних та діалогів. Курсанти можуть взаємодіяти з віртуальними асистентами ШІ, які допомагають їм практикувати спілкування англійською мовою через діалоги, симулюючи комунікативні ситуації; створювати інтерактивні завдання; тренувати вимову; допомагати збагачувати лексичний запас; корегувати помилки.

Персоналізовані програми навчання, що створені на основаних про успішність курсанта, його потреб та цілей. Це дозволить ефективніше розвивати продуктивні навички спілкування англійською

Системи відстеження прогресу. Штучний інтелект може аналізувати дані про прогрес курсантів у навчанні, допомагаючи викладачеві виявляти слабкі місця та пропонувати індивідуалізовані плани дій для

Аналіз вимови. Інструменти з аналізу вимови можуть допомогти викладачу відстежувати і оцінювати вимову курсантів під час усного спілкування. Вони можуть надавати детальний зворотний зв'язок та рекомендації для поліпшення вимови конкретних звуків або фраз. **Віртуальні класи**, де курсанти можуть взаємодіяти один з одним та з викладачем у реальному час. Це дозво-

лить курсантам отримати більше практики в усному спілкуванні та отримати зворотний зв'язок від викладача. **Автоматична перевірка усного мовлення**, що допомагає оцінити рівень говоріння курсантів шляхом аналізу вимови, граматичних і лексичних структур; надати індивідуалізований зворотний зв'язок та рекомендації для вдосконалення.

Сьогодні сучасна нейромережа пропонує цілий спектр різноманітних інструментів на основі технологій ШІ, які стануть у нагоді як викладачам під час підготовки до занять, розробки вправ і завдань, моніторингу прогресу; так і курсантам в процесі опанування тих чи інших аспектів мови[5].

Найпоширенішими інструментами на основі ШІ є, звичайно, мовні боти такі, як ChatGPT, Duolingo, Replika, Lingvist та ін. Завдяки своїм опціям ці програми можуть виконувати роль співрозмовника для курсанта, пропонуючи можливості інтерактивної практики мови. Для викладачів англійської мови мовні боти постають допоміжним інструментом для розробки комунікативних завдань оптимізації і контролю розвитку і вдосконалення навичок практичного використання мови курсантами, а також допомагають останнім долати мовний бар'єр, підвищувати мотивацію опанувати мову. Мовні боти збагачують лексико-граматичний запас курсантів, створюють психологічний комфорт під час виконання комунікативних завдань, мотивують до навчання, формують швидкість і зв'язність мовлення .

Невід'ємним аспектом достатнього розвитку комунікативних навичок володіння англійською мовою є безсумнівно правильна вимова, яка впливає не тільки на розуміння мовця, а й на сприймання іноземної мови на слух. Найновіші інструменти на основі технологій ШІ використовують найсучасніші алгоритми розпізнавання мовлення,

можливості машинного навчання і методи обробки природної мови, завдяки чому надають курсантам детальний і персоналізований зворотний зв'язок, мають опцію оцінювання в реальному часі точності і коректності вимови, можуть підбирати практичні завдання, адаптовані до потреб кожного окремого курсанта [5]. Для формування правильної вимови та для аналізу, підтримки і контролю мовного прогресу у курсантів викладачам у нагоді стануть такі програми, як наприклад Pronounce, Elsa Speak, SpeechAce, English Pronunciation, Rosetta Stone

Використання ресурсів штучного інтелекту на заняттях є беззаперечно каталізатором, який кардинально змінює методіку викладання і вивчення англійської мови, а також перетворює заняття у динамічне, інтерактивне середовище для вивчення мови і допомагає уникнути рутини як у викладанні, так і в навчанні. Програми на основі ШІ можуть бути використані для розвитку мовленнєвих навичок шляхом індивідуалізації навчання, адаптації програм на основі потреб курсантів та забезпечення інтерактивних вправ і завдань. Крім того, штучний інтелект дозволяє викладачеві оптимізувати навчальний процес і зосередитися на важливому - навчанні та допомозі курсантам розвивати свій мовний потенціал [6].

У вивченні специфічної лексики на будь яку тему, також допоможе застосу-

вання штучного інтелекту, який запропонує адаптовані вправи для закріплення матеріалу.

Разом із перевагами ШІ є й інші серйозні проблеми. Одним із основних і важливих питань є конфіденційність, а саме як ці навчальні інструменти захищають персональні дані користувачів?

Також можуть знизитись когнітивні здібності як науково педагогічних працівників, так і курсантів. Занадто сильна залежність від технологій також матиме негативні наслідки. Слід зробити штучний інтелект доповненням до навчальних матеріалів, а також не слід нав'язувати надмірне використання штучного інтелекту. Зазначають недоліками використання контенту, створеного штучним інтелектом: можлива низька якість зображень; служба штучного інтелекту, яка їх створює, може мати на них авторські права; деякі зображення, створені для певних текстів, можуть не відповідати текстам. Штучний інтелект в освіті сприяє академічним дослідженням, прогресу знань і відкриттів.

Однак, незважаючи на потенціал штучного інтелекту в освіті, також є занепокоєння щодо його потенційного негативного впливу на освіту. Ці негативні наслідки, які можуть бути спричинені використанням штучного інтелекту в освіті, включають ризик зниження ролі науково-педагогічного працівника, ризик зниження креативності та навичок критичного мислення курсантів. Цифрові технології повністю змінюють модель освіти. Отож творче мислення, здатність акумулювати оригінальні ідеї та втілювати їх у життя послужить потужним помічником в отриманні молодими українцями якісної сучасної освіти.

Отже інтеграція інноваційних цифрових технологій у процес викладання [1] морської англійської мови сприяє підвищенню ефективності підготовки майбутніх морських фахівців. Використання штучного інтелекту, технологій IoT та блокчейн дозволяє створити інтерактивне освітнє середовище, що максимально наближене до реальних професійних умов морської діяльності.

Подальші дослідження повинні бути спрямовані на розробку інтегрованих освітніх платформ, які поєднують мовну підготовку з професійними компетентностями у сфері морської інженерії та навігації.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Abimanto D., Oktavia A. Using innovative technologies in the process of teaching maritime English // International Journal of Educational Development. 2024. Vol. 1, No. 3. P. 61–68. DOI: <https://doi.org/10.61132/ijed.v1i3.69>.
2. International Maritime Organization. Maritime English : IMO Model Course 3.17. London : IMO Publishing, 2000.
3. International Maritime Organization. International Convention on Standards of Training, Certification and Watchkeeping for Seafarers (STCW). London : IMO Publishing, 2010.
4. Tchkonja N. Collegiality and its efficiency in maritime English language education development // Modern Technology, Business and Law. Chernihiv : Chernihiv National University of Technology, 2016.
5. Цинова М. В., Коблік В. В., Кравець Г. Б. Трансформація методів

навчання та викладання англійської мови в університетському освітньому процесі: роль штучного інтелекту, аналіз впливу та перспективи. *Вісник науки та освіти*. 2023. № 12(18). Київ. С. 864–877.

6. Закрасіна Г. В. Використання ресурсів штучного інтелекту як спосіб удосконалення навичок говоріння на заняттях з англійської мови

у закладі вищої освіти. Штучний інтелект у вищій освіті: ризики та перспективи інтеграції: матеріали всеукраїнського науково-педагогічного підвищення кваліфікації, 1 липня – 11 серпня 2024 року. – Львів –Торунь : Liha-Pres, 2024. 328 с. ISBN 978-966-397-412-5

7. Tchkonina N., Vakhania Z. Active readiness method for trainings and seminars // *Innovations in Education, Technology, Business and Law*. Chernihiv : Chernihiv National University of Technology, 2018.

Nikolayeva T. S., Honcharuk O.
National University “Odessa Maritime Academy”

Advanced Marine Temperature Sensors.

Temperature sensors serve as the vital sensory organs of a modern vessel, ensuring both operational efficiency and structural safety. In the demanding maritime environment, these sensors monitor everything from the extreme heat of exhaust gases to the cryogenic temperatures of liquefied natural gas. By converting thermal energy into electrical signals, they allow engineers to maintain optimal combustion, prevent mechanical friction in bearings, and safeguard perishable cargo. The two primary technologies used are Resistance Temperature Detectors (RTDs), known for their precision in cooling and lubrication systems, and Thermocouples, which are essential for high-heat environments like the main engine cylinders. As shipping moves toward automation, these sensors become even more critical, forming the backbone of predictive maintenance and remote monitoring systems.

The Role of Thermal Monitoring

Temperature monitoring is a cornerstone of modern shipboard automation and safety. These systems provide a constant stream of real-time data to the Engine Control Room and the bridge to ensure that all machinery operates within safe limits. By detecting abnormal thermal patterns early, crew members can prevent catastrophic engine failures or fire hazards. Ultimately, effective temperature control is the key to maximizing fuel efficiency and extending the service life of critical shipboard components.

Core Technologies

The maritime sector primarily utilizes two types of temperature sensing technologies. Resistance Temperature Detectors, such as the Pt100, are favored for their high accuracy and stability when monitoring cooling water or lubrication oil. Conversely, Thermocouples are indispensable for measuring high temperatures due to their rapid response and durability in harsh conditions. These sensors are specifically engineered to withstand the constant vibrations and corrosive salt-air atmosphere typical of the engine room environment.

Working Principle of RTDs

The operation of an RTD is based on the physical principle that the electrical resistance of a metal changes as its temperature changes. Most marine RTDs use platinum because it provides a very predictable and linear relationship between heat and resistance. As the temperature of the ship's machinery increases, the resistance of the platinum wire inside the sensor increases proportionally. The automation system measures this change in resistance and converts it into a highly accurate temperature reading for the duty engineer to monitor.

Working Principle of Thermocouples

Thermocouples operate based on a phenomenon known as the Seebeck Effect. This device consists of two different types of metal wires joined together at one end to create a junction. When this junction is placed in a high-heat area, such as an engine exhaust manifold, it generates a small voltage that is proportional to the tem-

perature difference between the hot junction and the cold reference point. Because they do not rely on resistance and can withstand extreme heat without melting, thermocouples are the ideal choice for monitoring the most intense thermal environments on a ship.

Machinery Space Applications

The engine room contains the highest concentration of thermal sensors on a vessel. Probes are installed in each cylinder to monitor exhaust gas temperatures, which helps engineers identify combustion imbalances or fuel injector issues. Furthermore, sensors track the temperature of main bearings and turbochargers to detect signs of excessive friction. Proper thermal monitoring of the jacket water and lubrication systems ensures that the main engine operates at peak performance without overheating.

Cargo Integrity and Safety

Beyond the engine room, temperature sensors are vital for specialized cargo operations. Onboard refrigerated vessels, high-precision sensors maintain the strict cold chain required for perishable goods like food and pharmaceuticals. For LNG carriers, cryogenic sensors monitor cargo at temperatures as low as minus one hundred sixty-three degrees Celsius. Additionally, thermal detectors integrated into the fire alarm system serve as a primary defence against engine room fires and cargo hold hazards.

Conclusion and Future Trends

The future of maritime engineering lies in the integration of sensor data into smart ship networks. By utilizing data from temperature sensors, shipping companies can move from reactive repairs to predictive maintenance strategies. This allows for the identification of potential failures before they occur, significantly reducing downtime and operational costs. As autonomous shipping technology evolves, the reliability and precision of these sensors will remain the foundation of safe and efficient global trade.

REFERENCES

1. International Maritime Organization. **Ship Energy Efficiency Management Plan (SEEMP)**. London: IMO, 2021.
2. Fraden J. **Handbook of Modern Sensors: Physics, Designs and Applications**. Springer, 2016.
3. Kongsberg Maritime. **Integrated Ship Monitoring Systems**. Kongsberg, 2023.
4. IMarEST. **Marine Engineering and Technology Journal**. London, 2024.

Nikolayeva T.S., Zakharchuk V., Boshtan V.,
National University “Odessa Maritime Academy”

The era of ship modernization to increase efficiency

Today the maritime industry is undergoing a significant transformation. For decades, ships relied on heavy fuel oil, which contributed substantially to global environmental pollution. However, modern international conventions, led by the International Maritime Organization (IMO), are placing increasing pressure on shipowners to reduce CO₂ emissions. The primary objective is to achieve a net-zero future for maritime transport.

Transition from AC to DC Electrical Systems

One of the most effective ways to improve ship efficiency is to modernize the vessel's internal electrical architecture by transitioning from Alternating Current (AC) to Direct Current (DC) systems. Historically, AC systems were the standard for ship electrical networks; however, they have several limitations. In an AC system, engines must operate at a constant speed in order to maintain frequency stability, which results in significant fuel consumption.

A notable example of this technological transition is the Yara Birkeland, the world's first fully electric and autonomous container ship. This vessel represents a major step toward the implementation of DC-based ship electrical architecture.

The transition to DC systems offers several significant advantages.

Efficiency. DC systems allow engines to operate at variable speeds, which can reduce fuel consumption by up to 25%.

Space optimization. DC systems eliminate bulky AC transformers, reducing the electrical footprint by approximately 30% and increasing available cargo capacity.

Integration with renewable energy. Batteries and solar panels naturally generate direct current, which allows them to connect directly to the ship's electrical grid without heavy power converters.

Technical Challenges and Engineering Solutions

Despite their advantages, DC electrical systems present several technical challenges, including the risk of continuous electrical arcs and potential hull corrosion caused by stray currents.

To address these issues, modern vessels utilize solid-state circuit breakers capable of disconnecting power within microseconds. Additionally, engineers implement active cathodic protection systems using sensors to detect and neutralize electrical activity in the surrounding water.

Alternative Marine Fuels

The maritime industry is actively exploring alternative fuels to reduce environmental impact. One of the most widely used options today is Liquefied Natural Gas (LNG), which significantly reduces sulfur emissions compared with traditional heavy fuel oil.

Other promising options include hydrogen and ammonia. These fuels are considered potential long-term solutions because they can produce zero CO₂ emissions during combustion. However, each fuel type has its advantages and limitations.

LNG is currently available but remains a fossil fuel, while hydrogen requires large storage systems and complex infrastructure.

Modern Wind Propulsion Technologies

The maritime industry is also experiencing renewed interest in wind propulsion technologies. Modern vessels use aerodynamic structures rather than traditional sails.

Wing sails are rigid vertical structures that function similarly to aircraft wings. They generate lift through pressure differences and help propel vessels forward. These sails are controlled automatically by computer systems that constantly adjust their position relative to wind conditions.

Rotor sails (Flettner rotors) are large rotating cylinders that use the Magnus effect. As the cylinder rotates in the wind, it generates a force perpendicular to the airflow, pushing the vessel forward and improving propulsion efficiency.

Artificial Intelligence in Maritime Operations

Artificial intelligence has become an important component of modern maritime operations. Shipping companies implement AI technologies to enhance safety, improve operational efficiency, and reduce operating costs.

AI systems can improve crew safety, reduce fuel consumption through route optimization, optimize machinery performance, and support crew decision-making processes.

AI technologies are also used for predictive maintenance of onboard machinery. By analyzing vibration data and sensor readings, AI systems can predict equipment failures, detect pump wear, and identify lubrication problems before serious breakdowns occur.

Levels of Ship Autonomy

The International Maritime Organization identifies four levels of ship autonomy: decision-support systems assisting the crew, remotely controlled ships with crew onboard, remotely controlled ships without crew onboard, and fully autonomous vessels operated entirely by artificial intelligence.

Conclusion

The modernization of ships through advanced electrical systems, alternative fuels, wind propulsion technologies, and artificial intelligence represents an important step toward a more sustainable maritime industry.

These technologies simplify operations, reduce fuel consumption, lower emissions, and improve maintenance efficiency. At the same time, they introduce new challenges, including cybersecurity risks, technological dependence, and potential changes in maritime employment structures.

REFERENCES

1. International Maritime Organization. Fourth IMO Greenhouse Gas Study. London: IMO, 2020.
2. DNV. Maritime Forecast to 2050: Energy Transition Outlook. Oslo, 2023.
3. Lloyd's Register. Zero-Emission Vessels Transition Pathways. London, 2022.

4. MAN Energy Solutions. Digital Solutions for Marine Engines. Copenhagen, 2023.
5. ABB. ABB Ability Marine Advisory System. Zurich, 2022.
6. Kongsberg Maritime. Autonomous Ship Technology Overview. Kongsberg, 2023.

Kyryyenko M., Shalyov A..
National University 'Odesa Maritime Academy'

Exhaust gas cleaning systems (egcs) in modern shipbuilding

The introduction of new global environmental standards by the International Maritime Organization (IMO), known as IMO 2020, has become one of the most significant challenges in the modern history of commercial shipping. According to these regulations, the maximum permissible sulfur content in marine fuel was radically reduced from 3.5% to 0.5% [1]. These regulations confronted shipowners with a strategic choice between transition of the fleet to the use of expensive low-sulfur fuel (VLSFO / MGO) and installing of Exhaust Gas Cleaning Systems (EGCS), commonly known in the industry as scrubbers. The installation of scrubbers allows ships to legally continue burning traditional, cheaper high-sulfur fuel oil (HFO) by cleaning exhaust gases from sulfur oxides directly on board to the required standards [2].

Differences in Operating Cycles

Based on the technological process, marine scrubbers are divided into three main categories: open-loop, closed-loop, and hybrid systems. In open-loop systems, seawater taken from overboard is used to 'wash' the exhaust gases. Its natural alkalinity neutralizes acidic sulfur compounds, after which the used water is filtered and discharged back into the sea. Closed-loop systems use freshwater circulating in a closed circuit. The contaminated water is not discharged overboard but is purified in internal separators; the toxic sludge is collected in specialized tanks for subsequent disposal at onshore facilities in port. Hybrid systems are the most flexible, but also the most expensive solution, as they are capable of switching between these two operating modes depending on the ship's location [2].

Chemical Applications in Scrubbers, Environmental Hazards, and Alternatives

Since the freshwater used in closed-loop and hybrid systems lack sufficient natural alkalinity, chemical reagents must be continuously added to the circuit to neutralize the resulting sulfuric acid. The most common of these is sodium hydroxide (NaOH), or in other words caustic soda. Despite its wide availability, it is a highly aggressive and corrosive substance that poses a serious risk of chemical burns to the crew. Moreover, a 50% aqueous solution of NaOH has a critical operational drawback: it crystallizes at a temperature of +15°C. This requires equipping all chemical tanks and pipelines on the ship with expensive constant electrical heating systems [3].

As an environmentally friendly and safe alternative, magnesium hydroxide ($Mg(OH)_2$) is increasingly being used today. It is non-corrosive, absolutely safe for personnel, and does not freeze at low temperatures. The sludge formed when using magnesium is denser, which facilitates the operation of the ship's water treatment systems. The only difficulty in operating magnesium hydroxide is that it is supplied

as an aqueous suspension, which requires constant mechanical agitation in the tanks to prevent precipitation [3].

IMO Requirements and Ecological Scrubber Ban Zones

The operation of EGCS is strictly regulated by IMO directives (Resolution MEPC.340(77)). According to the rules, every ship is required to maintain an EGCS Record Book. The Continuous Monitoring System is obliged to record and log the parameters of the washwater before it is discharged overboard: acidity level (pH), turbidity, and the concentration of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAH), which indicate the presence of unburned petroleum products [4].

Although open-loop scrubbers are permitted globally by the IMO, dozens of coastal states and port authorities have introduced strict local bans on the discharge of washwater within their internal waters, fearing the pollution of the marine environment with heavy metals. Such closed ecological zones today include the ports of China, Singapore, Fujairah, the Panama Canal, as well as many ports in Europe [1]. While in these waters, ships are obliged to switch the scrubber to a closed-loop cycle or switch the engines to use low-sulfur diesel fuel.

The Reality of Emissions

On a technical level, scrubbers demonstrate outstanding performance, removing up to 98–99% of sulfur dioxide (SO_x) from the exhaust [2]. However, the actual environmental picture contains a significant paradox. The powerful system pumps, necessary to pump thousands of tons of washwater per hour, create a massive additional load on the ship's power plant. As a result, the total fuel consumption on the ship increases by an average of from 1.5–3%. As a direct consequence of this, carbon dioxide (CO_2) emissions increase proportionally [2]. Thus, while solving the local problem of acid rain (sulfur oxides), scrubbers contradict the global strategy of decarbonizing shipping and combating the greenhouse effect.

Financial Benefits for Shipowners

The reason shipowners continue to invest in this technology lies exclusively in its economical benefit. This benefit is based on the fuel spread — the difference in price between cheap HFO and expensive VLSFO. Historically, this difference fluctuates between 100 and 300 dollars per ton. For large vessels (VLCCs, Post-Panamax container ships) burning over 100 tons of fuel per day, the savings can amount to tens of thousands of dollars daily [1]. Considering the installation cost of the system (2–5 million dollars), a scrubber on a large ship completely pays for itself in an incredibly short period — 1–3 years, after which it begins to generate surplus profit.

Impact on the Shipbuilding Industry

The need to comply with new environmental regulations caused a boom in the global shipbuilding and ship repair markets. According to analytical data for the beginning of 2026, about 6,912 ships of the global fleet are equipped with EGCSs.

Due to the fact that the technology is implemented primarily on giant vessels, these ships account for an impressive 31% of the total global tonnage [5].

The retrofit market for older vessels has gradually stabilized: in 2025, 319 ships were retrofitted at shipyards. In parallel with this, the Scrubber-ready standard has taken root in the newbuild market (370 such ships were ordered in 2025) [5]. This means that new ships are designed with built-in reserves: reinforced decks, additional space in the funnel, and powerful generators. A shipowner may choose not to install a scrubber immediately, but in the event of a sharp spike in fuel prices, the shipyard can install the system in just a few weeks.

Conclusion

Marine scrubbers have proven to be a highly effective financial hedging tool, allowing the commercial shipping industry to mitigate the price shock of the IMO 2020 implementation. They provided the industry with vital time to adapt. However, the expansion of local water discharge bans and the global trajectory toward reducing CO₂ emissions prove that the scrubber is strictly a transitional technology. The future of shipping is inextricably linked to new, carbon-neutral fuels (LNG, methanol, ammonia). Nevertheless, until onshore infrastructure for green fuels is deployed on a global scale, scrubbers will remain a key factor in maintaining the profitability of the global merchant fleet.

LIST OF USED LITERATURE

1. 'How the new IMO requirements will affect carriers' policies' (Як вплинуть нові вимоги ІМО на політику перевізників), Ports.ua. URL: <https://ports.ua/ru/kak-povliayut-novye-trebovaniya-imo-na-politiku-perevozchikov/>
2. Feasibility Analysis of the Effects of Scrubber Installation on Ships, MDPI. URL: <https://www.mdpi.com/2077-1312/10/12/1838>
3. 'Availability, ease of use top factors in choice of scrubber alkali', Riviera Maritime Media. URL: <https://www.rivieramm.com/news-content-hub/news-content-hub/availability-ease-of-use-top-factors-in-choice-of-scrubber-alkali-64923>
4. 2021 Guideline for the Approval and Survey of Exhaust Gas Cleaning Systems, ClassNK. URL: https://www.classnk.or.jp/hp/pdf/rules/amendments/e-Amendments/Outline/220530/22-3-42e_outline.pdf
5. 'Shipping's Green Technology Tracker: 2025 Review', Hellenic Shipping News. URL: <https://www.hellenicshippingnews.com/shippings-green-technology-tracker-2025-review/>

Shalyov A
National University 'Odesa Maritime Academy'

Preparing for english for speakers of other languages exam

Many of us did not know that such an exam exists unless millions of Ukrainians had to flee the country when the unprovoked aggression of Russian Federation began back in 2022. Living abroad even temporarily requires knowing of a foreign language. The majority of those who fled Ukraine did not realize for how long the aggression would last that is why they were first busy with satisfying their basic needs which were connected with survival, living accommodation, and jobs. On doing so they ran across a language barrier. Of course in many places there were volunteers, and interpreters who helped them out at the beginning but with the time the understanding of necessity to study or learn the language came. Ukrainians abroad are absolutely thankful to the governments of those countries who provided them with a shelter, organized sponsors programmes for a short term dwelling and free of charge language courses. Due to them a lot of our people now are a part of active dwellers in the communities of foreign villages, towns and cities.

Now you probably would like to know what ESOL stands for: it is an abbreviation of English for Speakers of Other Languages. It refers to classes, programmes, and teaching methods designed for non-native speakers living in English-speaking countries, focusing on improving reading, writing, listening, and speaking skills. It is a broad term covering education from community centers to professional training [2]. You might say that it is quite the same as EFL (English as a Foreign Language), but it only sounds the same when in fact at a closer look some differences can be traced. For instance, unlike EFL, ESOL is generally used to describe teaching English to people already living in an English-speaking country (e.g., [temporarily displaced persons](#), [forced migrants](#), **refugees**, asylum seekers, immigrants, workers and their children, of course). ESOL programmes help individuals to gain language proficiency for social interaction, employment, and daily life. As for EFL, it refers to teaching and learning English in countries where it is not the primary language or used for daily communication. EFL learners have limited exposure to English outside the classroom. And we also have English as a Second Language (ESL) which is designed for non-native speakers living in English-speaking environments (like the U.S. or UK) to learn English for daily communication, education, and work. It differs from ESOL in scope as the latter one is sometimes considered more comprehensive.

To sum up the above said we might say that ESOL is a broader term covering all learners, including those in non-English speaking countries. All mentioned programmes share the goal of helping learners gain confidence and proficiency in English. In many educational settings, the terms are used interchangeably, though ESOL is increasingly preferred for its broader, more inclusive definition. ESOL encompasses language instruction, including ESL and EFL, designed to boost proficiency for work, life, or study [4]. ESOL covers various levels and goals, including General English, Academic English, and professional English.

Now we have to get to know what ESOL curriculum structure is like. It is generally organized into proficiency levels (beginning from Entry levels where there are three of them to Levels which include two of them) based on the [Common European Framework of Reference for languages \(CEFR\)](#). These programmes focus on developing four key skills which are speaking, listening, reading, and writing along with vocabulary, grammar, and punctuation, often geared toward daily life or [employment-focused qualifications](#). All learners will have their own negotiated learning plan, which will also be used to record and review their progress. Entry Level 1 or Beginner (A1) is designed for those who takes their first steps in English and learns basic vocabulary and simple sentence structures or fills in simple forms. Entry Level 2 or Elementary (A2) is developed for those who moves in their language learning on and can learn simple dialogues, read basic texts or write basic emails. Entry Level 3 or **Lower Intermediate (B1)** is aimed at practical communication and structured writing. This level is often required for citizenship. **Level 1 or Upper Intermediate (B2)** is about academic or professional communication and opinion writing. **Level 2/3 or Advanced (C1–2)** is based on complex discussions and near-native proficiency. This level is used for university entry and professional roles.

The ESOL courses have been designed so that there is a mixture of group work (with classmates), and individual work, with support from a tutor. During lessons, learners will take part in a variety of activities including conversations, role plays, discussions, watching videos, listening to audio files, pair and group work and they will also be using Information Technology. The courses contents include topics that are familiar and relevant to learners, and to their daily life in the UK. These topics will include: personal details and experiences, work, education and training, housing, family and friends, transport, weather, shopping, leisure, UK society and culture, etc. Learners will also have regular reviews to monitor their progress [5]. Besides the above mentioned courses one can easily find plenty of materials, resources and sites for self-study on the Internet. For example, the following site <https://www.esolcourses.com/> provides preparation from Starter to Advanced levels engaging learners into the range of different activities that are provided with the keys for the self-check practicing four necessary skills.

Now when learners are ready they can take their exam either via paper-based or computer-based formats at approved test centers, or online with live proctoring which is supervision, monitoring, or invigilation of learners during an examination to ensure academic integrity and prevent cheating. The exam includes four components, namely: listening, reading, writing, and speaking and can be taken together or in separate modules. The speaking test typically involves a face-to-face or virtual interview. Exams are held at authorized locations, or online. The exam is divided into two parts: Written (listening, reading, writing) and Spoken (interview). The written portion lasts around from 2.5 to 3 hours, while the speaking component is generally scheduled separately, often on a different day. Exams are available on-demand, though they require a scheduled appointment for a specific date and time. Candidates can take the oral exam individually, or in pairs, lasting only a few minutes depending on the proficiency level. Exams are generally deemed passed with a score of at least 50% (with the overall score 75/150 for the written part and 25/50 for the

spoken one) [1]. And this brings us to the end of the ESOL exam preparation section and now it high time to wish candidates to break a leg.

Conclusion:

For a moment, let us ignore how ESOL, ESL and EFL started, differ, who influenced them, and what motivates their providers. If you simply consider that they are primarily concerned with getting people who do not know English to be able to communicate effectively in it, suddenly it is a lot less surprising that the same principles and practices can equally effectively be applied in either context [3]. To finish up it is essential to inform everybody that ESOL certificates are valid for life, offering indefinite validity for proving English proficiency for university admissions, employment, and visa requirements. They are widely recognized globally by universities, employers, and government bodies.

LIST OF USED LITERATURE

1. Aptis ESOL General Candidate Guide. London: British Council, 2023. 52 p.
2. [Электронный ресурс]: www.teachingenglish.org.uk — Назва з екрана.
3. [Электронный ресурс]: <https://stevebrown70.wordpress.com/2013/09/21/efl-and-esol-revisited/>
4. [Электронный ресурс]: <https://readinghorizons.com/blog/what-s-the-difference-between-esl-efl-esol-ell-and-esp/>
5. [Электронный ресурс]: https://www.globalskillscentre.org/adultprovision_esol.html

Yefymenko Y., Hrynychuk H., Khliyeva O.
National University "Odessa Maritime Academy"

Energy performance analysis of the reliquefaction plant and fuel gas supply system of an LPG carrier

The modern global merchant fleet includes specialized LPG carriers designed to transport liquefied hydrocarbon gases (propane, butane, propylene), as well as ammonia and other chemical products. The design, equipment, and operation of such vessels are governed by the International Code for the Construction and Equipment of Ships Carrying Liquefied Gases in Bulk (IGC Code) [1]. Safe and efficient operation of an LPG carrier requires maintaining the specified thermobaric cargo storage conditions within the cargo containment system (CCS) throughout the voyage. In cargo tanks, the liquid and vapor phases exist in quasi-steady thermodynamic equilibrium, and tank pressure is primarily determined by the saturation conditions of the transported product. The required cargo parameters depend on the vessel type (fully refrigerated, semi-refrigerated, fully pressurized), tank design characteristics, and the physicochemical properties of the cargo. Despite thermal insulation, heat ingress from the surrounding environment inevitably occurs through tank boundaries, deck structures, and cargo piping. This heat ingress leads to partial evaporation of the liquid cargo and continuous generation of boil-off gas (BOG). The BOG generation rate is governed by the thermal balance of the cargo tank and depends on the magnitude of heat ingress, the heat transfer area, the temperature difference between cargo and environment, and the latent heat of vaporization of the product [2]. Increased BOG formation raises cargo tank pressure and requires continuous regulation by the cargo pressure control system. Conventional pressure management methods include disposal of excess gas via a gas combustion unit (GCU) or controlled venting; however, both result in cargo losses and additional greenhouse gas emissions.

To maintain allowable cargo tank pressure without cargo losses, modern LPG carriers may be equipped with reliquefaction plants operating on a reverse thermodynamic cycle. These plants compress, cool, and condense the cargo vapor before returning the condensate to the cargo tanks. The energy performance of a reliquefaction plant is determined by reverse-cycle parameters, cargo compressor characteristics, condenser operating conditions, and overall heat transfer performance [3].

Under increasingly stringent international requirements aimed at reducing emissions from maritime transport — including MARPOL Annex VI and the implementation of the Energy Efficiency Design Index (EEDI), the Energy Efficiency Existing Ship Index (EEXI), and the Carbon Intensity Indicator (CII) [4] — efficient management of the cargo vapor phase becomes particularly important. On vessels fitted with dual-fuel main engines, a fuel gas supply system (FGSS) conditions BOG to the pressure and temperature levels required for safe and stable delivery to the engines.

Thus, heat ingress, BOG generation, reliquefaction, and fuel gas supply form an integrated onboard technological system. The distribution of vapor flow between the reliquefaction plant and the FGSS affects cargo compressor loading, the auxiliary

power demand of cargo handling equipment, and the environmental performance of vessel operation.

In this context, the objective of the present work is to examine the technological configuration and perform a thermodynamic analysis of a reliquefaction plant integrated with the FGSS of an LPG carrier based on sea trial data. The results provide a quantitative assessment of energy performance, identify key interaction mechanisms under voyage conditions, and support measures to improve operational efficiency and reduce environmental impact.

Description of the reliquefaction system integrated with the FGSS

The investigated LPG carrier is a fully refrigerated ocean-going vessel operating at near-atmospheric pressure and equipped with a dual-fuel propulsion system. The CCS comprises four independent prismatic Type A cargo tanks [3]. The principal characteristics of the vessel and its integrated cargo–fuel gas system are summarized in Table 1.

Table 1 Main characteristics of the LPG carrier and ecoFGSS® system

Parameter	Value ^a
Deadweight	54,800 t
Gross tonnage	48,894
Total cargo tank capacity	86,000 m ³
Deck tank	400 m ³ , Type C (cylindrical)
Maximum vapour pressure (deck tank)	18 bar (g)
Main engine model	MAN 6G60ME-C9.5-LGIP-HPSCR
BOG from cargo tanks (normal operation)	473 kg h ⁻¹
Fuel gas	LPG
Fuel delivery pressure at FVT	53 bar (g)
Fuel delivery temperature at FVT	+25 to +45 °C
Engine design pressure	65 bar (g)
Max. gas flow rate at ecoFGSS® outlet	2,550 kg h ⁻¹ (120% SMCR)

^a Following the vessel's technical manual.

Figure 1 shows the schematic layout of the reliquefaction plant integrated with the FGSS. The plant operates as a direct cargo reliquefaction system based on a three-stage compression cycle using the cargo as the working medium.

Thermodynamic enhancement of the cycle is achieved by incorporating an economiser and an integrated Vent Gas Cooler (VGC). The economiser induces partial flashing of the condensate followed by evaporative cooling, resulting in liquid subcooling before return to the cargo tanks. This lowers the temperature level within the compression stages, reduces specific interstage compression work, and increases the effective refrigeration capacity.

The VGC operates in two modes. In COP mode, it provides additional subcooling and internal redistribution of thermal loads, improving thermodynamic efficiency and reducing specific compressor power consumption, particularly at elevated seawater temperatures. In VGC mode, it performs vapour cooling and separation

with removal of non-condensable components from the condensate accumulator, thereby limiting cargo losses and associated environmental impact.

The FGSS delivers LPG to the Fuel Valve Train (FVT) of the main engine at the required pressure, temperature, and flow rate and is hydraulically and thermodynamically integrated with the reliquefaction cycle. The deck tank is supplied either from the cargo tanks or via the condensate return line, while a portion of the generated BOG may be routed directly to the FGSS. Hence, engine fuel demand governs the operating regime of the three-stage compression cycle and the distribution of BOG between fuel and refrigeration circuits, determining the overall onboard BOG mass balance.

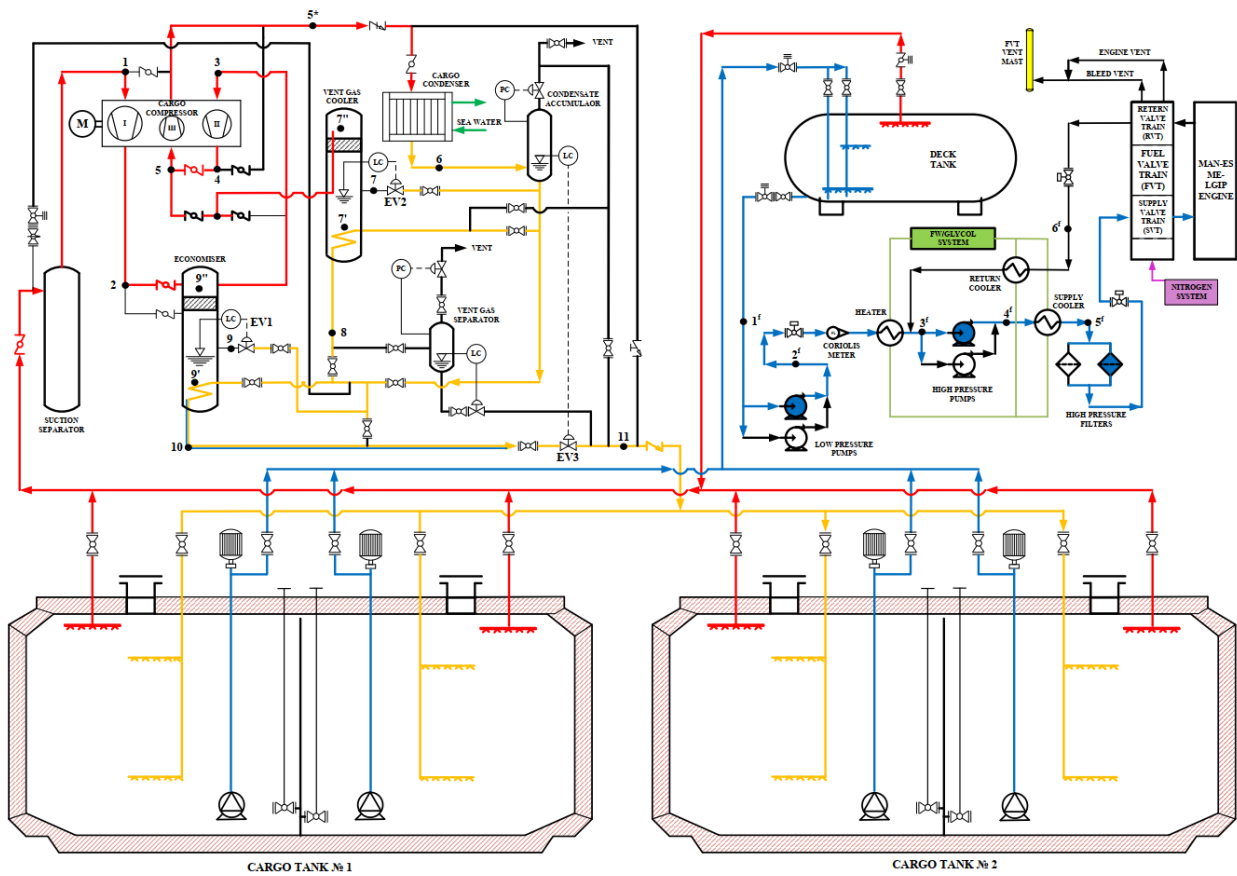


Figure 1. Schematic of the integrated reliquefaction plant and FGSS system.

Energy model of the integrated system

The energy model was developed based on sea-trial data. The operating parameters were obtained through data reduction and corrected to consistent boundary conditions before being used as model inputs.

Thermodynamic properties of the working fluid (LPG/BOG) at the nodal points of the cycle were evaluated using REFPROP. The analysis was performed under steady-state conditions

Cooling capacity of the reliquefaction plant

$$\dot{Q}_e = \frac{V_{\text{act(ISC)}} \cdot (h_0 - h_{11})}{v_1}, \text{ kW}, \quad (1)$$

where $V_{\text{act}(1\text{SC})}$ is the actual volumetric capacity at the suction of the 1st-stage Cargo Compressor, v_1 is the specific volume at suction conditions, and h_0-h_{11} defines the enthalpy rise associated with the refrigeration effect.

Mass flow rate through the first-stage cylinder (1SC) of the cargo compressor

$$\dot{m}_{1\text{SC}} = \frac{\dot{Q}_e}{h_0 - h_{11}}, \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1}. \quad (2)$$

The mass flow rates through the intermediate (2SC) and high-stage (3SC) cylinders were determined from steady-state mass and energy balances of the mixing nodes and the associated heat exchangers (Economiser and VGC):

The power consumption of each compression stage is calculated as

$$\dot{W}_{i\text{SC}} = \frac{\dot{m}_{i\text{SC}} \cdot (h_{\text{out},s,i} - h_{\text{in},i})}{\eta_{is}} \quad i \in \{1,2,3\}, \text{ kW}, \quad (3)$$

where $h_{\text{in},i}$ and $h_{\text{out},s,i}$ are stage enthalpies, and η_{is} is the compressor efficiency.

The total compressor power is

$$\dot{W}_{\text{CC}} = \dot{W}_{1\text{SC}} + \dot{W}_{2\text{SC}} + \dot{W}_{3\text{SC}}, \text{ kW}. \quad (4)$$

Pump Power of FGSS

$$\dot{W}_{p,\text{tot}} = \sum_{j \in \{\text{LP,HP}\}} \frac{\dot{m}_{\text{fuel},j} \cdot \Delta p_j}{\eta_{p,j} \cdot \rho_j}, \text{ kW}, \quad (5)$$

where j denotes the operating low- and high-pressure fuel pumps, $\dot{m}_{\text{fuel},j}$ is the fuel mass flow rate through pump j , Δp_j is the pressure rise, ρ_j is the fuel density, and $\eta_{p,j}$ is the pump efficiency.

Energy Performance of the Integrated System

The energy performance of the reliquefaction plant is characterized by the coefficient of performance:

$$COP_{\text{act}} = \frac{\dot{Q}_e}{\dot{W}_{\text{CC}}}. \quad (6)$$

The specific power consumption of the reliquefaction plant

$$SPC_{\text{BOG}} = \frac{\dot{W}_{\text{CC}}}{\dot{m}_{1\text{SC}}}, \text{ kJkg}^{-1}_{\text{BOG}}. \quad (7)$$

The energy performance of the ecoFGSS is evaluated through the specific power consumption

$$SPC_{\text{FGSS}} = \frac{\dot{W}_{p,\text{tot}}}{\dot{m}_{\text{fuel}}}, \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}_{\text{fuel}}. \quad (8)$$

Since the systems perform different thermodynamic functions, the integrated assessment is based on total electrical demand

$$\dot{W}_{\text{tot}} = \dot{W}_{\text{CC}} + \dot{W}_{p,\text{tot}}, \text{ kW}. \quad (9)$$

Environmental Indicators (Indirect CO₂ Emissions)

The total indirect CO₂ emissions associated with the electricity consumption of the auxiliary reliquefaction plant and FGSS systems are calculated as

$$\dot{m}_{CO_2,tot}^{ind} = \dot{W}_{tot} \cdot EF, \text{ kg} \cdot \text{h}^{-1}. \quad (10)$$

where EF is the actual CO₂ emission factor of the shipboard diesel generator.

The emission factor is determined as

$$EF = C_f \cdot \text{SFOC}, \text{ kg CO}_2 \cdot \text{kWh}^{-1}, \quad (11)$$

where C_f is the carbon emission factor of MGO fuel, SFOC is the specific fuel oil consumption of the diesel generator, adopted from manufacturer data.

The specific environmental intensity of the integrated system, referred to as processed BOG, is defined as

$$e_{CO_2} = \frac{\dot{m}_{CO_2,tot}^{ind}}{\dot{m}_{1SC}}, \text{ kg CO}_2 \cdot \text{kg}^{-1}_{\text{BOG}}. \quad (12)$$

Results

According to the sea trial data, the cooling capacity of the reliquefaction plant was 375 kW at a processed boil-off gas (BOG) mass flow rate of 1.04 kg·s⁻¹. The total electrical power consumption of the three-stage cargo compressor reached 251.82 kW, with the following distribution among the cylinders: 92.57/64.24/95.30 kW. The observed power distribution reflects the actual operating conditions during the trials and is governed by the thermodynamic state of the gas at the inlet of each stage, the effectiveness of interstage cooling, the temperature of the cooling medium, the performance of the associated heat exchange units (Economiser and VGC), and the presence of internal recirculation flows within the system.

The electrical power demand of the eFGSS pumps amounted to 3.3 and 7.86 kW, respectively, resulting in a total of approximately 11.2 kW, confirming the auxiliary character of the fuel gas supply subsystem relative to the compressor load. The overall electrical demand of the integrated reliquefaction plant – FGSS complex was approximately 263 kW.

The calculated coefficient of performance, COP_{act} = 1.43, falls within the typical range reported for marine hydrocarbon reliquefaction systems and indicates a satisfactory level of thermodynamic efficiency under the tested operating conditions. The specific energy consumption of 0.070 kWh·kg⁻¹ (≈70 kWh·t⁻¹ BOG) characterizes the actual energy intensity of the BOG processing process at the recorded conditions.

The indirect CO₂ emissions associated with the electrical power consumption of the integrated reliquefaction plant and ecoFGSS® system were calculated at 156 kg·h⁻¹, corresponding to 0.042 kg CO₂·kg⁻¹_{BOG}. These values provide a quantitative measure of the carbon intensity of the reliquefaction process under the tested operating conditions.

Conclusions

The sea trial results demonstrate that the electrical power demand of the integrated reliquefaction plant and ecoFGS system is predominantly governed by the cargo compressor, while the contribution of the fuel supply subsystem remains secondary. The measured stage-wise power distribution confirms the sensitivity of the

reliquefaction plant to actual operating conditions, particularly to the effectiveness of interstage cooling and heat-exchange interactions.

The obtained energy and environmental performance indicators provide a quantitative basis for assessing the efficiency of the implemented system configuration, identifying operational improvement potential, and supporting measures aimed at reducing the energy consumption and carbon intensity of the integrated system.

REFERENCES

1. International Maritime Organization (IMO). International Code for the Construction and Equipment of Ships Carrying Liquefied Gases in Bulk (IGC Code), 2016 Edition (as amended). IMO Publishing, London, 2016.

2. McGuire, J.; White, B. Liquefied Gas Handling Principles on Ships and in Terminals, 4th ed.; Witherby Publishing Group: London, 2016.

3. Morozuk, L.; Kosoy, B.; Sokolovska-Yefymenko, V.; Ierin, V. Analysis of Mixing Processes of LPG Gases in Tanks When Transporting by Sea. *Dynamics* 2022, 2(3), 219–233. <https://doi.org/10.3390/dynamics2030011>.

4. International Maritime Organization (IMO). MARPOL Annex VI: Regulations for the Prevention of Air Pollution from Ships, 2022 consolidated edition. IMO Publishing, London, 2022.

Nikulina O. L

National University "Odessa Maritime Academy"

English Proverbs of Nautical Origin

Proverb is defined as the wisdom of the people, concentrated in a metaphoric saying in contemporary English lexicography. Compare: 'a brief familiar maxim of folk wisdom, usually compressed in form' [3, p. 804]; 'a short, well-known, supposedly wise saying' [2, p. 1058]. Proverbs root back to professional crafts and/or everyday routine situations. Here we shall investigate the proverbs originated in the nautical domain. Proverbs are usually of metaphoric origin, but during our research we singled out several groups that can be united by common criteria.

The first group of proverbs embrace the names of the *objects on board*. These names are the specific nautical terms that were originally used as nautical slang but later historically they entered the common English language in metaphoric sayings. The majority of native English speakers may not know the nautical background of these expressions but they know and widely use them in contemporary proverbs.

One of such picturesque proverbs is: ***Between the devil and the deep blue sea*** – nowadays the expression means 'facing two choices, both of which are unpleasant' [2, p.348]; 'in a dilemma, faced with two choices, which are both unwelcome' [3, p.262], in other words to be in trouble. Compare with Ukrainian 'між двома вогнями'. Historically the expression was used on boats where the *devil* was the name given to a seam between two planks which had to be repacked with oakum to prevent it from leaking. The *devil seam* was the most difficult to handle because it lay next to the keel, so the seaman, who repacked it would have to hang from a rope, suspended between this seam and the deep sea. Another explanation is that it was the outside seam of the deck planks next to the scuppers. This would have made it the longest seam and the most difficult to do due to the spray coming over the side. In bad weather a man knocked over by a sea would be washed into the scuppers to find him literally *between the devil seam and the deep sea*. [1, pp. 8-9].

No room to swing a cat – another interesting expression which is used by English speakers nowadays. It means a *confined space, a room, a house* or any other area which is too small to do something spacious in it. The question is, why a cat and no other animal. The answer lies in the nautical origin of this expression. 'Cat' is the sailors' abbreviation for the 'cat-o'-nine-tails', a nine-lashed whip to punish sailors for any guilt or fault. The punishment was conducted on deck in the space between the poop and the deck, quite a restricted area, so the boatswain who conducted the punishment, should have got enough skill to perform the execution. [5, p. 24]. In contemporary English the expression is metaphoric and has nothing to do with punishment.

Catch a packet – today this proverb means 'get into serious trouble' [2, p. 948]. Originally it comes from a nautical expression '*packet ship*' – a fast vessel that plied regularly between one port and another; 'a boat sailing a regular route carrying passengers, mail and packages' [3, p.720]; 'a boat that carries mail and passengers at regular time between the places' [2, p. 948]. The name goes back to the 16th century

when State Letters and Dispatches were known as ‘the packet’ and their carriage we entrusted to these fast ships. The term ‘*to catch a packet*’ with its meaning of landing in trouble, might come from the American-owned North Atlantic packets of the mid-19th century which had a reputation amongst seamen as being particularly hard ships. In all events a trip in a packet ship must have been a miserable experience since their hulls were not ‘sea kindly’ and to make good time they had to be driven hard. This would have meant wet and uncomfortable conditions for the travelers. [1, p.18]

Rats from a sinking ship – in contemporary English the proverb means ‘to escape the unpleasant, problematic or risky situation very quickly’; ‘to walk out on a project because it seems doomed’ [1, p. 65]. This expression is also of nautical origin. Sailors believed that the sight of rats coming out of the ship’s holds was a portent of disaster. The rats frequently inhabited the bilge which was the first place to be flooded should the vessel be foundering. On the other hand, the sailors being superstitious, believed that rats had a sixth sense and would leave the ship in port feeling the coming disaster. The vivid historic example of this dates back to 1923 at the San Francisco Navy Yard where the seamen saw the rats leaving the *USS Young*. The following day in an unprecedented disaster the *Young* along with six more destroyers piled up on the rocks on passage to San Diego. [1, p. 65].

In the second group we included the proverbs whose metaphoric essence is prevailing: ***To chew the fat*** – in contemporary English this proverb means ‘to have a long conversation about many subjects’ [2, p.206]. The origin dates back to the nautical slang. In the days when brine was added to barrels of meat for preservation it had a hardening effect on the fat. It was still edible but it took considerable chewing, so ‘*to chew the fat*’ has come to mean ‘to talk endlessly’. [1, p.19].

Flogging a dead horse – now the proverb means ‘to waste time or effort by returning to a subject or argument which has already been settled’ [2, p. 491]; ‘to waste one’s efforts trying to stir up enthusiasm for something people have lost interest in [3, p.361]. Originally it derives from a nautical term ‘*dead horse*’ which meant the first month at sea. The seamen would have been usually paid for their first month and the money was spent very quickly. So, it seemed to them, with the money all gone, that the first month was spent working for nothing. To mark the end of the ‘*dead horse*’ month the crew would make an effigy of a horse and parade it around the decks (on passenger ships money would be collected), then with great noise and celebration the horse would be hoisted to the end of the yard, cut down and dropped into the sea. No doubt there was an established understanding of beating a dead animal to work, but to ship’s officers ‘*flogging a dead horse*’ described the difficulty of getting the crew to do any extra work during the first month at sea. [1, p. 34]

Out of the blue – today the proverb means ‘unexpectedly’ [2, p. 121]; ‘without any warning’ [3, p. 105]. The expression comes from the nautical English where it means the unexpected storm coming shortly after the clear blue sky that never warned of any trouble.

Under the weather – this common saying in contemporary English means ‘to be slightly ill’ [2, p. 1485]; ‘feeling slightly ill’ [3, p. 1115]. Originally on board a boat the expression meant ‘to feel seasick or to be adversely affected by bad weather’ [1,

p. 90]. The term correctly sounded like *'under the weather bow'*, which is a gloomy prospect. The weather bow is the side upon which all the rotten weather is blowing.

The third group of proverbs that we investigated here is connected with some prominent people or events that historically paid tribute to marine business development.

To turn a blind eye – this proverb in modern English means 'to pretend not to see or notice, especially something illegal' [2, p. 118]. *Turning a blind eye* stems from the famous incident during the battle of Copenhagen when Admiral Nelson, as second in command, complained he could not see the flag signal from his superior who ordered him to break off the bombardment. He had deliberately placed the telescope to his blind eye, and proceeded to ignore the order, with glorious results. [1, p.11-12].

Another interesting expression in today's colloquial English is ***'all shipshape and Bristol fashion'*** which means 'to have things well organized, in proper order, ready for instance use'. The reference is to the methodical way in which a ship and her rigging were equipped, organized and handled. Such a ship and her crew were said to be *'shipshape'* [4, p. 148]

For centuries Bristol was the major port on the English west coast and shipping here was the best regulated and most organized in the country. Hence it used to mean in tip top order, everything neat and tidy [1, p. 74]. In the fourth group we included some typically nautical nouns which were so widely used that they entered many proverbs. In the era of the sailing fleet the safety of navigation depended on the seamen's capability of managing the sails, and the wind could be a good helper when sailors mastered tackling the sails or destroyer when they could not manage all right. That's why the noun *wind* very often appears as a part of common nautical sayings. Here we shall consider several proverbs containing the word *'wind'*.

Take the wind out of someone's sails – in everyday English this proverb means 'to take away someone's confidence or advantage, especially by saying or doing something unexpected' [2, p. 1502]; 'to frustrate someone by saying what he was about to say, giving the reasons he was about to give' [3, p. 1126]. 'put a sudden and surprising end to someone's overconfidence' [4, p. 183]. The expression originates from the nautical meaning of 'to sail to the windward of a sailing vessel' [3, p.1126].

Whistling for a wind – in general English the proverb means 'to hope for the impossible'. It was the sailor's superstition that he could call up the desired wind by whistling, a belief still current amongst some yachtsmen. Yet whistling on ships has been either forbidden or discouraged for many years for different reasons. Firstly, the sound of a whistle could be confused with orders piped on the boatswain's call (or whistle), it could also be a signal of commencement of a mutiny on board, and because it is generally believed that whistling brings too much *wind*, and hence a storm. [1, p. 94-95]. It is interesting that *whistling* is considered an unlucky sign in different areas of human activities, thus actors and stage hands avoid whistling backstage. In some cultures, whistling at home is considered bad luck, because it sweeps the money away from the owners.

Before the wind – very fast, from nautical ‘with the wind astern’; **close to the wind** – very close to indecency, close to breaking the law, from nautical ‘with the wind almost directly to the bow; [3, p. 1126]; **in the teeth of the wind, in the wind’s eye** – against the strength of, in spite of opposition from [2, p. 1359], from nautical ‘with the wind directly on the bow of the boat’ [3, p. 1126].

Another very frequently found ingredient of the contemporary English proverbs is ‘*boat*’, which definitely relates to the nautical domain.

Burning your boats – ‘destroy all means of going back, so that one must go forward’ [2, p. 157]. Historically the term dates back to the times of Spanish conquistador Herman Cortez, who, having reached the shores of Mexico, found his men in no mood to go traipsing off to Yucatan jungle. To drive home the purpose of their mission he had the ship’s boats drawn up on the beach and burnt. Then, with no alternative but to move forward, the conquest of central America could begin. [1, p.14].

Miss the boat – today the proverb means ‘to lose a good chance, especially by being too slow’ [2, p. 850]; ‘to fail to make advantage of an opportunity’ [3, p.639]. the nautical origin of the expression lies in ‘*missing the liberty boat*’, which carried the sailors returning from the shore leave out to their ships for free. Hence the meaning ‘*to miss the opportunity*’. [1, p 53].

In the same boat – running the same risks or sharing the same misfortunes [3, p. 106)]; in the same unpleasant situation, facing the same danger [2, p. 1166]; the connection with nautical meaning is obvious and transparent.

Push the boat out – to make a special effort to make something enjoyable, especially by spending more money than usual [2, p. 1069]. The original nautical expression meant to pay for a round of drinks. Now more widely understood as to celebrate and not trouble about expense [1, p. 63].

Rock the boat – to spoil the good and comfortable situation that exists [2, p. 1137]; from the obvious nautical meaning of spoiling the comfort of sailing by rocking the boat, thus provoking a dangerous situation.

In the study presented above we figured out three main groups of contemporary English proverbs of nautical origin: 1. Objects on board; 2. Pure metaphors; 3. Proverbs connected with prominent people or events; 4. Frequent nautical nouns.

REFERENCES:

1. Beavis B., Mc.Gloskey R.G., Salty Dog Talk. The Nautical Origin of Everyday Expressions. London: Sheridan House; New York: Granada, 1983, 96 p.
2. Dictionary of English Language and Culture. Longman, London Group, UK, 1992. 1528 p.
3. The Webster’s Dictionary and Thesaurus of the English Language. Lexicon Publications, Inc. USA, NY, 1993, 1149 p.
4. Jeans P.D. An Ocean of Words. A Dictionary of Nautical Words and Phrases. Toronto, Ontario: Carol Publishing Group, 1998, 180 p.
5. Nikulina O. L. Nautical Origin of Contemporary English Colloquialisms. Collective Monograph, Vol.2., Wroclawek, Poland, 2021, pp. 120-139.

6. Nikulina O.L. Origin and Etymology of Marine Superstitions. Нова філологія. Запорізький національний університет. Збірник наукових праць № 80 том 2, 2020. pp. 83-87.

7. Nikulina O.L. Metaphoric Transformation of Historical Nautical Terms into Contemporary English Colloquialisms. Philological Science and Education: Transformation and Developing Vectors. Collective monograph, Vol.2., Venice, Italy, 2021, pp. 17-41.

8. Nikulina O.L. Marine Origin of Contemporary English Idioms. Вчені записки Таврійського національного університету ім. В.І. Вернадського. серія “Філологія. Журналістика.” Том 32 (71). № 2, 2021. Київ 2021. сс.177-184.

9. Nikulina O.L. English Idioms Containing the Meaning of ‘Colour’. Закарпатські філологічні студії. № 40. том 2. Видавничий дім «Гельветика» 2025. сс .113-118.

Матеріали науково-технічної конференції
"Морський та річковий флот: експлуатація і ремонт",
19.03.2026 – 20.03.2026.

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