

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНФРАСТРУКТУРИ ТА ТЕХНОЛОГІЙ
Київський інститут водного транспорту імені гетьмана
Петра Конашевича-Сагайдачного

ВОДНИЙ ТРАНСПОРТ

Збірник наукових праць

випуск 2 (40)

Київ
2024

Водний транспорт. Збірник наукових праць Державного університету інфраструктури та технологій. – К.: ДУІТ, 2024. – Випуск 2 (40). – 223 с. <https://doi.org/10.33298/2226-8553.2024.2.40>

У збірнику публікуються матеріали, що відображають наукову й методичну роботу викладачів і здобувачів Державного університету інфраструктури та технологій, закладів вищої освіти, фахівців підприємств і організацій водного транспорту.

Більшість публікацій присвячена проблемам галузі, експлуатації засобів водного транспорту, зокрема, розглядаються питання інфраструктури, технологій та організації транспортних процесів, впровадження сучасних технологій, математичного моделювання, екологічної безпеки, економічних аспектів діяльності річкового та морського транспорту й якісної підготовки фахівців з даного напрямку.

Збірник має чотири тематичні розділи: «Судноводіння та енергетика суден», «Методика навчання», «Інформаційні технології», «Екологічна безпека».

Засновник: Державний університет інфраструктури та технологій

Адреса редакції: вул. Кирилівська, 9, Київ, Україна, 04071

Телефон: +38(044) 482-51-38

E-mail редакції: vtduit@gmail.com; інформаційний сайт: <http://vt.duit.edu.ua>

За достовірність викладених фактів, цитат та інших відомостей відповідальність несе автор.

Головний редактор – доктор технічних наук, професор Тимощук О.М.

Редакційна колегія:

Дубинець О.І. д.т.н., професор (ДУІТ); Ганношина І.М., к.т.н., Тихонов І.В., д.т.н., с.н.с., доцент (ДУІТ); Маранов О.В. к.т.н., доцент (ДУІТ); Давидов В.С. к.т.н., доцент (ДУІТ); Сьомін О.А., к.т.н (ДУІТ); Мельник О.В. к.т.н., доцент (ДУІТ); Горобченко О.М., д.т.н., професор (ДУІТ); Фомін О.В., д.т.н., професор (ДУІТ); Богом'я В.І., Заслужений винахідник України, д.т.н., професор (Київський університет інтелектуальної власності та права); (ДУІТ); Сагін С.В., д.т.н., професор (Одеська національна морська академія); Головань А. І., к.т.наук, доцент (Одеський національний морський університет); Варбанець Р.А., д.т.н., професор (Одеський національний морський університет); Чимшир В.І., д.т.н., професор (директор Дунайського інституту Національного університету «Одеська морська академія»); Оніщенко О.А., Заслужений діяч науки і техніки України, д.т.н., професор (Одеська національна морська академія); Кравченко Ю.В., д.т.н., професор (Київський національний університет імені Т.Г. Шевченка); Гасанов Юсиф Надир огли., д.т.н., професор (Азербайджанська Державна Морська Академія), Гасанов Вагіф Хажан огли., д.т.н., професор (Азербайджанська Державна Морська Академія), Садигов Вюгар Боюкага огли., к.т.н., доцент (Азербайджанська Державна Морська Академія)

Відповідальний секретар редколегії – Левченко О.В. к.е.н., доцент (ДУІТ)

Підписано до друку за рекомендацією Вченої ради Державного університету інфраструктури та технологій (протокол № 12 від 28.06.2024 р.)

Реєстрація суб'єкта у сфері друкованих медіа: рішення Національної ради України з питань телебачення і радіомовлення № 1553, від 09.05.2024 р., протокол № 15

Збірник включено до Переліку наукових фахових видань України (категорія «Б», спеціальності – 271, 275), у яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата з технічних наук/доктора філософії (Наказ Міністерства освіти і науки України від 28.12.2019 № 1643).

ЗМІСТ

СУДНОВОДІННЯ ТА ЕНЕРГЕТИКА СУДЕН

Тимочко О.І., Левченко О.В., Руденко В.М., Сітков О.М.

Використання гібридних роботизованих комплексів для інспекції морських нафтогазових об'єктів 6

Хуссейн Ю.М.

Метод та система підтримки прийняття рішень для здійснення навмисної аварійної посадки суден на мілину у районі порту 23

Сагін С.В., Матейко О.В.

Особливості інертизації вантажних танків суден-газовозів під час транспортування вогнеонебезпечних речовин 36

Калініченко Є.В., Томчаковський Г.Г., Оберто Сантана Л.Е., Калініченко Г.Є.

Вплив технологій віртуальної реальності на якість та ефективність професійної підготовки судноводіїв 50

Васалатій Н.В.

Розрахунки швидкості і напрямку течії в флоридській протоці та сили її дії на рух судна 62

Маннапова О.В., Урум Н.С., Шевченко А.П., Лісовський С.В.

Низькосірчисті судові дизельні палива та їх протизносні властивості: стан та перспективи їх використання 69

Сагін С.С., Ворохобін І.І.

Мінімізація ризику виникнення небезпеки морських подій під час навігаційних переходів суден морського транспорту 76

Пліта Л.Л., Шевченко А.П., Урум Н.С., Лісовський С.В.

Організація вахтової служби на судні як складова частина його безпеки 88

Трофименко І.В., Трофименко А.О., Тришин В.В., Дорофєєва З.Я.

Розробка пропозицій щодо оптимізації процесу проектування судна шляхом впровадження сапр на ранніх стадіях проектування 101

Дерепа А.В., Лейко О.Г., Стьопченко А.М., Козак Д.А.

Акустичні поля низькочастотних еліптичних випромінювачів поздовжньо-згинного типу в гідроакустичних навігаційних системах 111

Трофименко І.В., Пліта Л.Л., Іваненко В.М., Федунов В.М.

Обґрунтування вибору апарату формалізації знань для систем підтримки прийняття рішень для попередження зіткнень суден 119

Горалік Є.Т., Крюков М.М., Лупіна Т.О.

Вплив сил тертя на сходження рятувальної шлюпки вільного падіння з похилої рампи 127

Сагін С.В., Сагін А.С., Заблоцький Ю.В., Фомін О.В.

Забезпечення технічного стану підшипників судових дизелів 138

Даниленко О.Б., Дуков Д.Ф., Коротченков М.П., Малєва В.С.

Вплив факторів організаційно-правового характеру на рівень безпеки судноплавства: досвід країн з розвинуеною морською галуззю 151

Березовська В.В.

Автономне судноплавство морської галузі: нормативна складова..... 163

Сагін С.В., Куропятник О.А.

Визначення оптимальних режимів процесів управління випускними газами суднових дизелів 173

МЕТОДИКА НАВЧАННЯ

Лопатюк С.П.

Параметризація геометричного моделювання в AutoCAD 186

Єлсазаров О. П.

Імплементація норм міжнародного морського права в національне законодавство України» в системі навчальних занять професійної підготовки командного складу екіпажів суден 194

Тирон О.М., Єлсазаров О.П.

Психограма як інструмент створення цілісного образу морського кадета на основі аналізу різних видів толерантності 199

Кучерук Г. Ю., Лерніченко К. В., Бойко С. О.

Формування інфраструктури туристичних послуг та рекламного забезпечення на водному транспорті у повоєний період 208

ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

Кочегаров В. С, Богом'я В. І.

Операційний центр безпеки (SOC) 214

АВТОРИ ВИПУСКУ 220

Тимочко О.І., Левченко О.В., Руденко В.М., Сітков О.М.

ВИКОРИСТАННЯ ГІБРИДНИХ РОБОТИЗОВАНИХ КОМПЛЕКСІВ ДЛЯ ІНСПЕКЦІЇ МОРСЬКИХ НАФТОГАЗОВИХ ОБ'ЄКТІВ

Метою роботи є аналіз сучасного стану та перспектив використання гібридних роботизованих комплексів для інспекції морських нафтогазових об'єктів. Поставлена мета під час інспекцій в шельфовій галузі досягається шляхом використання гібридних роботизованих комплексів, до складу яких входять автономні підводні апарати, дистанційно керовані підводні апарати, безпілотні літальні апарати та автономні надводні апарати, що діють за єдиним планом для мінімізації ризику для людини при виданні точної і достовірної інформації про стан обладнання в будь-яких складних умовах. Ключовими ланками в системі моніторингу стану і безпеки об'єктів шельфової промисловості є дистанційно керовані підводні апарати та автономні підводні апарати. БПЛА, які, маючи доступ до важкодоступних ділянок на плавучих спорудах, сучасні технології візуалізації та відмінну маневреність, надають детальні знімки з високою роздільною здатністю для моніторингу стану споруд, розташованих вище ватерлінії, дозволяють оперативно виявляти корозію або механічні пошкодження конструкцій та оперативно пропонувати термінові заходи щодо їх усунення. Підвищення безпеки під час регулярних інспекцій безпілотними апаратами у різних зонах платформи для виявлення потенційних ризиків, які можуть поставити під загрозу персонал, активи та навколишнє середовище, досягається шляхом відсторонення інспекторів від роботи на великій висоті або глибині та/або в небезпечних умовах. Найсуттєвішими результатами є виділення кількох інспекційних зон залежно від наявності обладнання та порядку проведення інспекцій на стаціонарних та плавучих морських спорудах. Значущість отриманих результатів полягає у розробці пропозицій щодо використання безпілотних літальних, надводних апаратів і підводних апаратів для інспекцій морських споруд, що вважається ефективною альтернативою використанню водолазів під водою і робітників, що проводять роботи на великих висотах, забезпечуючи розширені можливості контролю, технічного обслуговування і ремонту у важкодоступних місцях та більш швидке отримання великих обсягів даних. Таким чином, основним напрямком подальшої роботи є дослідження можливості інтеграції передових сенсорних технологій з наявними безпілотними системами для досягнення більш ефективних інспекцій та використання штучного інтелекту і машинного навчання для аналізу отриманих у результаті цих інспекцій даних для поліпшення автоматизованого виявлення дефектів і аномалій та зниження можливих ризиків.

Ключові слова: гібридний роботизований комплекс, автономний підводний апарат, дистанційно керований підводний апарат, безпілотний літальний апарат, автономний надводний апарат, навігація, судно, посадка на мілину, особа, що приймає рішення, набір корпусу судна, пошкодження, розлив нафти, методи підтримки маневрування, судно, система підтримки прийняття рішень

Вступ. Стрімкий прогрес у нафтогазовій галузі, особливо на шельфі, супроводжується прийняттям безпрецедентних заходів безпеки для мінімізації ризику техногенних аварій з обладнанням та аварій з персоналом через небезпеку для навколишнього середовища та людини. Тому постійна прихильність до безпеки вимагає розробки та впровадження адекватних методів інспектування морських установок [1]. Але висока трудомісткість, досить висока

вартість й обмежений доступ до важкодоступних точок суттєво знижують ефективність традиційних методів – візуального і неруйнівного контролю (НК) [2]. Подолання цих проблем вимагає втручання людини, що призводить до неминучих помилок оператора і зниження надійності управління. Суворі морські умови та постійні втомні навантаження, що впливають на морські установки, призводять до деградації та пошкодження конструкцій, що ставить під загрозу їх цілісність та безпеку. Однак традиційні методи і засоби боротьби не завжди дозволяють точно виявити місце й оцінити ступінь пошкодження [3].

Ризик-орієнтований контроль (РОК) передбачає комплексний підхід до розрахунку ризиків, пов'язаних з експлуатацією морських об'єктів і розробку планів інспектування на основі виявлених ризиків. Однак на даний момент відсутнє систематичне планування РОК для морських установок, особливо для морських вітрових турбін [4].

Традиційні методи моніторингу стану і безпеки морських споруд зазвичай не передбачають безперервного збору даних і зворотного зв'язку про їх стан в режимі реального часу. Ці методи, як правило, «заточені» під отримання оперативного знімка поточного стану конструкції, але не забезпечують раннього виявлення потенційних проблем, які можуть викликати несподівані збої і збільшення витрат на обслуговування [5].

Перевірка та обслуговування великої кількості морських споруд, що працюють у складних морських умовах, потребує значних ресурсів. Тому підвищення рентабельності існуючих методів інспектування та розробка ефективних методів планування діяльності з інспектування та обслуговування морських споруд при збереженні високого рівня точності та заданої якості контролю у водному та повітряному середовищі є актуальним завданням.

Аналіз літератури та постановка проблеми. Для подолання вищевказаних проблем під час інспекцій в шельфовій галузі були розроблені ефективні та економічно вигідні технологічні рішення, що дозволяють мінімізувати ризик для людини. До них належить використання гібридних роботизованих комплексів (ГРК), які є автономними підводними апаратами (АПА), дистанційно керованими підводними апаратами (ДКПА), безпілотними літальними апаратами (БПЛА) та автономними надводними апаратами (АНА), що діють за єдиним планом в інтересах вирішення основної місії. Ці прилади здатні надати точну і достовірну інформацію про стан обладнання в будь-яких складних умовах [6].

Ключовими ланками в системі моніторингу стану і безпеки об'єктів шельфової промисловості є ДКПА і АПА [7, 8].

ДКПА – це прив'язний транспортний засіб, яким дистанційно керує оператор для виконання рутинних завдань з інспекції на підводних нафтогазових установках та здійснення легких втручань [9, 10]. Конструктивні особливості ДКПА дозволяють реалізувати їх переваги. По-перше, інформація в режимі реального часу дозволяє миттєво реагувати на перешкоди або зміни параметрів місії. По-друге, візуалізація з високою роздільною здатністю дозволяє операторам візуально оглядати та оцінювати стан морських споруд. Однак удари хвиль на кабель і вплив підводних течій обмежують керованість блоку дистанційного керування і викликають дрейф пристрою.

АПА, які не з'єднані кабелями з надводними суднами і працюють незалежно від них, оснащені сучасною контрольно-вимірювальною апаратурою для збору та аналізу даних і характеризуються великою дальністю дії, маневреністю, гнучкістю розгортання, високою швидкістю занурення і неможливістю заплутування в підводних спорудах. Наявність мультимодальних гідролокаційних датчиків в складі обладнання АПА дозволяє проводити точне картографування морського дна і моніторинг підводних кабелів і трубопроводів [11]. Нові потужні батареї збільшили автономність АПА до декількох і дозволили їм працювати в більш складних гідрометеорологічних умовах.

Останнім часом АНА та БПЛА все частіше використовуються для обстеження споруд, розташованих над морською водою. Навіть у суворих морських умовах АНА можуть самостійно орієнтуватися в морській інфраструктурі, збираючи дані про поверхню океану та підповерхнєве середовище за допомогою вбудованих датчиків, включаючи багатопроменеві

ехолоти та гідролокатори бічного сканування [12]. Зниження ролі людського фактору і зниження ризиків при пілотуванні АНА сприяють оптимізації графіків технічного обслуговування (ТО) і точній оцінці потенційних загроз.

БПЛА, маючи доступ до важкодоступних ділянок на плавучих спорудах, надають детальні знімки з високою роздільною здатністю для моніторингу стану споруд, розташованих вище ватерлінії [13]. Таким чином, технології візуалізації та маневреність БПЛА дозволяють оперативно виявляти корозію або механічні пошкодження конструкцій та оперативно пропонувати термінові заходи щодо їх усунення. Крім того, БПЛА значно підвищують безпеку під час перевірок за рахунок відсторонення інспекторів від роботи на великій висоті та/або в небезпечних умовах.

Однак сучасні дослідження повністю не закривають питання ефективного використання різнотипних автономних апаратів для проведення інспекцій морських промислових установок.

Метою роботи є аналіз сучасного стану та перспектив використання гібридних роботизованих комплексів для інспекції морських нафтогазових об'єктів.

Основна частина. Всі апарати ГРК оснащені сучасними датчиками та системами візуалізації для отримання зображень з високою роздільною здатністю, відеоматеріалів та інших даних для оцінки стану підводного обладнання. Підводні лазерні сканери і фотограмметрія ближньої дії дозволяють сканувати всю сцену і виконувати комплексну реконструкцію її 3D-структури шляхом обробки 3D-хмари точок [14]. Технології аналізу великих обсягів даних, зібраних під час підводних інспекцій, дозволяють виявляти закономірності або аномалії, які вказують на потенційні проблеми або проблемні зони.

Ключовим фактором для впровадження нових технологій в оцінці стану морських споруд є здешевлення складних і дорогих інспекційних операцій [15]. Саме тому дослідники вважають, що спільне використання АНА, АПА, ДКПА і БПЛА сприяє зниженню витрат при збереженні високої якості та точності інспекцій над та під водою.

Беручи до уваги ймовірність, наслідки і витрати на експлуатацію або обслуговування морських споруд, для інспекції також широко використовуються РОК-системи. Вони використовують методи структурної надійності та баєсові методи надійності для встановлення критеріїв розрахунку втоми та оновлення планів контролю під час експлуатації. РОК-система встановлює пріоритети контролю в залежності від рівня ризику, пов'язаного з кожним підводним об'єктом. Ретельна перевірка ризиків показує, які об'єкти потребують частих перевірок, а де немає необхідності в систематичних періодичних перевірках.

Другим важливішим підходом до підвищення ефективності підводних інспекцій є використання алгоритмів штучного інтелекту (ШІ) та машинного навчання [16].

У роботі [17] розглядається виявлення наростів в морських спорудах і їх класифікації на основі глибокого навчання й інформації від датчиків для отримання 3D представлення товщини і складу наростів та оцінки впливу підвищених гідродинамічних навантажень на структурну цілісність об'єктів.

У роботі [18] розглядаються проблеми відсутності навчальних даних з використання АПА та ШІ при перевірці, ТО та виявленні пошкоджень у підводних нафто- і газопроводах, що порушують їх структурну цілісність.

По суті, поєднання технологій ДКПА, АНА, АПА та БПЛА, об'єднаних у рамках ГРК, впровадження стратегій інспекції на основі РОК, ШІ та машинного навчання забезпечує цілісний підхід до зниження витрат на інспекцію великих споруд та глибоководні операції. Ретельне планування забезпечує оптимальні графіки перевірок при збереженні бажаного рівня ризику при найменших витратах. Моніторинг загального стану конструкцій, таким чином, забезпечує тривалий термін служби та безпеку при одночасному зниженні експлуатаційних витрат.

Ведення господарської діяльності морськими видобувними компаніями (МВК) в небезпечних умовах зумовлює необхідність розробки безпечних та ефективних методів моніторингу своєї інфраструктури. Однак проведення перевірок обладнання людиною за

традиційною технологією пов'язане з високими експлуатаційними ризиками через великі висоти або глибоководні операції. Закономірним виходом з цієї ситуації є поява безпілотних апаратів, об'єднаних в ГРК.

Нафтові вишки, платформи, морські вітрові турбіни та інші морські видобувні установки (МВУ) повинні відповідати жорстким вимогам безпеки та проходити регулярні перевірки цілісності та функціональності обладнання, виявлення потенційних небезпек та дотримання стандартів безпеки.

Управління структурною цілісністю (УСЦ) спрямоване на забезпечення довгострокової надійності та довговічності фізичних структур та охоплює людські ресурси, системи, процедури та активи [6].

Контроль за морськими виробничими підрозділами (МВП) повинен відповідати певним вимогам, що означає усунення або значне зменшення впливу більшості перешкод та обставин, з якими стикаються ці структури. Технічне обслуговування обладнання в УСЦ є найважливішим фактором у забезпеченні безпеки та надійності МВП. Це досягається шляхом проведення регулярних інспекцій у різних зонах платформи для виявлення потенційних ризиків або збитків, які можуть поставити під загрозу персонал, активи та навколишнє середовище. Ці перевірки повинні відповідати нормативним вимогам, запобігаючи виникненню дорогих інцидентів і збоїв.

Залежно від наявності обладнання та порядку проведення інспекцій на стаціонарних та плавучих морських спорудах виділяють кілька інспекційних зон (Z_i) (рис. 1):

Z_1 – надбудова (від нижньої палуби до верхньої щогли), тобто верхня частина морської платформи, що містить житлові приміщення, вертолітні майданчики і технологічне обладнання (модулі), інспекції в яких забезпечують безпеку і функціональність обладнання і конструкцій, розташованих на верхній конструкції [19]. Доступ до зони Z_1 відносно легкий для персоналу та обладнання, за винятком деяких специфічних споруд, за допомогою сходів або ліфтів.

Зона Z_2 розташована від ватерлінії (вище ватерлінії) до нижньої палуби і має у своєму складі ділянки, що піддаються впливу хвиль, вітру і періодичних бризок морської води, які найбільш схильні до корозії і деградації через суворі умови навколишнього середовища [20]. Однак ця територія складна для моніторингу і вимагає спеціалізованого обладнання та техніки для огляду (скелелазіння).

Підводна зона Z_3 розташована нижче ватерлінії на глибині до 50 м, охоплює корпус плавучої/нерухомої платформи [21], а також обладнання та з'єднання стояків, де перевірки забезпечують цілісність корпусу та належне функціонування стояків. Контроль на цій ділянці ускладнюється проблемами доступу до інспекції через необхідність занурення. Обмежені можливості та маневреність звичайних ДКПА та АПА не дозволяють їм діяти на такій глибині.

Підводна динамічна зона Z_4 (від глибини 50 м до точки приземлення та якірної системи труб на морському дні) має у складі стояки, що транспортують вуглеводні з підводних свердловин у верхній технологічний комплекс. Перевірки в зоні Z_4 для виявлення потенційних дефектів або пошкоджень стояків, які можуть призвести до витоків або несправностей, ускладнюються екстремальною глибиною, вертикальним положенням і рухом труб, а також суворими умовами.

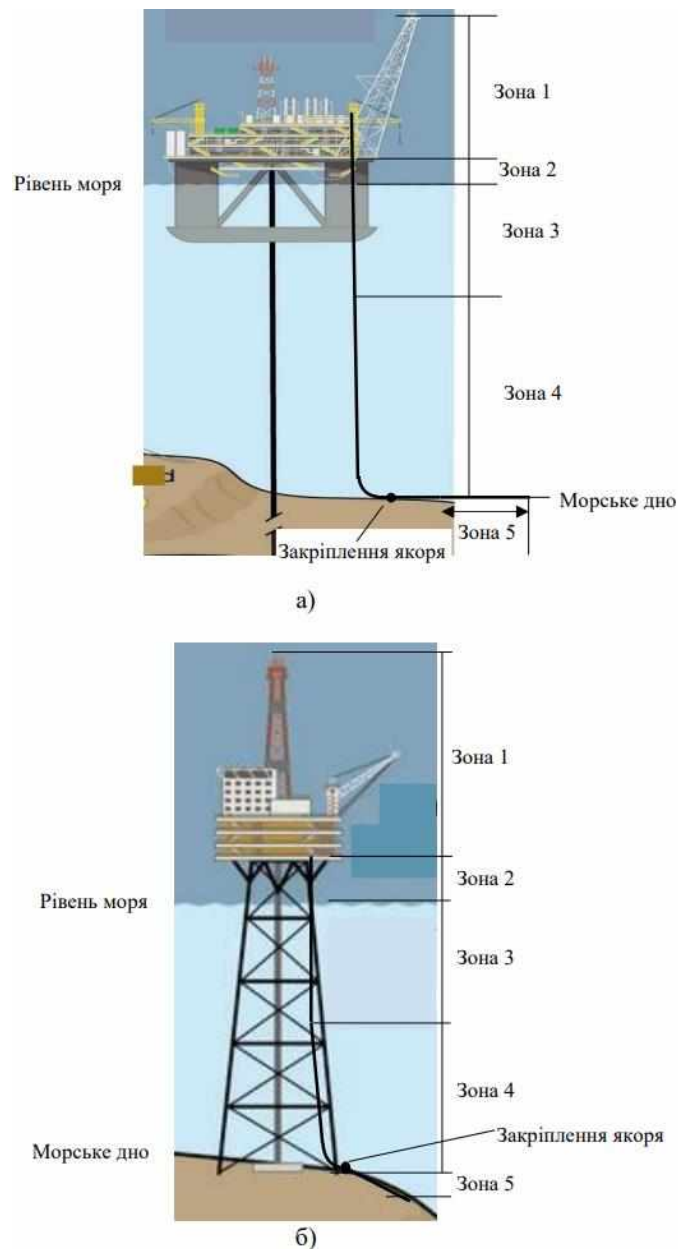


Рисунок 1 – Інспекційні зони морських споруд:
а) плавуча платформа; б) стаціонарна платформа

Підводна зона Z_5 охоплює всі активи, розташовані на морському дні, – трубопроводи, споруди та обладнання. Перевірки в зоні Z_5 дозволяють виявити будь-які пошкодження, корозію або проблеми з цілісністю, які можуть вплинути на безпеку та надійність обладнання. З одного боку, огляд цієї ділянки відносно легкий завдяки горизонтальному розташуванню труб і закріпленню їх на морському дні. Але, з іншого боку, перевірки утруднені через періодичне занурення техніки в осадові породи або покриття морською рослинністю.

Розташування деяких конструктивних елементів в різних зонах (табл. 1) вимагає застосування різних методів обстеження в кожній зоні для ефективної оцінки різних компонентів цих складних систем.

Таблиця 1 – Технічні характеристики елементів контролю у різних зонах МВП

Зона	Основні елементи контролю
1	Надбудова платформи та накладні модулі
2, 3	Стояк балконний, двотаврова труба, ребро жорсткості
3, 4	Жорсткі і гнучкі стояки
3, 4, 5	Лінії управління і шлангопроводи
3, 4	Підводні споруди
2, 3, 4, 5	Швартовна система
5	Гирла свердловин
5	Лінії перевероту

Традиційний метод, що використовується в інспекційних операціях, заснований на візуальному огляді, дозволяє ефективно виявляти різні пошкодження (потертості, розриви, витоки, деформації) на зовнішньому покритті підводної системи, виявляти несправності запобіжних клапанів, розташованих у верхній частині, і виявляти помилки в позиціонуванні плавучих платформ.

Візуальний огляд зазвичай проводиться двома методами – загальним візуальним оглядом (ЗВО), який проводиться за допомогою камер, встановлених на ДКПА або АПА для візуального виявлення пошкоджень і витоків, і ретельним візуальним оглядом (РВО), який використовується для перевірки зварних швів, рівнів корозії та тріщин. ЗВО і РВО, які ефективні при виявленні проблем на поверхні обладнання, не дають оцінки загального стану підводних споруд.

Традиційні підходи до обстеження морських об'єктів у різних зонах працювали: інспектори – для надбудови (зона 1); альпіністи – для зони бризок/розпилення (зона 2); водолази – для підводної зони біля ватерлінії (зона 3); дистанційно керовані апарати – для динамічної підводної зони (зона 4) і підводної зони (зона 5) [22]. Для зменшення загроз життю людей та підвищення ефективності перевірок у різних зонах останнім часом використовуються: БПЛА та АНА (зони 1 та 2), міні-ДКПА (зона 3), АПА (зони 4 та 5). Ці пристрої характеризуються хорошою мобільністю, можливістю віддаленого моніторингу і кращим доступом до важкодоступних місць.

Безпілотні літальні апарати

БПЛА, оснащені камерами та датчиками з високою роздільною здатністю і з відносно легким доступом до надбудови та зони розбризкування/розпилення, надають детальні візуальні зображення для аналізу та виявлення потенційних проблем або дефектів, значно зменшуючи потребу операторів у безпосередньому фізичному огляді обладнання.

Міні-ДКПА в порівнянні з водолазами-людьми можуть спритно пересуватися в підводній зоні біля ватерлінії.

Автономні підводні апарати якісно збирають дані про стан підводної споруди без необхідності роботи з ними людини.

Для інспекції морських споруд можуть використовуватися БПЛА, ДКПА, АПА й АНА. Досягнення у сенсорних технологіях, ІІІ та автономності за останні два десятиліття сприяли масштабним дослідженням усіх чотирьох типів автономних та дистанційно керованих апаратів.

Безпілотні літальні апарати, які стали важливим інструментом збору даних та візуальної оцінки обстановки, поділяються на апарати з нерухомим крилом та мультиротори (рис. 2).



Рисунок 2 – Різні типи безпілотних літальних апаратів:
а) літакового типу з нерухомим крилом; б) багатороторний

Мультироторні БПЛА, завдяки своїй здатності зависати та маневрувати в обмеженому просторі та оснащеності камерами з високою роздільною здатністю, широко використовуються у військовій справі, сільському господарстві, картографії, інспекції у промисловому секторі тощо. Вони стають все більш популярними для інспекції морських споруд.

Забезпечуючи покращену видимість та дистанційний моніторинг, не вдаючись до прямого фізичного огляду, БПЛА надають операторам детальні візуальні зображення та дані для аналізу та виявлення потенційних проблем або дефектів щодо об'єктів у зонах 1 та 2:

1. Ділянки з корозією, тріщинами або іншими пошкодженнями повинні бути виявлені на будь-якій частині *корпусу* морської конструкції БПЛА.

2. На *балконах-стояках*, як критичних точках на морській платформі, БПЛА контролюють практично будь-які важкодоступні місця.

3. На *верхній частині* морської споруди БПЛА здійснюють огляд на предмет цілісності конструкції, витоків, пошкоджень, спричинених погодними умовами тощо.

4. БПЛА оглядають *факельні труби* на наявність корозії, тріщин або засмічень без зупинки технологічних операцій.

5. Спеціалізовані БПЛА перевіряють внутрішні частини великих *внутрішніх резервуарів* на судах та морських спорудах для виявлення корозії та витоків.

6. У *важкодоступних місцях* (підпалуби, крани тощо), небезпечних для людей, БПЛА виявляють ділянки з корозією, тріщинами або іншими пошкодженнями.

Таким чином, універсальність БПЛА дозволяє використовувати їх практично у всіх верхніх зонах морської інфраструктури.

У роботі [23] розглядаються типи БПЛА та правила їх експлуатації для контролю важкодоступних місць, виявлення корозії, тріщин та витоків у найкоротші терміни на плавучих платформах та кораблях ВМС, використання 360-градусного відео, 3D-моделювання для вимірювань та аналізу ситуації на основі отриманих зображень.

Перевагами БПЛА є відмінна маневреність, економічність, гнучкість, безпека та забезпечення частого оновлення інформації. Функціонал БПЛА значно розширено за рахунок оснащення їх активними (лідар та радар) та пасивними (камери візуального спектру та тепловізори) датчиками [24]. Фотограмметрія активно використовується для аналізу зображень і вимірювань в управлінні обладнанням, яке полягає в отриманні серії зображень, що перекриваються під різними кутами, їх з'єднанні за допомогою комп'ютерних алгоритмів і створенні детальних 3D-моделей.

Величезною проблемою на судах є огляд зовнішньої (важкодоступної) частини корпусів, внутрішньої частини цистерн, баластних і вантажних цистерн, систем покриттів, дахів кранів, факелів, інших замкнутих просторів і важкодоступних зон. БПЛА часто є незамінними при огляді пошкоджень після інцидентів (рис. 3а). Однак при обстеженні замкнутих просторів

морського обладнання БПЛА стикаються з серйозними проблемами, такими як несистемні збурення електромагнітного поля, обмеження або навіть втрата сигналів GPS, наявність різних перешкод, турбулентність повітря [25]. Для подолання цих проблем використовуються лазерні 2D і 3D-сканери, камери глибини і RGB-D, бездротові методи визначення місця розташування.

Таким чином, використання БПЛА в процесі моніторингу морського обладнання, по-перше, значно знижує ризик для людини; по-друге, сприяє генерації великих обсягів даних за більш короткий період; по-третє, часто обходиться набагато дешевше, ніж перевірки людиною.

Останнім часом для цілей інспекції на плавучих платформах виробництва, зберігання та відправлення вуглеводнів активізувалися БПЛА з напівавтономною навігацією, роботизовані системи, що використовують, наприклад, магнітний гусеничний хід, а також методи комп'ютерного зору на основі ШІ для автоматизованого виявлення тріщин та гіперспектрального аналізу зображень (рис. 3б).

У Західній Європі велике значення надається реалізації проекту REDHUS («Remote Drone-based Ship Hull Survey» – «Дистанційне обстеження корпусу судна за допомогою дрона»), метою якого є оптимізація процедури автоматизованого дистанційного огляду корпусів суден або танків та аналізу відеоданих, отриманих за допомогою БПЛА. Якщо в майбутньому цей метод буде прийнятий за стандартну практику, судновласники отримають більшу безпеку та економічну вигоду.



а)



б)

Рисунок 3 – Приклади роботизованих та автономних систем, розроблених для морських інспекцій:

а) безпілотний літальний апарат; б) гусеничний робот (Джерело – за матеріалами [25])

Прикладом інспекції в резервуарах FPSO та баластних цистернах для морських компаній та верфей є БПЛА ELIOS 3 (рис. 4).



Рисунок 4 – Універсальний БПЛА Elios 3 для проведення дистанційних планових перевірок в умовах обмеженого простору (Джерело – За матеріалами [25])

Таким чином, доступність, простота експлуатації, добре управління камерою і робота в обмеженому просторі дозволили ефективно проводити обстеження суден і морських споруд.

Дистанційно керовані підводні апарати

Спочатку ДКПА в основному використовувалися у військовій сфері, особливо при вилученні торпед і мін. Згодом можливості ДКПА були значно розширені. Як і водолази, ДКПА базуються на допоміжних суднах і зазвичай з'єднані з ними пуповиною, яка служить каналом для критично важливих даних зв'язку та управління.

Підводні апарати використовуються двома способами: «збоку» і «через місячний басейн». Перший підхід, який передбачає використання А-подібної рами для опускання ДКПА в воду, є більш економічним. Другий спосіб дозволяє безпосередньо занурювати ДКПА у воду, забезпечуючи контрольований вхід та кращу стійкість, що знижує ймовірність пошкодження машини під час розгортання та зменшує залежність від погодних умов.

Зазвичай ДКПА поділяються на такі класи (рисунок 5):

Потужність енерго-установки	0 кВт	15 кВт	55 кВт	75 кВт	110 кВт
Клас	Спостерігачі		Легкий робочий клас	Робочий клас	Важкий робочий клас
Глибина занурення	0 м	300 м	1 000 м	3 000 м	5 000 м
Завдання:	- спостереження; - інспекція; - резервні засоби		- спостереження; - інспекція; - легкі підводні будівельні роботи	- спостереження; - інспекція; - спеціальні підводні будівельні роботи	- глибоководні дослідження; - підводне будівництво; - обслуговування нафтових вишок

Рисунок 5 – Класифікація дистанційно-керованих підв
(Джерело – розроблено авторами)

– *апарати-спостерігачі*, в тому числі пристрої від мікро-ДКПА до засобів масою близько 100 кг з мінімальним корисним навантаженням або взагалі без корисного навантаження, завдяки енергосистемам, що генерують менше 15 кВт, зазвичай використовуються як резервні пристрої для водолазів або інших ДКПА або для проведення інспекцій на відносному мілководді (глибина до 300 м) [6];

– *легкий робочий клас* – це ДКПА вагою від 100 кг до 1000 кг, які можуть бути розгорнуті на глибині до 1 000 м, мають помірну вантажопідйомність разом та взаємодіють з енергосистемами, здатними генерувати до 55 кВт;

– *апарати робочого класу*, що використовують електростанції потужністю понад 75 кВт і мають досить високу вантажопідйомність, виконують різні підводні завдання, в тому числі спеціальні будівельні, на глибинах до 3 000 м;

– *великовантажні апарати* – це вузькоспеціалізовані апарати, які виконують завдання у складних глибоководних умовах (на глибинах до 5 000 м) і потребують потужних силових систем (понад 110 кВт). Вони мають надвисоку вантажопідйомність і призначені для глибоководних досліджень, підводного будівництва та обслуговування нафтових платформ.

При інспекції морських споруд, особливо трубопроводів і стояків, в першу чергу оцінюється структурна цілісність цих елементів і виявляються будь-які потенційні пошкодження шляхом візуального огляду для виявлення ознак деградації, корозії або нерівностей поверхні.

Для перевірки цілісності трубопроводів часто використовуються методи неруйнівного контролю (НК) [25], такі як ультразвуковий контроль (УЗК) [26], магнітопорошковий контроль (МПК) [27], витік магнітного потоку (ВМП) [28], вихрострумний контроль [29], контроль трубопроводу спрямованою хвилею (КТСХ) [30] і вимірювання катодного захисту (КЗ) [31].

УЗК використовує високочастотні звукові хвилі для виявлення внутрішньої корозії, тріщин та інших форм структурних пошкоджень у матеріалі трубопроводу.

Суть МПК полягає в намагнічуванні контрольованої ділянки перед введенням частинок заліза, створюючи візуальні індикатори, які накопичуються навколо ділянок з дефектами поверхневого руйнування.

При методі ВМП за допомогою спеціальних датчиків виявляються локальні ділянки корозії або розтріскування шляхом індукування сильного зовнішнього магнітного поля на поверхні труби.

Вихрострумний контроль індукуює електричні струми в струмопровідних матеріалах труби, створюючи протилежні поля, які по-різному реагують на нормальні умови та потенційні проблеми на поверхні труби, дозволяючи виявити невеликі ямки, тріщини або корозію.

Однак в нафтогазовій галузі, крім розробки автономних технологій неруйнівного зовнішнього контролю, велика увага приділяється внутрішньому контролю жорстких трубопроводів (ВКТ), особливо внутрішньотрубною діагностикою. Ця технологія не може бути ефективно застосована до гнучких трубопроводів.

У підводних операціях першорядне значення має безпека, для чого використовується аналіз надійності за допомогою дерева відмов.

ДКПА можуть оснащуватися магнітними гусеничними візками або роботизованими інспекційними інструментами (рис. 6), які кріпляться до сталевих конструкцій або пластин за допомогою магнітів і переміщуються на колесах. Управління пристроями здійснюється дистанційно з верхньої палуби або з судна за допомогою кабельного з'єднання. Вони дають можливість оглядати горизонтальні і вертикальні поверхні у водному середовищі, запобігати забрудненню, видаляти сміття і іржу, проводити неруйнівний і комплексний контроль і т. д.

ДКПА виявилися дуже цінними інструментами у шельфовій індустрії, головною перевагою яких є їхня здатність проникати до важкодоступних ділянок підводних споруд у суворих умовах, ефективно перевіряти та оцінювати їх, а також виявляти дефекти обладнання за допомогою методів акустичної або оптичної візуалізації.



Рисунок 6 – Встановлення роботизованого інспекційного інструменту з допомогою ДКПА
За матеріалами [32]

Автономні підводні апарати

Автоматизовані підводні апарати можуть перевозити велику кількість обладнання для картографування морського дна, огляду підводного обладнання, кабелів і трубопроводів, в тому числі з метою забезпечення їх структурної цілісності і проведення екологічних досліджень при відносно невеликих експлуатаційних витратах [33]. АПА здатні здійснювати навігацію в невідомих умовах і збирати оптичні дані для обстеження підводних споруд, визначення

морфології і топології морського дна, візуалізації морського дна і широкомасштабної зйомки океанічних об'єктів.

Використання БПЛА, оснащених сучасними датчиками, для інспекції замість людей-водолазів дає можливість виконати ретельний візуальний огляд, виявити дефекти стояків і забезпечити структурну цілісність підводних споруд на нафтових і газових родовищах [34]. Для управління прецизійними ротаційними сканерами під час проведення контролю було розроблено розподілені мережеві комунікаційні системи та використано технологію польових шин для поліпшення управління виконавчими механізмами під час автоматизованого обстеження морських споруд.

АПА здатні автономно картографувати, планувати траєкторії без зіткнень у невідомих умовах і переміщатися в безпосередній близькості від підводних споруд і морського дна, що дає змогу отримувати зображення й оглядати різні структури. АПА функціонує без втручання людини за складним алгоритмом, що містить єдиний підхід до пріоритету завдань, об'єднує різні режими поведінки, такі як проходження траєкторії, проходження рельєфу, обхід перешкод, самонаведення і маневри стикування [34].

Конструктивно АПА складається з циліндричної оболонки, що має забезпечити стійкість при високих гідростатичних тисках. Альтернативою звареним ребрам жорсткості можуть бути ребра жорсткості ковзання, що підвищують стійкість при збереженні внутрішнього простору для обладнання. У роботі [35] досліджено застосування векторних двигунів на основі паралельних маніпуляторів для поліпшення керованості та маневреності АПА. А стаття [36] присвячена розробці бездротових низькочастотних систем віброконтролю для морських платформних споруд.

Значне розширення експлуатаційних можливостей і автономності АПА дало змогу ефективно інспектувати підводні споруди, що раніше виконували виключно пілотовані апарати або ДКПА [37]. Крім того, АПА для підводної інспекції можуть запускатися безпосередньо з берега або з невеликих маневрених суден, що економічніше, ніж використання великих і дорогих допоміжних суден.

Основними проблемами використання АПА під час морських інспекцій є невеликі строки автономної роботи, складність управління в сильних потоках води, проблеми подолання перешкод, мінімальна можливість дистанційного втручання порівняно з прив'язними системами, що збільшує ризик втрати апарата, та обмежені складність і різноманітність розв'язуваних завдань.

Деякі рішення доступні вже сьогодні. Так, підводні апарати Eelume Underwater Intervention Vehicle компанії Kongsberg на сьогоднішній день є, ймовірно, найпередовішими виробами в даній галузі (рис. 7а). Залежно від моделі апарати можуть використовувати різні методи навігації – GPS-фіксація поверхні, DGPS-USBL метод, підводне позиціонування транспондерів та батиметрична навігація на місцевості. АПА вирізняється інтегрованою інерціальною навігаційною системою з доплерівським реєстратором швидкості, що забезпечує високоточне оновлення місцеположення, підтримання положення АПА під час автономної роботи, точне позиціонування і навігацію в різних підводних умовах.

Здатність АПА рухатися всього в декількох метрах над морським дном дає змогу створювати зображення морського дна і надр із високою роздільною здатністю.

Даний АПА має можливість оперативно локалізувати і виявляти несправності в руховій установці і системі орієнтації з використанням селективних ознак [38], що забезпечує надійні стратегії управління апаратом.

Розроблений у Великій Британії апарат REMUS 6000 (рис. 7б) може бути використаний для підводних пошуків і картографування океанського дна тривалістю до 36 год за крейсерської швидкості 1,8 м/с за допомогою апертурного сонара Kraken SAS. Конструкція апарата може витримувати триваліші і складніші місії і для цього оснащена гідролокаційними системами і стереокамерами високої роздільної здатності. Дані від цих джерел, використовувані в алгоритмах ШП, дають змогу здійснювати зміну маршруту підводного апарата. Модульна

архітектура апарату дає змогу адаптивно налаштовувати конфігурацію корисного навантаження.

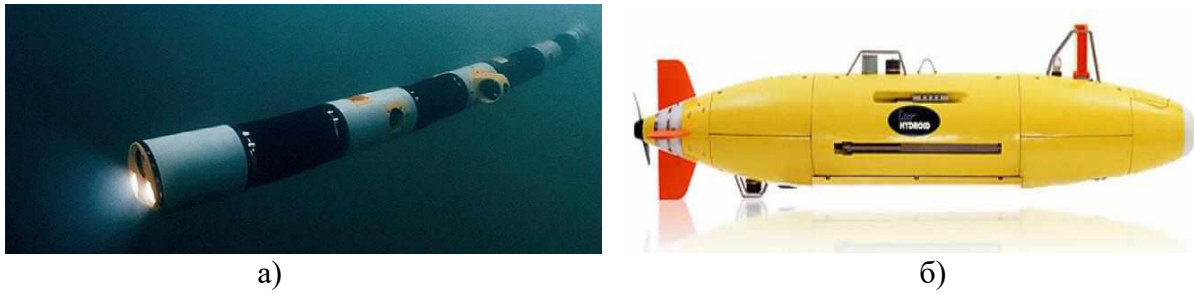


Рисунок 7 – Автономні підводні апарати:
а) Eelume Underwater Intervention Vehicle; б) REMUS 6000

Автономний надводний апарат

Зростаюча потреба в ефективних методах збору даних для вирішення завдань моніторингу та обстеження гаваней, батиметрії та оцінювання глибини, інспекції, ремонту та ТО морської інфраструктури без участі оператора зумовили інтенсивне розроблення АНА [12]. Також АНА стали широко застосовуватися в пошуково-рятувальних операціях, сейсмозвідці, моніторингу стану конструкцій і управлінні морськими спорудами [36]. Останніми роками можливості АНА стали серйозно розширюватися завдяки їхньому комплексуванню з інтелектуальними морськими системами.

Останнім часом зростає доступність комерційних варіантів, розроблених спеціально для підводних досліджень, – дистанційно керованих або повністю автономних апаратів, що відповідають різним вимогам у підводному середовищі.

Наразі більшість апаратів, наприклад Z-Boat 1800 RP, Teledyne Marine, Г'юстон, Техас, США і система морського дна HydroCat-180, зосереджені на отриманні даних з надводної поверхні з акцентом на проведенні детальних досліджень під поверхнею води (рис. 8). У роботі [39] для моніторингу та спостереження за гаванями пропонується використовувати камери. Відомий АНА, що дає змогу отримувати 2D-дані з поверхні за допомогою двовимірного лазерного сканера, який зазвичай використовують для локалізації АНА за відсутності GPS. Для збирання даних одночасно з підводної та надводної областей у дослідженнях [40] запропоновано для вивчення поверхні використовувати 3D-хмари точок, отримані за допомогою технології LiDAR, і багатопроменеві ехолоти для збирання інформації про підводне середовище. Також запропоновано автономний апарат для інспекції та технічного обслуговування у багатьох областях SENSE (autonomouS vEssel for multi-domaiN inSpEction and maintEnance), що забезпечує найбільш підходяще корисне навантаження для спостереження за навколишнім середовищем вище і нижче рівня моря [12].

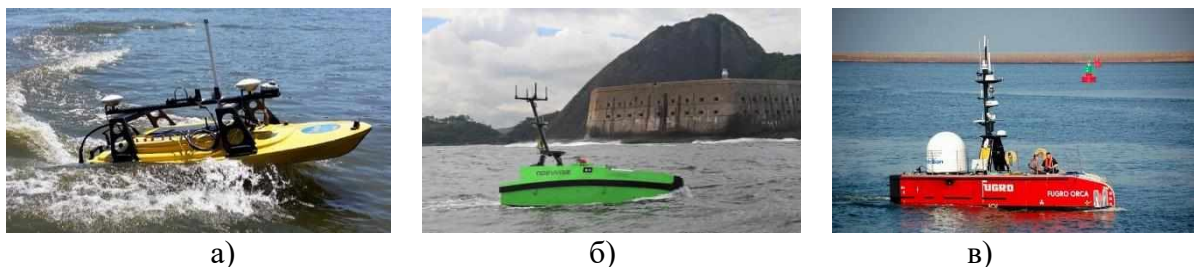


Рисунок 8 – Моделі АНА, використовувані в берегових дослідженнях і забезпеченні безпеки портів і гаваней

а) ASV Z-Boat 1800RP; б) човен ASV W TUPAN 1; (c) ASV FUGRO ORCA

Апарат TUPAN, спеціально призначений для моніторингу довкілля та геодезії, оснащений низкою датчиків, включно з LiDAR, багатопроменевими ехолотами або навіть мікро-ДКПА.

Використання АНА для моніторингу, геодезії та інспекції морської інфраструктури підвищує ефективність, безпеку і рентабельність у морській і шельфовій галузях.

Порівняльний аналіз технологій використання апаратів різного класу для морських інспекцій дає змогу зробити такі висновки:

1. Будучи універсальними інструментами для проведення інспекцій, ДКПА здатні працювати на різній глибині, точно виконувати завдання управління, виконувати детальний контроль морських споруд і ремонт обладнання, завдяки дистанційно керованим маніпуляторам. Однак загальна ефективність ДКПА знижується через обмеженість їх автономності прив'язним управлінням. На експлуатаційні витрати ДКПА негативно впливає необхідність використання материнського судна [41]. Однак, оснащення цих засобів камерами і гідролокаційними системами дає змогу оперативно і точно збирати дані під час перевірок. Наразі проводять дослідження з підвищення автономності ДКПА для підводних інспекцій та операцій з ТО шляхом розроблення передових систем навігації, наведення та управління для переходу від ручного до автоматичного управління, використовуючи автономні функції для низки конкретних завдань.

2. Автономні підводні апарати, оснащені передовими навігаційними датчиками, гідролокаційними системами і камерами, застосовуються для глибоководних інспекцій, ефективного збирання даних із мінімальним втручанням людини, проведення екологічних оцінок, всебічної підводної розвідки в різних умовах тощо. Однак, обмежена ємність батареї негативно впливає на час роботи АПА. Крім того, апарат менш універсальний з точки зору можливості втручання з боку оператора порівняно з ДКПА. Проводяться активні дослідження підводних маніпуляторів для підвищення можливостей втручання АПА [42].

3. Автономні надводні апарати, маючи здатність автономної роботи і високу стійкість до хвиль і поточних впливів, спеціально розроблені для моніторингу поверхні та ефективного збору даних під час інспекцій морських споруд. Проте, АНА, маючи обмежену маневреність у поверхневих водах, з гарною якістю виконують візуальні огляди, моніторинг довкілля та батиметричні оцінки, у т. ч. в суворих морських умовах. Обмежені експлуатаційні можливості більшості наявних автономних платформ викликали до життя активні дослідження концепції AxVs. Вона передбачає здатність автономних апаратів працювати одночасно в повітряному, надводному і підводному середовищах, забезпечуючи підвищену мобільність за рахунок переміщення між цими різними середовищами [43].

4. БПЛА, завдяки різним камерам, GPS і LiDAR для навігації та збору даних, традиційно використовуються для повітряного спостереження, фото- і відеозйомки під час морських інспекцій, у т. ч. в обмеженому просторі. Однак працездатність БПЛА сильно залежить від погодних умов, а його вантажопідйомність обмежена. Широкому впровадженню нової технології БПЛА для підвищення гнучкості, роздільної здатності та ефективності збору даних перешкоджають висока вартість сенсорних систем, обмеження за вагою корисного навантаження, які не дають змоги встановлювати певні датчики або декілька датчиків, обмеження за часом автономної роботи та тривалості польоту, несприятливі погодні умови, такі як вітер, вологість, коливання температури довкілля, проблеми з пилом та дощем, а також проблеми масштабованості й вимоги до дотримання правил прямої видимості [44].

У таблиці 2 подано огляд перевірок морських видобувних установок, що дає змогу отримати цілісне уявлення про різні зони контролю, конкретні елементи, які перевіряють у цих зонах, пов'язані з ними ризики та проблеми, а також рекомендовані методи або технології апаратів, які застосовують для кожної процедури інспекції.

Таблиця 2 – Порівняльний аналіз властивостей автономних апаратів різних класів

Зона	Специфічний елемент	Ризики та виклики	Методи перевірки
1	Структура платформи	Корозія, пошкодження конструкції, пошкодження внаслідок пожежі або вибуху, несправність обладнання	Візуальні огляди, інспекції БПЛА, неруйнівні випробування (ультразвук або рентгенографія) для виявлення внутрішніх дефектів сталевих конструкцій
2, 3	Система трубопроводів	Протікання, корозія, ерозія, засмічення	Візуальні огляди, випробування тиском, неруйнівні випробування
3, 4	Стояки	Корозія, ерозія, втомні пошкодження внаслідок руху платформи та морських течій, пошкодження ударами плаваючих предметів	Візуальні огляди за допомогою ДКПА, ультразвукові огляди для вимірювання товщини стінок труб, внутрішній контроль
3, 4	Гнучкий стояк	Пошкодження від втоми, знос і стирання, корозія, пошкодження броньового дроту, вплив морського середовища, термічний цикл	Візуальний огляд, внутрішній візуальний огляд, ультразвуковий контроль, випробування на акустичну емісію, виявлення затоплених елементів, внутрішній огляд, рентгенографічний контроль
3, 4, 5	Контрольні лінії та пуповини	Протікання, засмічення, пошкодження через рух платформи	Візуальні огляди за допомогою ДКПА, гідравлічні та електричні випробування для перевірки функціональності
4	Швартовна система	Знос ланцюгів і тросів, корозія, пошкодження якорів	Візуальні огляди за допомогою ДУА, вимірювання напруги в швартовних тросах
4, 5	Підводна будова	Корозія, структурна втома, пошкодження, спричинені морським життям або рухом води, осадження	ДКПА або АПА, оснащені камерами та датчиками, використовуються для візуалізації та огляду конструкції
5	Гирло свердловини	Протікання, несправність обладнання, засмічення	ДКПА, оснащені датчиками, використовуються для візуальних оглядів для виявлення витоків вуглеводнів
5	Потокові лінії	Корозія, ерозія, витoki, засмічення, деформація внаслідок руху ґрунту або морських течій	БПЛА використовуються для інспекцій на далеких відстанях. Також інструменти внутрішнього контролю вставляються в трубопровід і переміщаються по ньому для виявлення аномалій

Висновки. У статті досліджується використання безпілотних літальних апаратів, автономних надводних апаратів, дистанційно керованих підводних апаратів і автономних підводних апаратів для інспекцій морських споруд. Ці методи вважаються ефективною альтернативою використанню водолазів під водою і робітників, що проводять роботи на великих висотах, забезпечуючи розширені можливості контролю, технічного обслуговування і ремонту у важкодоступних місцях, більш швидке отримання великих обсягів даних і більшу економічність.

Як і раніше, потребує вирішення визначення оптимального часу і частоти перевірок для балансування потенційних ризиків відмови обладнання і витрат на інспекцію в нафтогазовій галузі.

Основним напрямком подальшої роботи є дослідження можливості інтеграції передових сенсорних технологій з наявними БПЛА, ДКПА, АНА та АПА для досягнення більш ефективних інспекцій. Другим напрямком досліджень є використання ШІ та машинного

навчання для аналізу отриманих у результаті цих інспекцій даних для поліпшення автоматизованого виявлення дефектів і аномалій та зниження можливих ризиків. Розроблення правил і стандартів для безпечного та ефективного використання цих безпілотних апаратів становить ядро третього напрямку досліджень.

REFERENCES

1. Tang, K.H.D.; Md Dawal, S.Z.; Olugu, E.U. A review of the offshore oil and gas safety indices. *Saf. Sci.* 2018, 109, 344–352.
2. Angulo, Á.; Tang, J.; Khadimallah, A.; Soua, S.; Mares, C.; Gan, T. Acoustic emission monitoring of fatigue crack growth in mooring chains. *Appl. Sci.* 2019, 9, 2187.
3. Feijóo, M.; Zambrano, Y.; Vidal, Y.; Tutivén, C. Unsupervised damage detection for offshore jacket wind turbine foundations based on an autoencoder neural network. *Sensors* 2021, 21, 3333.
4. Sørensen, J. Framework for risk-based planning of operation and maintenance for offshore wind turbines. *Wind Energy* 2009, 12, 493–506.
5. Lian, J.; Cai, O.; Dong, X.; Jiang, Q.; Zhao, Y. Health monitoring and safety evaluation of the offshore wind turbine structure: A review and discussion of future development. *Sustainability* 2019, 11, 494.
6. Sharp, J.V.; Ersdal, G. *Underwater Inspection and Repair for Offshore Structures*; Wiley: Hoboken, NJ, USA, 2021.
7. Bond, T.; Prince, J.; McLean, D.L.; Partridge, J.C. Comparing the utility of industry roV and hybrid-aUV imagery for surveys of fish along a subsea pipeline. *Mar. Technol. Soc. J.* 2020, 54, 33–42.
8. Jones, D.O.; Gates, A.R.; Huvenne, V.A.; Phillips, A.B.; Bett, B.J. Autonomous marine environmental monitoring: Application in decommissioned oil fields. *Sci. Total Environ.* 2019, 668, 835–853.
9. Sverdrup-Thygeson, J.; Kelasidi, E.; Pettersen, K.; Gravdahl, J. Modeling of underwater swimming manipulators. *Ifac-Papersonline* 2016, 49, 81–88.
10. He, Y.; Wang, D.W.; Ali, Z. A review of different designs and control models of remotely operated underwater vehicle. *Meas. Control* 2020, 53, 1561–1570.
11. Jung, J.; Lee, Y.; Park, J.; Yeu, T. Multi-modal sonar mapping of offshore cable lines with an autonomous surface vehicle. *J. Mar. Sci. Eng.* 2022, 10, 361.
12. Campos, D.; Matos, A.; Pinto, A. Modular multi-domain aware autonomous surface vehicle for inspection. *IEEE Access* 2022, 10, 113355–113375.
13. Sayed, M.; Roberts, J.; McKenzie, R.; Aracri, S.; Buchoux, A.; Stokes, A. Limpet ii: A modular, untethered soft robot. *Soft Robot.* 2021, 8, 319–339.
14. Chemisky, B.; Menna, F.; Nocerino, E.; Drap, P. Underwater Survey for Oil and Gas Industry: A Review of Close Range Optical Methods. *Remote Sens.* 2021, 13, 2789.
15. Varela, G. Cost–benefit assessment of offshore structures considering structural deterioration. *J. Mar. Sci. Eng.* 2023, 11, 1348.
16. Sands, T.D. Development of deterministic artificial intelligence for unmanned underwater vehicles (uuv). *J. Mar. Sci. Eng.* 2020, 8, 578.
17. Liniger, J.; Jensen, A.L.; Pedersen, S.; Sørensen, H.; Mai, C. On the Autonomous Inspection and Classification of Marine Growth on Subsea Structures. In *Proceedings of the OCEANS 2022, Chennai, India, 21–24 February 2022*; pp. 1–7.
18. Spahić, R.; Poolla, K.; Hepsø, V.; Lundteigen, M.A. Image-based and risk-informed detection of subsea pipeline damage. *Discov. Artif. Intell.* 2023, 3, 23.
19. Amaechi, C.V.; Reda, A.; Butler, H.O.; Ja'e, I.A.; An, C. Review on Fixed and Floating Offshore Structures. Part II: Sustainable Design Approaches and Project Management. *J. Mar. Sci. Eng.* 2022, 10, 973.
20. Moan, T. Life Cycle Structural Integrity Management of Offshore Structures. *Struct. Infrastruct. Eng.* 2018, 14, 911–927.
21. Zhu, J. Review on Structural Health Monitoring of Offshore Platform. *J. Phys. Conf. Ser.* 2021, 2014, 012019.

22. de Souza, A.P.F.; de Souza, M.I.L.; Netto, T.A.; Brandão, G.; Estefen, S.; Rubi, V.; Vilardo, G.P.; Procaci, M. Técnicas de Inspeção de Sistemas Submarinos—Uma Visão Geral Para Uma Implementação Ideal de Inspeção Baseada em Risco (IBR). In Proceedings of the 8th International Congress on Waterborne Transportation, Shipbuilding and Offshore Constructions Proceedings, Campinas, Galoá, Rio de Janeiro, Brazil, 26 October 2020.
23. dos Santos, N.F.G. Inspeção Estrutural Utilizando Drones; Undergraduate project; Federal University of Rio de Janeiro: Rio de Janeiro, Brazil, 2023.
24. Kabbabe Poleo, K.; Crowther, W.J.; Barnes, M. Estimating the impact of drone-based inspection on the Levelised Cost of electricity for offshore wind farms. *Results Eng.* 2021, 9, 100201.
25. Poggi, L.; Gaggero, T.; Gaiotti, M.; Ravina, E.; Rizzo, C.M. Recent developments in remote inspections of ship structures. *Int. J. Nav. Archit. Ocean. Eng.* 2020, 12, 881–891.
26. Zeng, Y.; Wang, X.; Qin, X.; Hua, L.; Xu, M. Laser Ultrasonic inspection of a Wire + Arc Additive Manufactured (WAAM) sample with artificial defects. *Ultrasonics* 2021, 110, 106273.
27. Liu, X.; Guo, Z.; Bai, D.; Yuan, C. Study on the mechanical properties and defect detection of low alloy steel weldments for large cruise ships. *Ocean. Eng.* 2022, 258, 111815.
28. Sahadan, S.N.; Abdullah, S.; Arifin, A.; Singh, S.S.K. Assessing the magnetic flux leakage contraction parameters for the fatigue life prediction of SAE1045 steel specimens. *Structures* 2021, 34, 4077–4085.
29. Angelo, J.; Benneker, A.; Picton, P.; Kaczmarczyk, S.; Soares, A. Eddy current analysis of shipped stainless steel heat exchanger bundle. *Case Stud. Nondestruct. Test. Eval.* 2016, 6, 89–93.
30. Tang, R.; Zhang, S.; Wu, W.; Zhang, S.; Han, Z. Explainable deep learning based ultrasonic guided wave pipe crack identification method. *Measurement* 2023, 206, 112277.
31. Britton, J.; Taylor, M.L. 25—Advancements in Cathodic Protection of offshore structures. In *Trends in Oil and Gas Corrosion Research and Technologies*; El-Sherik, A., Ed.; Woodhead Publishing Series in Energy; Woodhead Publishing: Boston, MA, USA, 2017; pp. 593–612.
32. Inspection in the Splash Zone. Available online: <https://oceantech.no/inspection/> (accessed on 24.06.24).
33. Palomer, A.; Ridao, P.; Ribas, D. Inspection of an underwater structure using point-cloud SLAM with an AUV and a laser scanner. *J. Field Robot.* 2019, 36, 1333–1344.
34. Thomas, C.; Simetti, E.; Casalino, G. A unifying task priority approach for autonomous underwater vehicles integrating homing and docking maneuvers. *J. Mar. Sci. Eng.* 2021, 9, 162.
35. Liu, T.; Hu, Y.; Xu, H.; Ghami, M. Investigation of an underwater vectored thruster based on 3rps parallel manipulator. *Math. Probl. Eng.* 2020, 2020, 9287241.
36. Zhou, D.; Yu, Y.; Wang, J.; Li, Z. Design and validation of a fast wireless low-frequency vibration inspection system for offshore platform structures. *J. Low Freq. Noise Vib. Act. Control* 2019, 39, 720–728.
37. Zhang, B.; Ji, D.; Liu, S.; Zhu, X.; Xu, W. Autonomous Underwater Vehicle navigation: A review. *Ocean Eng.* 2023, 273, 113861.
38. Liu, F.; Long, Y.; Luo, J.; Pu, H.; Duan, C.; Zhong, S. Active fault localization of actuators on torpedo-shaped autonomous underwater vehicles. *Sensors* 2021, 21, 476.
39. Yang, W.R.; Chen, C.Y.; Hsu, C.M.; Tseng, C.J.; Yang, W.C. Multifunctional Inshore Survey Platform with Unmanned Surface Vehicles. *Int. J. Autom. Smart Technol.* 2011, 1, 19–25.
40. Leedekerken, J.C.; Fallon, M.F.; Leonard, J.J. Mapping Complex Marine Environments with Autonomous Surface Craft. In *Experimental Robotics: The 12th International Symposium on Experimental Robotics*; Khatib, O., Kumar, V., Sukhatme, G., Eds.; Springer: Berlin/Heidelberg, Germany, 2014; pp. 525–539.
41. Zhao, C.; Thies, P.; Johanning, L. Offshore inspection mission modelling for an asv/rov system. *Ocean Eng.* 2022, 259, 111899.
42. Danielis, P.; Parzyjegla, H.; Ali, M.A.M.; Torres, F.S. Simulation model for energy consumption and acoustic underwater communication of autonomous underwater vehicles. *WMU J. Marit. Aff.* 2021, 21, 89–107.

43. Bowker, J.; Tan, M.; Townsend, N. Axv: An autonomous vehicle concept capable of operating throughout the ocean space: Air, surface and subsea. *Proc. Inst. Mech. Eng. Part M J. Eng. Marit. Environ.* 2023, 237, 918–928.
44. Wanasinghe, T.R.; Gosine, R.G.; De Silva, O.; Mann, G.K.I.; James, L.A.; Warrian, P. Unmanned Aerial Systems for the Oil and Gas Industry: Overview, Applications, and Challenges. *IEEE Access* 2020, 8, 166980–166997.

Tymochko O.I., Levchenko O.V., Rudenko V.M., Sitkov O.M.

USE OF HYBRID ROBOTIC COMPLEXES FOR INSPECTION OF MARINE OIL AND GAS FACILITIES

The aim of this paper is to analyse the current state and prospects of using hybrid robotic systems for the inspection of offshore oil and gas facilities. This goal is achieved during inspections in the offshore industry through the use of hybrid robotic systems, which include autonomous underwater vehicles, remotely operated underwater vehicles, unmanned aerial vehicles and autonomous surface vehicles, acting according to a single plan to minimise the risk to humans while providing accurate and reliable information about the condition of equipment in any difficult conditions. Remotely operated underwater vehicles and autonomous underwater vehicles are key links in the system for monitoring the condition and safety of offshore industry facilities. With access to hard-to-reach areas on floating structures, modern imaging technology and excellent manoeuvrability, UAVs provide detailed high-resolution images to monitor the condition of structures above the waterline, allow for prompt detection of corrosion or mechanical damage to structures and promptly propose urgent measures to eliminate them. Increased safety during regular inspections by unmanned aerial vehicles in various areas of the platform to identify potential risks that could endanger personnel, assets and the environment is achieved by excluding inspectors from working at high altitude or depth and/or in hazardous conditions. The most significant results are the allocation of several inspection zones depending on the availability of equipment and the procedure for conducting inspections on fixed and floating offshore structures. The significance of the obtained results lies in the development of proposals for the use of unmanned aerial vehicles, surface vehicles and underwater vehicles for the inspection of offshore structures, which is considered an effective alternative to the use of underwater divers and workers working at high altitudes, providing enhanced control, maintenance and repair capabilities in hard-to-reach places and faster acquisition of large amounts of data. Thus, the main direction for further work is to investigate the possibility of integrating advanced sensor technologies with existing unmanned systems to achieve more efficient inspections and using artificial intelligence and machine learning to analyse the data obtained from these inspections to improve automated detection of defects and anomalies and reduce possible risks.

Keywords: hybrid robotic system, autonomous underwater vehicle, remotely operated underwater vehicle, unmanned aerial vehicle, autonomous surface vehicle, navigation, ship, grounding, decision maker, ship hull kit, damage, oil spill, vessel, decision support system

Хуссейн Ю.М.

МЕТОД ТА СИСТЕМА ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ДЛЯ ЗДІЙСНЕННЯ НАВМИСНОЇ АВАРІЙНОЇ ПОСАДКИ СУДЕН НА МІЛИНУ У РАЙОНІ ПОРТУ

Метою роботи є розробка структури суднової системи підтримки прийняття рішень та методу підтримки прийняття рішень для управління судном, яке знаходиться у деградованому стані, у важких гідрометеорологічних умовах плавання при посадці на мілину для оцінки наслідків такої події. Поставлена мета досягається шляхом обробки початкових даних для обраних сценаріїв і відображення необхідної інформації на борту судна для осіб, які приймають рішення, для оцінки наслідків навмисної посадки судна мілину. Початковими даними методу є характеристичні параметри базових типів суден і типові сценарії посадки судна мілину. Джерелами початкової інформації є засоби моніторингу стану корпусу і дані вантажного комп'ютера. За обраними сценаріями посадки на мілину певних типів суден можна отримати параметричні формули для оцінки ушкоджень і сили контакту між судном і морським дном з урахуванням навантаження від нерухомої води, динамічного навантаження від хвиль і припливів, місцевих контактних сил від морського дна. Система підтримки прийняття рішень інтегрує окремі модулі в загальне сховище даних і загальний людино-машинний інтерфейс. Найсуттєвішими результатами є розробка структури суднової системи підтримки прийняття рішень та відповідного методу для управління судном при вимушеній посадці на мілину, що дозволяє особам, які приймають рішення, ефективно діяти на борту судна і на березі при обраних критичних сценаріях. Значущість отриманих результатів полягає у розробці методу підтримки прийняття рішень для управління судном, яке знаходиться у деградованому стані, при посадці на мілину, який відрізняється розділом процесу посадки на мілину на рух жорсткого тіла й опір проникненню у структуру дна, яке розраховується на основі заздалегідь установлених залежностей опору з урахуванням деградації міцності конструкційних елементів суднового набору через пошкодження днища і початкові пошкодження, що дозволяє виробляти рішення у режимі реального часу та оцінити наслідки такої події (структурні пошкодження, розрив, можливе затоплення або розлив нафти), включаючи подальший розвиток пошкоджень і розливу через коливання припливу та/або посилення хвиль і вітру. Таким чином, проведені дослідження показали ефективність запропонованого підходу для оцінки управління судном для обмеження морських навантажень, щоб пошкодження корпусу не поширилися до критичного рівня для всього судна, та, у крайньому випадку, для оцінки наслідків посадки судна на мілину.

Ключові слова: система підтримки прийняття рішень, навігація, судно, судновожіття, морський та річковий транспорт, безпека судноводіння, посадка на мілину, особа, що приймає рішення, набір корпусу судна, пошкодження, розлив нафти.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями. Ризик можливих жертв, величезні матеріальні втрати або грандіозні розливи нафтопродуктів під час аварій суден негативно відбиваються на сталому розвитку економіки морських держав, знижують безпеку на морі, несуть екологічну загрозу для морської дикої природи і рибних запасів.

Для зниження ризику морських перевезень у майбутньому необхідно розробити та вжити низку відповідних заходів. При цьому особливу увагу необхідно зосередити на заходах, спрямованих на зниження ризику розливу нафти з танкерів, що сіли на мілину, через драматичні, а іноді трагічні, наслідки таких подій для морських екосистем.

Для суттєвого зменшення, у кращому разі – запобігання, катастрофічним наслідкам, що можуть статися у разі зіткнення нафтового танкера з іншим судном або іншою статичною перешкодою фахівці пропонують застосовувати двосторонні корпуси. Однак, зниження можливої загрози катастрофічних зіткнень океанських суден, що характеризуються збільшеними розмірами і швидкостями, може досягатися і збільшенням відповідальності суден, що стикаються.

У цьому зв'язку важливо знати стан систем виявлення і моніторингу різноманітних систем сучасних суден. А тут є певні проблеми. По-перше, для виявлення і контролю різноманітних систем надається великий, часто надвеликий, обсяг контрольованої інформації. По-друге, хоча моніторинг силових установок і маневрених систем уже порівняно давно є стандартом, то контроль міцності корпусу суден ще розвинутий недостатньо. По-третє, у разі відмови критично важливих елементів судна сучасні системи моніторингу виробляють значну кількість сигналів тривоги. Але надлишок даних, що оброблюються у більшості моніторингових систем, часто видають помилкові сигнали тривоги. По-четверте, у разі одночасної відмови декількох критичних систем рекомендації з управління судном можуть бути помилковими або зовсім не можуть бути надані капітану судна або екіпажу.

Таким чином, великий обсяг контрольованої інформації, порівняно «жорсткі» алгоритми і зацикленість моніторингових систем на строго визначених елементах судна не дозволяють точно визначити фактично джерело несправності, ступінь ризику для судна і, відповідно, адекватно оцінювати ситуацію загалом.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В останні десятиліття серйозна увага приділяється аналізу морських аварій, особливо зіткненням суден, у зв'язку з високим рівнем матеріальних збитків, жертв і забруднення довкілля [1-5]. Так, у роботі [6] проведений аналіз ризику зіткнень за допомогою даних автоматичної ідентифікаційної системи (АІС) у Сінгапурській протоці. У роботі [7] за допомогою байєсівської мережі виявлені змінні, що впливають на аварійність. Моу та ін. запропонували динамічний метод аналізу ризику зіткнень у порту Роттердама [8].

Аварії з розливом нафти також постійно знаходяться у центрі уваги. У роботі [9] запропоновані критерії економічної ефективності для заходів із запобігання розливам нафти. У роботі [10] проаналізовано інциденти з розливом нафти у водах Португалії, у роботі [11] зроблено прогноз траєкторії розливу нафти у відкритому морі, а у роботі [12] проведений аналіз ризику забруднення при аваріях з розливом нафти.

Також велике значення для морських перевезень мають аварії з пожежами [13] і затопленнями [14-18].

Причинами вторинних аварій часто є зіткнення і посадки на мілину [19], які посідають друге-третє місце серед усіх видів морських аварій [20, 21]. У статті [22] запропонована процедура аналізу зіткнення суден і посадки на мілину, а у [23] надано детальний огляд аварій на мілині з точки зору управління ризиками. Можливості аналізу методом скінченних елементів для моделювання аварій під час зіткнення і посадки на мілину розглянуті у [24]. Про те, що людська помилка є ключовим фактором, що сприяє виникненню аварій під час посадки на мілину, виявлено у [25], а про роль людини та її втому у виникненні таких інцидентів ведеться у [26]. На кодифікації аварій під час посадки на мілину зосереджена увага у роботі [27].

На теперішній час достатньо глибоко оцінені механізми зниження ризику при посадці судна на мілину. Трирівнева ієрархічна СППР для опрацювання суден, що вийшли з-під контролю, розглядається у роботі [28], СППР для пошуку і порятунку – у [29], знанняорієнтована СППР для контролю ушкоджень на суднах – у [30], використання технології віртуальної реальності для контролю ушкоджень на суднах – у [31], СППР під час аварій, пов'язаних із затопленнями, – у [14, 15, 18], у т. ч. у портових зонах [32], й управління безпекою [33].

Таким чином, питання реагування систем підтримки прийняття рішень (СППР) на ранніх стадіях при посадці судна на мілину поки залишилися поза сферою активних досліджень.

Метою дослідження є розробка структури судової СППР та методу підтримки прийняття рішень для управління судном, яке знаходиться у деградованому стані, у важких умовах моря при посадці на мілину для оцінки наслідків такої події.

Мету пропонується досягати шляхом аналізу аварійних сигналів, проведення їхньої ієрархізації, створення відповідного графічного інтерфейсу та відображення необхідної інформації на борту судна на потрібному рівні для осіб, які приймають рішення (ОПР).

Для ефективного функціонування систем підтримки прийняття рішень береговими командними центрами (БКЦ) і центрами управління рухом суден (ЦУРС) здійснюється автоматизоване передавання даних про технічний стан бортових систем судна на берег.

Введення до складу бортових систем виявлення і моніторингу модулів управління технічним станом дозволяє розширити перелік систем, що контролюються, та оцінювати можливості їх допоміжних функцій.

Правильне подання й використання на судні інформації особами, які приймають рішення, на борту і на березі на кожному рівні в обраних критичних сценаріях, є найважливішим аспектом забезпечення запобігання катастрофічним наслідкам.

Виклад основного матеріалу дослідження. Наявні ієрархічні моделі, застосовані до суден, що сіли на мілину, характеризуються такими недоліками:

- а) неможливість інтуїтивного уявлення впливових факторів на альтернативи;
- б) складнощі врахування та ігнорування впливових чинників, що свідчить про недостатню гнучкість моделі;
- в) нездатність врахування різних невизначеностей у моделі.

В умовах нормальної експлуатації судна доступ до інформації про стан бортових систем надається тільки береговому офісу або агенту. У критичній ситуації ця інформація надходить також до зовнішніх ОПР, наприклад пошуково-рятувальної команди і берегових служб спеціалізованої підтримки.

Розширення функціональності такої системи позитивно відбивається на проведенні ретельнішого моніторингу стану судна з БКЦ і ЦУРС, якіснішій інтеграції ресурсів судна і берега і, нарешті, ефективній допомозі судну з боку берегових кризових команд у разі необхідності. Запропонований інструментарій підтримки прийняття рішень на березі має забезпечити поліпшену маршрутизацію суден у критичних районах на основі отриманих даних про стан корпусу, механізмів, маневреність та метеорологічну обстановку тощо.

Технічні характеристики підсистеми передавання інформації між судном і берегом мають бути настільки досконалими, щоб забезпечувати задані швидкісні і надійнісні вимоги щодо передавання даних про стан судна і бортових систем, одночасно забезпечуючи відсіювання несуттєвої інформації для роботи СППР. Виявлення такої несуттєвої інформації – це окрема, дуже відповідальна ділянка роботи, яка не розглядається у даній статті.

Найгіршим результатом критичної події для судна є неконтрольоване руйнування, затоплення або його посадка на мілину. Затонуле судно роками може бути джерелом витікання нафти, будучи постійною загрозою забруднення навколишнього середовища, про що наочно свідчить аварія судна Prestige.

Альтернативою неконтрольованого руйнування у критичній ситуації є контрольована посадка судна на мілину в захищених водах, що дозволить, як мінімум, значно зменшити негативні наслідки події, а як максимум, безпечно злити нафту.

Однак посадка судна на мілину сама по собі є ризикованим заходом із важко прогнозованими наслідками. І враховуючи, що можливості ОПР для оцінки наслідків такого рішення, є дуже обмеженими, необхідно запропонувати СППР для зменшення ризиків такого заходу. Відповідно, необхідні прості процедури та інструменти для аналізу наслідків посадки судна на мілину.

Системи моніторингу стану корпусу і вантажного комп'ютеру (loading computer) тощо є для СППР джерелами початкової інформації, наприклад спрощених чисельних моделей міцності балок корпусу. Обрані сценарії посадки на міліну певних типів суден дозволяють отримати параметричні формули для оцінки ушкоджень і сили контакту між судном і морським дном. В остаточну оцінку додається навантаження від нерухокої води, динамічне навантаження від хвиль і припливів, а також місцеві контактні сили від морського дна.

Окремі модулі СППР інтегруються в загальне сховище даних і загальний людино-машинний інтерфейс (ЛМІ), функціональні взаємозв'язки між якими показано на рис. 1.

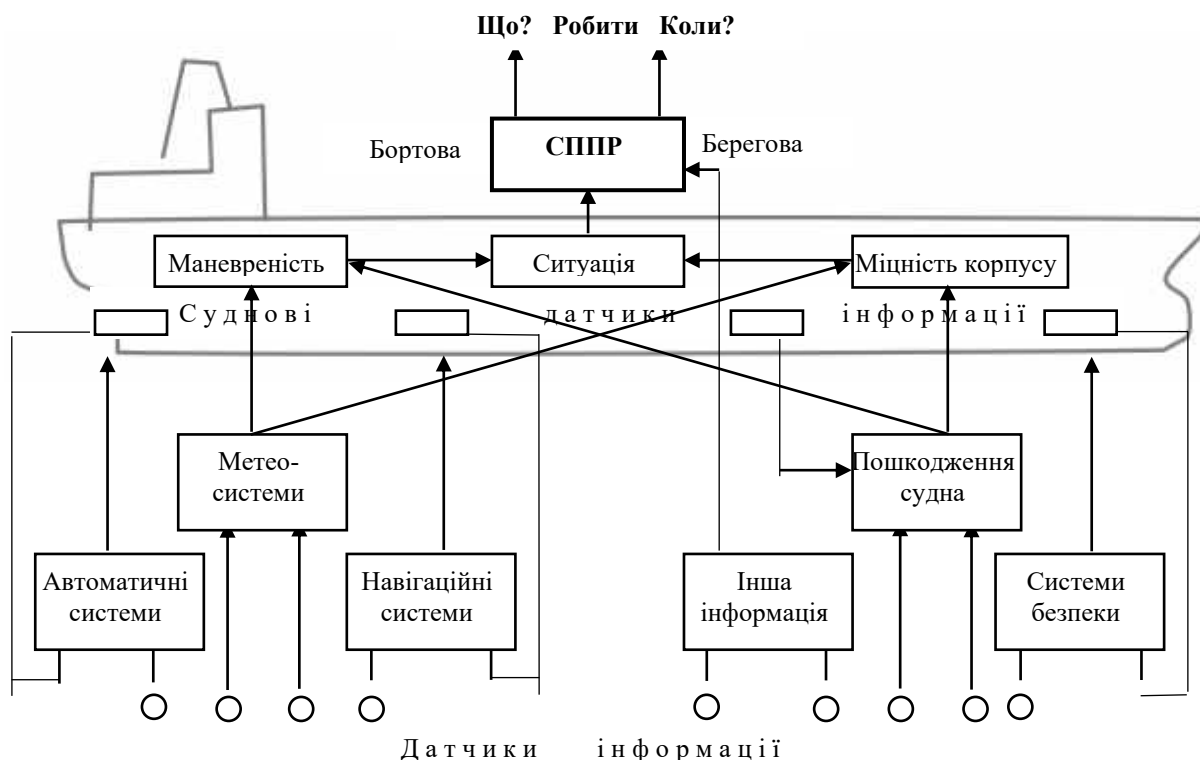


Рисунок 1 – Інформаційні потоки, що визначають функціональні взаємозв'язки СППР
(Джерело – розроблено автором)

Загальна архітектура СППР наведена на рис. 2. На цьому ж рисунку наведені шляхи передачі інформації між основними користувачами СППР:

- саме судно, в якому СППР інтегрована з підсистемами навігації (НС), безпеки (СБ) та автоматизації (АС);
- група управління аварійними ситуаціями берегового оператора;
- органи пошуку і рятування (ОПР);
- ЦУРС.

Крім зазначених категорій, користувачами СППР може бути береговий центр підтримки фахівців для проведення складніших аналізів (остійності, міцності та (або) аварійних ситуацій тощо).

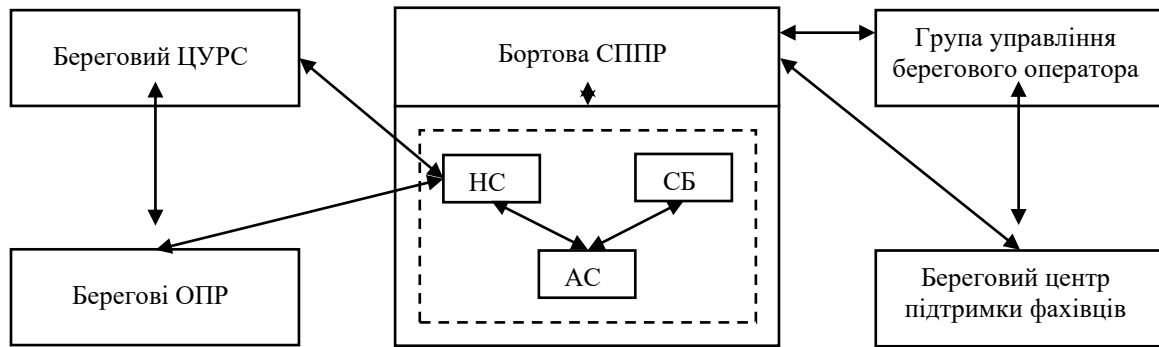


Рисунок 2 – Загальна архітектура системи підтримки прийняття рішень
(Джерело – розроблено автором)

Функціонування системи підтримки прийняття рішень для здійснення навмисної посадки на міліну пошкодженого судна відбувається так. Від різноманітних датчиків постійно надходить поточна інформація, яка обробляється вантажним комп'ютером судна у реальному масштабі часу. У разі виникнення аварійної ситуації проводиться моделювання можливої навмисної посадки судна на міліну, що є доповненням до вантажного комп'ютера судна. Цифрові моделі та статичні дані щодо судна зберігаються у фіксованому сховищі даних на борту судна і на березі.

У необхідному темпі оперативна інформація про рівень палива в цистернах, крен/диференціювання і стійкість до пошкоджень тощо надходить від відповідних датчиків, що передають інформацію до вантажного комп'ютера. Останній у фоновому режимі постійно проводить швидкі попередні аналізи ситуацій, що виникли. Паралельно поточні дані із заданою періодичністю передаються на берег для їх детального аналізу. Отримані результати й оцінки передаються на судно для оновлення інформації та оцінки результатів моделювання, виконаних вантажним комп'ютером, і вироблення рішення, адекватного ситуації, що склалася.

Функціонування СППР зручно подавати через сценарний підхід, який визначає взаємодію між найбільш важливими посадовими особами, до яких належать екіпаж, береговий офіс, пошуково-рятувальна команда і береговий центр підтримки фахівців. Даний підхід передбачає послідовність подій, реакцію на ці події, необхідну інформацію тощо для різних гіпотетичних подій на танкері або круїзному судні.

Сценарій 1.

1. У протоці Босфор у сильному тумані внаслідок тарану лівим бортом великим круїзним судном меншого судна стався збій у маневруванні. Необхідно визначити, чи збережеться стійкість круїзного судна, і прийняти рішення щодо необхідності збору та евакуації пасажирів і екіпажу та щодо безпечного доставлення судна в порт.

Первісна оцінка сценарію передбачає три альтернативні результати:

- 1) судно може дійти до безпечної гавані;
- 2) судно перебуває на плаву і чекає рятувальників для евакуації пасажирів та екіпажу;
- 3) покидання судна пасажирями та екіпажем.

Основні етапи розвитку сценарію:

- а) оцінка ситуації та вжиття негайних дій для її утримання та/або зміцнення;
- б) стабілізація судна в разі потрапляння води всередину;
- в) оцінка достатності остійності;
- г) перевірка технічного стану судна для оцінки його можливості дістатися до порту;
- д) оцінка пошкоджень і поточного стану пропульсивної та маневреної систем та їхнього впливу на маневреність судна;
- е) постійний контроль за ситуацією та оцінка швидкого прийняття альтернативних дій у разі різкої зміни обстановки;

ж) зв'язок зі службою порятунку та організація безпечної евакуації пасажирів, що дає змогу розглядати евакуацію як прийнятну ситуацію;

з) початок руху до порту;

і) посилення затоплення, що призводить до загострення ситуації;

к) планування посадки судна на міліну поблизу порту;

л) планування відтягування судна на мілководдя буксирами і посадка його там на міліну;

м) евакуація.

Сценарій 2.

2. Круїзне судно втрачає хід на виході з порту Одеси і на відносно невеликій швидкості сідає на піщану міліну. Приплив зворотний, але через годину він зміниться. Виникають проблеми під час запуску допоміжних двигунів. Необхідно визначити можливість безпечного транспортування судна в порт.

Основні етапи розвитку сценарію:

а) оцінка ситуації показує відсутність у поточний момент безпосередньої небезпеки судну, неможливість збереження його стійкості під час відпливу і необхідність оцінити ситуацію на березі;

б) труднощі із запуском допоміжних двигунів, накопичення води у відстійниках, що вимагає усунення проблеми;

в) оцінка ситуації показує безпеку відтягування судна протягом трьох годин до початку відливу;

г) моделювання різних сценаріїв при втраті потужності двигуна при звільненні судна у вузьких водах;

д) перевірка технічного стану судна для виявлення можливих несподіванок;

е) відрив судна і його транспортування в порт для перевірки систем і корпусу.

Сценарій 3.

3. Танкер перебуває в плаванні в північній частині Чорного моря поруч із портом і стикається з майже зануреним у воду плаваючим об'єктом. Виявлено пошкодження корпусу і затоплення деяких відсіків, пошкодження і заклинювання керма. Необхідно оцінити можливість належним чином керувати судном і безпечно досягнення порту.

Основні етапи розвитку сценарію:

а) наближення сильної негоди, і неможливість досягнення безпечного порту без загрози для структурної цілісності;

б) оцінка можливості переміщення судна у відкрите море або в безпечну гавань із нанесеним на карту місцем посадки на міліну;

в) вибір безпечної гавані та планування можливої посадки на міліну за неможливості обмеження подальшого проникнення води.

Складність посадки судна на міліну визначається неможливістю апріорної оцінки сили посадки, яка залежить від опору проникненню перешкоди в днище судна. У свою чергу, вм'ятина залежить від крену, тангажу і крену судна під час проходження над перешкодою. Основною проблемою, що виникає під час посадки судна на міліну, вважається глибоке дроблення і розрив днищевої обшивки, ребер жорсткості і балок на значній частині довжини судна, що вимагає застосування нелінійних методів скінченних елементів (НМСЕ). Але часові обмеження, які накладаються на розв'язання цієї задачі, та розмірність рівнянь не дозволяють отримати чисельне рішення у прийнятний час.

Тому у теперішній час основні зусилля зосереджені на чисельному аналізі суден, що сідають на міліну [34, 35]. Для оцінювання безпеки танкерів була розроблена комп'ютерна програма DAMAGE [37]. Дана програма реалізує спрощені методи прогнозування розсіювання пластичної енергії в конструктивних елементах судна у вигляді руйнування, розриву, складання панелей жорсткості тощо. У роботі запропонована теорія посадки судна на конічну скелю [38]. Описані у [34] еталонні випробування дозволили перевірити розроблені спрощені методи або вдосконалений НМСЕ.

Моделювання посадки, у т.ч. навмисної, аварійних суден посадки на міліну за допомогою СППР виконуватиметься протягом декількох секунд. Для досягнення таких показників розділено рух жорсткого тіла і опір проникненню донної конструкції. Для цього заздалегідь вводяться відомі співвідношення проникнення для типових конструкцій днища судна, викладені у [39]. На рис.3 наведена структура методу підтримки прийняття рішень для управління судном, яке знаходиться у деградованому стані, у важких умовах моря при посадці на міліну для оцінки наслідків у разі навмисного затоплення судна.

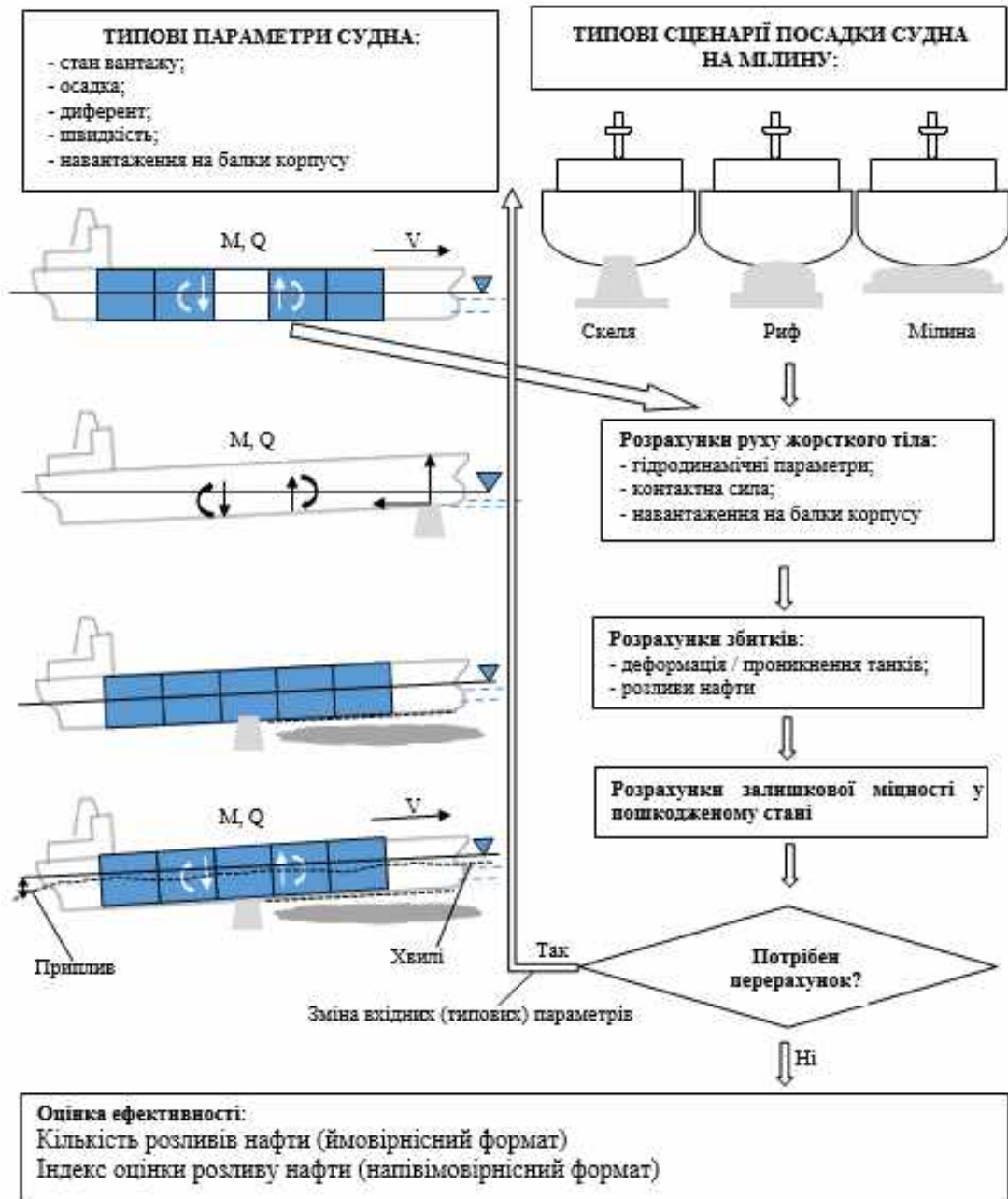


Рисунок 3 – Метод розрахунку безпеки здійснення навмисної посадки аварійних суден на міліну у районі порту за допомогою системи підтримки прийняття рішень
(Джерело – розроблено автором)

Метод працює таким чином. Після введення типових параметрів судна та базових сценаріїв посадки судна на міліну на першому етапі рух судна представляється у вигляді опису його як руху жорсткого тіла й навантаження. Зазвичай рух жорсткого тіла

представляється шістьма ступенями свободи – креном, тангажом, креном у вертикальній площині та спливанням, розгойдування, нищпоренням – у горизонтальній. Слабкість між даними характеристиками дозволяє проігнорувати зв'язок між ними під час аналізу посадки судна на мілину. Вертикальний рух визначається, виходячи з гідростатичних міркувань за допомогою вантажного комп'ютера, включно з силою контакту з ґрунтом.

Аналіз вертикального руху й остійності судна здійснюється за такими вихідними даними:

- гідродинамічні характеристики судна;
- розподіл легкої ваги судна;
- стан вантажу, включно зі станом бункерування і потенційно затоплених відсіків;
- початкова осадка і диферент, розраховані на основі попередньої інформації;
- вплив навантаження на балку корпусу (напруга), отримані від системи моніторингу або альтернативно оцінені на основі вищевказаної інформації.

Перехідними динамічними силами при навмисній посадці судна на мілину зазвичай нехтують через повільність процесу.

Ефект посадки на мілину представляється концентрованою силою, що відповідає миттєвому вдавненню морського дна в днище судна під час контакту в одній точці або серії комутаційних навантажень, якщо посадка на мілину відбувається на великій площі. У визначений момент часу розрахункова сила посадки на мілину вводиться в вантажний комп'ютер. Оновлені значення середньої осадки, диференту і кута крену в наступний момент часу надають необхідну інформацію для розрахунку наступного рівня вдавнення морського дна в днище, а отже, нової сили посадки на мілину (рис. 4).

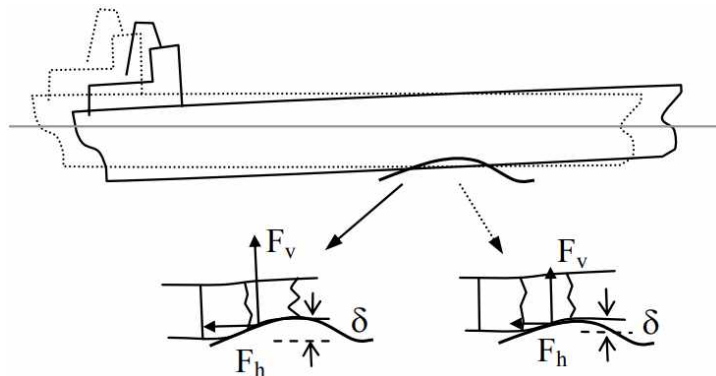


Рисунок 4 – Модель процесу посадки судна на мілину
(Джерело – розроблено автором)

Вантажний комп'ютер враховує будь-яке зниження міцності через пошкодження днища шляхом оцінки впливу навантаження на балку корпусу. Тобто оцінюється глобальний згинальний момент F_v і зсувна сила F_h , включно з впливом сили посадки на мілину з урахуванням наявного опору балок корпусу на зсув і вигин. У правилах класифікації суден наведені вимоги до опору балок корпусу в неушкодженому і пошкодженому стані, хоча зазвичай граничні характеристики дещо вищі за викладені у вимогах.

Основний вплив (приблизно 65%) на загальне розрахункове навантаження на балку корпусу судна здійснюють хвилі. Навмисне зняття з мілини характеризується відносно невеликими хвилювими навантаження порівняно з розрахунковими. За цієї причини при посадці на мілину допускається таке навантаження на нерухому воду, що значно перевищує розрахункові значення.

Графічне відображення граничного опору балки корпусу судна на вигин разом із поточним використанням у вигляді навантажень на нерухому воду і хвилювання наведено на рис.5. Пошкодження панелей днища викликає передбачуване зниження вантажопідйомності і представляється у вигляді спаду на кривій вантажопідйомності. Прогнозоване погіршення погоди призводить до прогнозованого збільшення хвилювих навантажень, а прогресуючий розвиток пошкоджень викликає зменшення місткості. Природно, що на навантаження на

нерухому воду також впливають зміни сили контакту, затоплення або витікання води з резервуарів тощо.

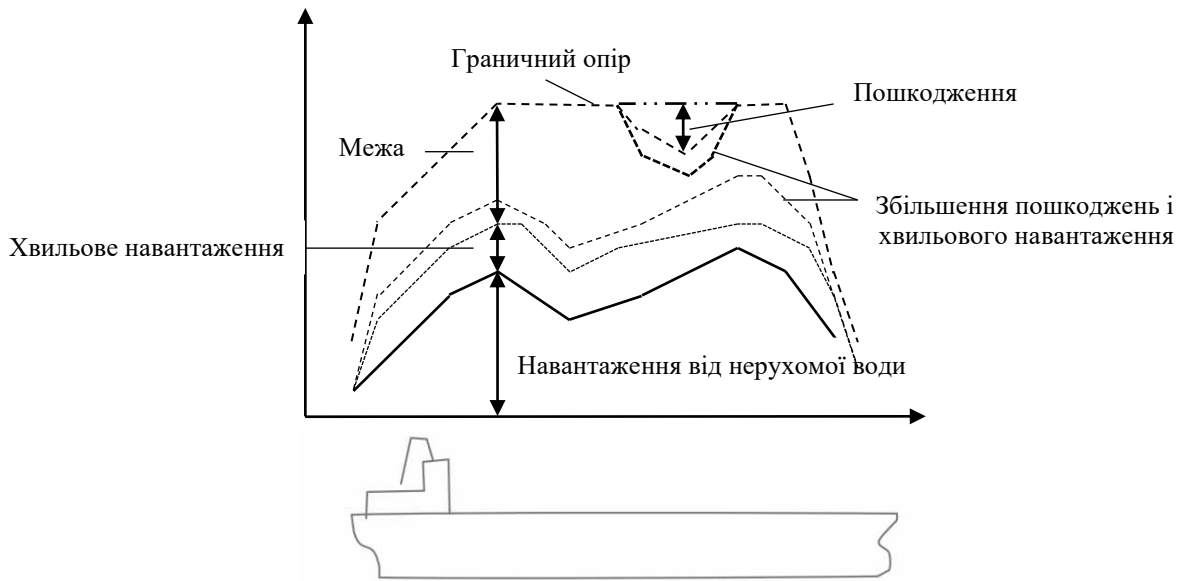


Рисунок 5 – Розподіл згинальних моментів балок корпусу
(Джерело – розроблено автором)

Розрахунок зусилля на ґрунті. Для розрахунку опору проникненню в конструкцію днища використовуються феноменологічні чисельні формули. Конструкція днища судна по всій вантажній площі характеризується сталістю, що дозволяє при моделюванні опору проникненню використовувати тільки частину судна, наприклад довжину танка. Тоді постійна вм'ятина на днищі розглядається як вдавнення перешкоди на обрану відстань у дно з подальшим рухом уздовж судна. Розглянута достатньо велика кількість різних рівнів вдавлювання днища дозволяє узагальнити дані про вертикальну і горизонтальну складові контактної сили у стійкому стані. Отримані значення опору для різних рівнів вдавлювання дозволяють із застосуванням методу інтерполяції визначити фактичний опір, розрахований під час руху жорсткого тіла. Перед колізієюною перегородкою, тобто для носової частини судна, необхідно проводити окремі розрахунки.

Кожна розмірна категорія типу судна представляється порівняно невеликою кількістю характерних груп, що гарантується однаковими конструктивними схемами побудови, визначеними правилами класифікації суден. Запропонований метод дозволяє визначити опір проникненню для кожної групи суден для різних типів і характеристик морського дна.

За результатами, отриманими у роботі [42], можна оцінити близькість теоретичних викладок ті експериментальних даних. Експеримент із моделлю подвійного дна, що зазнала бічного вдавнення перешкодою конічної форми, показало хорошу збіжність з чисельним моделюванням. А розбіжності пояснюються передчасним розривом зварного шва та/або геометричними неточностями.

Крім розрахунку пошкоджень під час посадки на мілину, даний метод також дозволяє проаналізувати потенційне руйнування корпусу судна, що перебуває на міліні, через вплив припливів і хвиль, а також можливе витікання вантажу та/або затоплення танків. Результати таких розрахунків можуть бути використані для оцінки сили, необхідної для відриву судна від ґрунту. Також наведені розрахунки дозволяють здійснити прогноз потенційного розвитку пошкоджень, тобто навантаження на балки корпусу та оцінка міцності, якщо судно залишиться на міліні, а саме інформацію про:

– ймовірні пошкодження днища судна внаслідок посадки на мілину;

- розрив вантажних танків;
- обсяг розливу вантажу;
- напругу в балках корпусу, яка потребує порівняння з граничним опором балок.

Графіки залежності контактної сили від зсуву, викликаного вдавненням, для танкера під час посадки судна на риф, представленого вузьким і гострим конусом (графіка) і тупим конусом (графік б), наведені на рис. 6 [39], дозволяють будувати спрощені криві вдавлювання для СППР під час моделювання руху балки жорсткого корпусу.

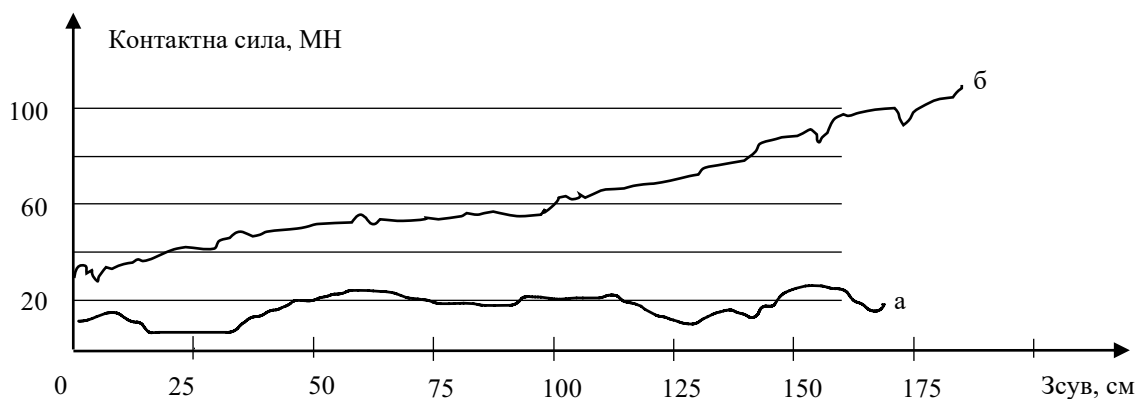


Рисунок 6 – Залежність сили від вдавлювання для вузького і тупого морського дна (Джерело – за даними [39])

Проведене моделювання руху танкера з різними швидкостями та різними висотами піднесення перешкод над осадкою танкера. Так, за результатами моделювання доведено, що при швидкості 4 м/с у момент посадки на міліну в разі піднесення перешкоди на 4 м над середньою осадкою судна при вузькому конусі ушкоджується більша частина балки корпусу, а при тупій перешкоді – лише перший танк.

Руйнування. Моделювання пошкоджень днища судна дозволяє визначити критичні деталі і зародження та поширення тріщин з подальшим прогнозуванням руйнування зовнішньої обшивки для однокорпусних танкерів і внутрішнього днища для двокорпусних танкерів. Найчастіше використовуваним параметром руйнування в моделі скінчених елементів (СЕ) є еквівалентна пластична деформація ε_{cr} . У разі перевищення значення критичної деформації елемент у моделі КЕ видаляється або зв'язки між елементами розриваються і моделюються руйнування.

Однак постійність параметра ε_{cr} обмежує моделювання пошкоджень. Крім того, практикою доведено, що ефективна деформація змінюється за різних типів напружень (для чистого розтягування, зсуву і їхніх комбінацій). Тобто результати моделювання для великого розкиду напружених станів є дещо грубими. Для подолання цих проблем можуть використовуватися інші моделі руйнування, наприклад моделі зростання пустот [42, 43]. Дана модель базується на введенні тривісних станів напружень σ_m/σ_{eq} , яке визначається через середнє напруження σ_m і еквівалентне напруження σ_{eq} . На жаль, у даних моделях в основному розглядають розтягування як основний тип напружень у тривісному режимі. Для охоплення всього діапазону тривісних напружень необхідно поєднувати різні моделі: модель руйнування, що використовує формулу Кроккрофта-Латама для нижнього діапазону тривісності $-1/3 < \sigma_m/\sigma_{eq} < 0$, і модель МакКлінтока для верхнього режиму $\sigma_m/\sigma_{eq} > 1/3$ [44]. Зона з переважанням зсуву $0 < \sigma_m/\sigma_{eq} < 1/3$ визначається експериментами і чисельним моделюванням.

Гарні результати прогнозування поведінки поширення тріщини та глобального деформаційного відгуку при поєднанні скінченно-елементних кодів і моделей руйнування досягаються лише за умови адаптації методу руйнування до розміру та форми сітки моделі. Це

пояснюється сильною залежністю моделі СЕ від розміру сітки, коли різні розміри комірок при моделюванні однакового завдання є причиною різних прогнозів напружень і деформацій. Отже, застосування у моделях руйнування виключно значень деформації або пошкодження елемента є основною причиною різних допусків на руйнування і, отже, до різної поведінки конструкції.

Для зменшення впливу розміру комірок впроваджено усереднення параметрів руйнування за певним об'ємом [45], що вимагає знання критичних значень тріщин в усередненому об'ємі. Заздалегідь визначені залежності величини пошкодження від розміру елемента дозволяють визначити параметри руйнування. Метод є дуже ефективним в задачах із відносно великими розмірами комірок, наприклад, при моделюванні посадки суден на мілину [46].

Вплив топології дна. Першорядну важливість при оцінці можливих руйнувань у місці посадки судна на мілину грають умови морського дна. А ці умови можуть варіюватися від м'якого дна (глина, пісок) до різких, жорстких перешкод, наприклад гострих вершин. У критичних ситуаціях важливе значення має дослідження характеристик морського дна в потенційних місцях посадки на мілину й оцінка їхньої функціональності. При наявності часу та можливостей необхідно прийняти певні заходи щодо підготовки морського дна для вирівнювання поверхні та видалення несприятливих перешкод. Таким чином, при моделюванні пошкоджень днища судна обов'язково враховуватимуть фактичні умови морського дна.

Крім вказаних вище факторів, що впливають на балку корпусу в місці посадки на мілину, необхідно також враховувати вплив умов навколишнього середовища. Приливні коливання, мілководдя, вітер і хвилі можуть значно змінювати диферент та/або осадку судна, що сіло на мілину, і, тим самим, призвести до надмірних зусиль на балці корпусу, навіть у захищених водах.

Рух у горизонтальній площині переважно являє собою поздовжнє уповільнення судна до повної зупинки. У разі сильного зміщення точка посадки на мілину від центру може статися деяке зачеплення. У разі недостатньо доброго пришвартування судна, що сіло на мілину, можливе розгойдування і/або зачеплення через вітер і хвилі.

СППР має бути здатною впоратися з більш складними сценаріями, коли, наприклад за недостатністю функціоналу системи аварійного реагування танкер може бути викинутий на берег у дуже несприятливому місці (нерівне морське дно, високий ступінь впливу довкілля тощо) або в місці з дуже обмеженою інформацією, і з цим випадком.

Висновки. Представлено розрахункову модель для оцінки пошкоджень днища і навантажень на балки корпусу судна під час посадки на мілину. Результати моделювання дозволяють передбачити наслідки з такою точністю, щоб із високим ступенем упевненості прийняти рішення про можливість безпечної посадки судна, що вийшло з ладу, на мілину (цілісність зберігається, розлив нафти відсутній або мінімальний). Крім надійності, розрахунки мають виконуватися протягом декількох секунд для швидкої оцінки альтернативних дій зі збереження цілісності судна. Роботу присвячено розробленню системи підтримки прийняття рішень для суден, що перебувають в аварійному стані, загалом.

ЛІТЕРАТУРА

1. Antão, P., Almeida, T., Jacinto, C., Guedes Soares, C., 2008. Causes of occupational accidents in the fishing sector in Portugal. *Safety Science* 46, 885–899.
2. Goerlandt, F., Kujala, P., 2014. On the reliability and validity of ship–ship collision risk analysis in light of different perspectives on risk. *Safety Science* 62, 348–365.
3. Karahalios, H., 2014. The contribution of risk management in ship management: The case of ship collision. *Safety Science* 63, 104–114.

4. Perera, L.P., Carvalho, J.P., Guedes Soares, C., 2012. Intelligent Ocean Navigation and Fuzzy-Bayesian Decision-Action Formulation. *Journal of Oceanic Engineering (IEEE)* 37, 204–219.
5. Wang, Y., Zhang, J., Chen, X., Chu, X., Yan, X., 2013. A spatial-temporal forensic analysis for inland-water ship collisions using AIS data. *Safety Science* 57, 187–202.
- 6 Qu, X., Meng, Q., Suyi, L., 2011. Ship collision risk assessment for the Singapore Strait. *Accid Anal Prev* 43, 2030–2036.
7. Hänninen, M., Kujala, P., 2012. Influences of variables on ship collision probability in a Bayesian belief network model. *Reliability Engineering & System Safety* 102, 27–40.
8. Mou, J.M., Tak, C.v.d., Ligteringen, H., 2010. Study on collision avoidance in busy waterways by using AIS data. *Ocean Engineering* 37, 483–490.
9. Vanem, E., Endresen, Ø., Skjong, R., 2008. Cost-effectiveness criteria for marine oil spill preventive measures. *Reliability Engineering & System Safety* 93, 1354–1368.
10. Gouveia, J.V., Guedes Soares, C., 2010. Oil Spill Incidents in Portuguese Waters, In: Guedes Soares, C., J. P. (Eds.), *Advanced Ship Design for Pollution Prevention* Taylor & Francis Group, London, pp. 217–223.
11. Sebastião, P., Guedes Soares, C., 2007. Uncertainty in predictions of oil spill trajectories in open sea. *Ocean Engineering* 34, 576–584.
12. Lee, M., Jung, J.Y., 2015. Pollution risk assessment of oil spill accidents in Garorim Bay of Korea. *Mar Pollut Bull* 100, 297–303.
13. Soner, O., Asan, U., Celik, M., 2015. Use of HFACS-FCM in fire prevention modelling on board ships. *Safety Science* 77, 25–41.
14. Jasionowski, A., 2011. Decision support for ship flooding crisis management. *Ocean Engineering* 38, 1568–1581.
15. Ölçer, A.İ., Majumder, J., 2006. A Case-based Decision Support System for Flooding Crises Onboard Ships. *Quality and Reliability Engineering International* 22, 59–78.
16. Santos, T.A., Guedes Soares, C., 2005. Monte Carlo simulation of damaged ship survivability. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part M: Journal of Engineering for the Maritime Environment* 219, 25–35.
17. Santos, T.A., Guedes Soares, C., 2009. Numerical assessment of factors affecting the survivability of damaged ro-ro ships in waves. *Ocean Engineering* 36, 797–809.
18. Varela, J., Rodrigues, J., Guedes Soares, C., 2014. On-board Decision Support System for Ship Flooding Emergency Response. *Procedia Computer Science* 29, 1688–1700.
19. Goerlandt, F., Montewka, J., 2015. A framework for risk analysis of maritime transportation systems: A case study for oil spill from tankers in a ship-ship collision. *Safety Science* 76, 42–66.
20. Yip, T.L., 2008. Port traffic risks – A study of accidents in Hong Kong waters. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review* 44, 921–931.
21. Zhang, D., Yan, X.P., Yang, Z.L., Wall, A., Wang, J., 2013. Incorporation of formal safety assessment and Bayesian network in navigational risk estimation of the Yangtze River. *Reliability Engineering & System Safety* 118, 93–105.
22. Pedersen, P.T., 2010. Review and application of ship collision and grounding analysis procedures. *Marine Structures* 23, 241–262..
23. Mazaheri, A., Montewka, J., Kujala, P., 2014. Modeling the risk of ship grounding—a literature review from a risk management perspective. *WMU Journal of Maritime Affairs* 13, 269–297.
24. Kitamura, O., 2002. FEM approach to the simulation of collision and grounding damage. *Marine Structures* 15, 403–428.
25. Uğurlu, Ö., Yıldırım, U., Başar, E., 2015. Analysis of grounding accidents caused by human error. *Journal of Marine Science & Technology* 23.
- van de Wiel, G., van Dorp, J.R., 2009. An oil outflow model for tanker collisions and groundings. *Annals of Operations Research* 187, 279–304.
26. Akhtar, M.J., Utne, I.B., 2014. Human fatigue's effect on the risk of maritime groundings – A Bayesian Network modeling approach. *Safety Science* 62, 427–440.

27. Graziano, A., Teixeira, A.P., Guedes Soares, C., 2015. Application of TRACER taxonomy for the codification of grounding and collision accidents, In: Guedes Soares, C., Santos, T.A. (Eds.), Maritime Technology and Engineering. Taylor & Francis Group, London, UK, pp. 215–226.
28. Wu, B., Yan, X., Wang, Y., Guedes Soares, C., 2016. Selection of maritime safety control options for NUC ships using a hybrid group decision-making approach. *Safety Science* 88, 108–122.
29. Abi-Zeid, I., Frost, J.R., 2005. SARPlan: A decision support system for Canadian Search and Rescue Operations. *European journal of operational research* 162, 630–653.
30. Calabrese, F., Corallo, A., Margherita, A., Zizzari, A.A., 2012. A knowledge-based decision support system for shipboard damage control. *Expert Systems with Applications* 39, 8204–8211.
31. Varela, J.M., Guedes Soares, C., 2007. A virtual environment for decision support in ship damage control. *IEEE Computer Graphics and Applications* 27, 58–69.
32. Mabrouki, C., Bentaleb, F., Mousrij, A., 2014. A decision support methodology for risk management within a port terminal. *Safety Science* 63, 124–132.
33. Akyuz, E., Celik, M., 2014. A hybrid decision-making approach to measure effectiveness of safety management system implementations on-board ships. *Safety Science*, 169–179.
34. Mansour, A. and Ertekin, R.C. (eds.), 2003, Proc. 15th Int. Ships and Offshore Structures Congress, ISSC, San Diego, USA, 2003.
35. Wang, G., Spencer, J. and Chen, Y., 2001, Assessment of Ship's performance in accidents, 2nd Int. Conf. on Collision and Grounding of Ships, Copenhagen, Denmark, July, 2001.
36. Pedersen, P.T., 1994, Ship Grounding and Hull-Girder Strength, *J. Marine Structures*, 7(1994)1-29.
37. Simonsen, B. and Wierzbicki, T., 1997, Tehoretical Manual on Grounding Damage of Ships, Vol III, Report No. 59, Joint MITIndustry Program on tanker Safety.
38. Simonsen, B., 1997, Mechanics of Ship Grounding, PhD Thesis, Dept. Naval Arch. And Ocean Eng., Technical University of Denmark.
39. Amdahl, J., Kavlie, D. and Johansen, A., 1995. Tanker Grounding resistance. Proceedings of the 6th PRADS Conf., 2.1072-2.1083, Seoul, Korea.
40. Ohtsubo, H. and Sumi, Y. (eds.), 2000, Proc. 14th Int. Ships and Offshore Structures Congress, ISSC, Japan, 2000.
41. Wang, G., Chen, Y., Zhang, H. and Peng, H., 2002, Longitudinal Strength of Ships with Accidental Damages, *J. Marine Structures*, 15, 2002.
42. McClintock, F., A., 1968, A criterion for ductile fracture by growth of holes, *Trans. ASME, J. Appl. Mech.*
43. Rice, J. and Tracey, D., 1969, On the ductile enlargement of voids in triaxial stress fields, *J Mechanics & Physics of Solids*, v 17, n 3, pp. 201-217..
44. Bao, Y., B., and Wierzbicki, T., 2004, On the fracture locus in the equivalent strain and stress triaxiality space, *International Journal of Mechanical Sciences*, Vol. 46, pp. 81-98.
45. Lee, Y., Wierzbicki, T. and Bao, Y., 2003. Necking, Fracture Initiation and Crack Propagation in Flat Tensile Specimens, MIT Impact and Crashworthiness Laboratory, Report no. 114..
46. Simonsen, B., C. and Törnqvist, R., 2004, Experimental and Numerical Modeling of Ductile Crack Propagation in Large-scale Shell Structures, *Marine Structures*, Vol. 17, pp. 1-27.

Khussein Y.

METHOD AND DECISION SUPPORT SYSTEM FOR THE INTENTIONAL EMERGENCY GROUNDING IN THE PORT LIMITS.

The aim of the study is to develop the structure of an onboard decision support system and a decision support method for managing a ship in a degraded state during high sea conditions when stranded, to assess the consequences of such an event. This goal is achieved by processing the initial data for selected scenarios and displaying the necessary information on board the ship for decision makers to assess the consequences of a deliberate grounding. The initial data of the method are the characteristic parameters of the basic types of vessels and typical grounding scenarios. The sources of

initial information are hull sensors and loading computer including on board sensors. Based on the selected grounding scenarios for certain types of vessels, parametric formulae can be derived to assess damage and contact forces between the vessel and the seabed, taking into account the load from still water, dynamic load from waves and tides, and local contact forces from the seabed. The decision support system integrates individual modules into a common data warehouse and a common human-machine interface. The most significant results are the development of the structure of the onboard decision support system and an appropriate method for managing a ship in a forced grounding, which allows decision makers to act effectively on board and ashore in selected critical scenarios. The significance of the obtained results lie in the development of a decision support method for controlling a ship in a degraded state when stranded, which is distinguished by the division of the grounding process into rigid body motion and resistance to penetration into the bottom structure, which is calculated on the basis of pre-established resistance dependencies, taking into account the degradation of the strength of the hull beams due to bottom damage and initial damage, thus allowing decisions to be made in real time and assessing the consequences of such an event (structural damages, water ingress or oil spillage). Thus, the studies have shown the effectiveness of the proposed approach for assessing ship control to limit sea loads so that hull damage does not spread to a critical level for the entire ship, and, in extreme cases, to assess the consequences of ship grounding.

Keywords: decision support system, navigation, ship, grounding, decision maker, ship framing, damage, oil spill.

УДК 629.5

doi.org/10.33298/2226-8553.2024.2.40.03**Сазін С.В., Матейко О.В.**

ОСОБЛИВОСТІ ІНЕРТИЗАЦІЇ ВАНТАЖНИХ ТАНКІВ СУДЕН-ГАЗОВОЗІВ ПІД ЧАС ТРАНСПОРТУВАННЯ ВОГНЕНЕБЕЗПЕЧНИХ РЕЧОВИН

Розглянуті особливості обробки вантажних танків суден-газовозів під час транспортування вогнебезпечних речовин. Визначено, що найбільш надійним способом запобігання пожежам та вибухам в вантажних танках є їх інертизація. Наведені способи інертизації вантажних танків суден-газовозів. Виконано аналіз основних технологічних операцій, що безпосередньо пов'язані з процесом транспортування вогнебезпечних речовин, а саме інертизації, дегазації, вакуумування. Надані діаграми для визначення вибухонебезпечних концентрацій суміші різних вантажів з киснем. Виконано аналіз основних особливостей наступних способів навантаження: навантаження із поверненням парів вантажу, навантаження без повернення парів вантажу, навантаження з іншого судна, навантаження хімічних продуктів. Визначено, що всі технологічні операції з приймання, перевезення та видачі скраплених газів як вантажу, що перевозяться суднами-газовозами повинні виконуватися з суворим виконанням умов, що забезпечують їх безпеку, а також з урахуванням вимог постачальників та замовників цих вантажів.

Ключові слова: вакуумування вантажних танків, дегазації вантажних танків, інертизація вантажних танків, інертний газ, морський транспорт, судна-газовози, транспортування зріджених газів.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями. Перевезення скрапленого газу суднами-газовозами є одним з розповсюджених способів транспортування енергоносіїв між континентами [1, 2]. Найбільш

крупними постачальниками скрапленого газу є Іран, Катар, Саудівська Аравія та Об'єднані арабські емірати. Морські та океанські шляхи поєднують ці країни з країнами Європи, Північної та Америки, а також Китаєм, Японією та Австралією [3, 4]. Під час транспортування скрапленого газу через його вогнюнебезпеку постійно стає проблема забезпечення умов, які попереджують можливість випадкових, технологічних, фізичних або будь-яких інших умов виникнення самозаймання, спалаху, або вибуху вантажу. Крім того, перевезення різних вантажів, зміна одного вантажу на інший, а також баластні переходи вимагають спеціальної підготовки вантажних танків для подальшої експлуатації. Одночасно з цим, технологічні операції з транспортування скраплених газів повинні забезпечувати екологічні показники суден-газовозів та їх енергетичних установок [5-9]. Забезпечення безпеки як перевезення скраплених газів, також здійснення баластних переходів суден-газовозів неможливо без виконання інертизації та дегазації вантажних танків. Перша операція передбачає процес ізолювання атмосфери в об'ємі, які піддається інертизації, від зіткнення з вогнєнебезпечною поверхнею або вибухонебезпечним вантажем. Мета інертизації – досягнення такої залишкової концентрації парів вантажу в танку, величина якої менше нижнього граничного значення, за яким відбувається займання суміші парів вантажу з повітрям. Друга операція (дегазація) ставить своєю метою зведення значень концентрацій усіх шкідливих домішок у повітрі до таких, що не перевищують гранично допустимих за санітарними нормами [10, 11].

Інертизація та дегазація вантажних танків суден-газовозів може бути забезпечена в різний спосіб, при цьому різні вантажі вимагають різних варіантів цих технологічних операцій. Процеси інертизації та дегазації пов'язані з екологічною небезпекою суден та їх впливом на довкілля. Проведення інертизації та дегазації вантажних танків в акваторіях морських портів створює шкідливий вплив на атмосферу, а з часом (в зв'язку з осіданням небезпечних продуктів, що утворюються під час інертизації та дегазації) також на морське та континентальне середовище. Це змушує до проведення цих процесів в найбільш короткий час та з мінімальними викидами шкідливих речовин [12, 13].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Кількість суден, що призначено для перевезення скрапленого газу зростає рік від року. Це пов'язано як зі збільшенням видобутку корисних копалин, також з щорічним підвищенням енергоспоживання усіма світовими країнами [14-16]. Транспортування зріджених газів (більшість з яких є вогнєнебезпечними речовинами) вимагає виконання послідовності технологічних операцій, що забезпечують завантаження подібних вантажів на борт суден-газовозів, безпечно їх збереження та підтримання їх характеристик під час морських та океанських переходів, а також вивантаження в порту призначення [17-19]. Перевезення скраплених газів передбачає окремі умови підготовки вантажних танків та обладнання до кожного з виду вантажу, підтримання окремих умов транспортування, а також очищення вантажних танків від залишків вантажу після його викачування на берегові приймальні комплекси.

Формулювання цілей статті. Ціллю статті є аналіз особливостей інертизації вантажних танків суден-газовозів під час перевезення вогнєнебезпечних речовин.

Виклад основного матеріалу. Забезпечення перевезення вогнєнебезпечних речовин суднами-газовозами неможливо без виконання спеціальних технологічних операцій з інертизації вантажних танків. При цьому, як інертний газ можуть використовуватися продукти згоряння палива, або газові компоненти окремих хімічних речовин. Інертний газ може містити складові, що викликають несподівані хімічні реакції з парами вантажу (в обмеженому просторі) [20, 21]. Вантажна система повинна бути обладнана таким чином, щоб проведення процесу інертизації було безпечною процедурою без утворення небезпечних «кишень» (об'ємів) газу. Крім того, вантажна система має бути обладнана технічними засобами для надійного берегового постачання. Порожні простори слід або інертизувати, або заповнити сухим повітрям – незалежно від вантажу, що перевозиться.

В інертному газі, що виробляється на суднах-газовозах, вміст кисню ніколи не повинен перевищувати 5 %. Необхідно забезпечити існування надійної системи тривожної сигналізації для своєчасного попередження про перевищення небезпечного рівня кисню; ця сигналізація має

бути постійно включена. Слід також постійно і безперервно вимірювати вміст кисню та пари вогнебезпечного вантажу у вогнебезпечних просторах, а також здійснювати контроль за діаграмою вибухонебезпечних концентрацій для кожного вантажу.

Під час визначення кількості кисню, який може утримуватися в інертному газі, що використовується для інертизації, вирішальними факторами є деякі характеристики вантажу. Основні правила щодо виробництва та використання інертного газу містяться в розділі 9 Кодекс ІМО для газозовів.

Перед черговим навантаженням вантажу необхідно проводити зачистку танків і вільних порожніх просторів (тобто виконувати заповнення їх газом, що має низький вміст кисню) – для забезпечення вибухобезпеки. Зачистку слід проводити до тих пір, поки вміст кисню в атмосфері танка не опуститься нижче за вогнебезпечну межу. Максимально допустимий вміст кисню в інертному газі визначається Правилами Прапору або його встановлює судновласник.

Послідовність і кількість операцій, вироблених під час підготовки танків, залежить від хімічної сумісності попереднього і нового вантажів, і навіть від величини допустимої концентрації попереднього вантажу у новому. Цю величину регламентує фрахтувальник або відправник вантажу. Це вимагає проведення технологічної підготовки за такою схемою: інертизація – дегазація – повторна інертизація – очищення. Дегазацію у цьому разі виконують з метою економії інертного газу.

Для підготовки танків можуть бути застосовані методи вакуумування у поєднанні з впуском інертного середовища, а також продування. Також можуть використовуватись комбінації цих методів.

Під час вакуумування необхідний контроль та підтримання основних показників вантажу та процесу завантаження. Число циклів – вакуумування та впуску газу (інертного середовища, повітря, нового вантажу), необхідних для досягнення необхідної кінцевої концентрації попереднього вантажу в новому, залежить від прийнятого ступеня розрідження.

Ступінь розрідження визначається наступним виразом (виходячи з умов забезпечення герметичності та міцності танків):

$$m = \frac{P_{\text{п}}}{P_{\text{к}}},$$

де $P_{\text{п}}$, $P_{\text{к}}$ – значення тиску на початку і в кінці процесів вакуумування або впуску інертного газу відповідно.

Необхідна кількість циклів Z визначають як:

$$Z = \frac{\ln C / C_{\text{п}}}{\ln m},$$

де $C_{\text{п}}$, C – початкова та поточна концентрації в танку попереднього вантажу відповідно;
 m – ступінь розрідження.

Як показують розрахунки, метод продування є більш ефективним щодо економії енерговитрат та необхідного часу. Однак під час використання цього методу витрата інертного середовища виявляється дещо вищою, ніж під час вакуумування. Тим не менш у цьому випадку, є можливість зменшити витрату інертного середовища, якщо здійснювати продування кількох танків, з'єднаних послідовно. Особливість такої схеми продування полягає в тому, що за умовою послідовного з'єднання перший по ходу продування танк відключають в момент досягнення в ньому необхідного значення концентрації попереднього вантажу. У ланцюг продування відповідно підключається наступний танк. Під час послідовного з'єднання танків подача інертного газу здійснюється одночасно у всі танки. Лише тільки в одному з танків досягається необхідне значення концентрації попереднього вантажу, подача інертного газу до

нього припиняється. Використання методу послідовного продування здатне привести до досягнення відчутних переваг за витратами часу та інертного середовища. За витратою пари нового вантажу цей метод практично не відрізняється від описаного вище методу вакуумування.

Припускаючи, що у танку відбувається миттєве перемішування залишків вантажу з продувним газом, можна визначити час, що необхідний для отримання в танку необхідної концентрації попереднього вантажу [22, 23]. Цей час з достатньою точністю розраховується за наступною наближеною формулою

$$t = \frac{1}{k} \ln \frac{C_1 - C_{\Pi}}{C_1 - C},$$

де t – необхідний час продування;

k – кратність обміну (під час вакуумування або продування);

C_1 – концентрація попереднього вантажу в інертному середовищі, що подається;

C_{Π} – початкова концентрація;

C – необхідна концентрація попереднього вантажу в танку.

Кратність обміну розраховують окремо для методу вакуумування та для методу продування.

Кратність обміну під час вакуумування визначають як

$$k_{\text{в}} = V_{\text{h}}/V_{\text{т}},$$

де V_{h} – об'ємна характеристика компресора;

$V_{\text{т}}$ – обсяг оброблюваного танка.

Кратність обміну під час продування знаходять за виразом

$$k_{\text{п}} = V_{\text{в}}/V_{\text{т}},$$

де $V_{\text{в}}$ – подача вентилятора.

Справжні значення цих величин можуть відрізнятися від розрахункових. Викликано це тим, що в різних танках можуть існувати різні форми газообміну – залежно від геометричної форми танка, відносного розташування його патрубків, що забезпечують потрапляння вантажу в танк та його вихід з танку. Також на форми газообміну впливають режими течії струменів і співвідношення густини продувного повітря та вантажу [24, 25].

Забороняється використовувати інертний газ відразу після проходження ним сепаратора, оскільки його точка роси на кілька градусів перевищуватиме температуру забортної води. У разі використання фреонові холодильної установки для охолодження інертного газу його температуру можна знизити до -55°C . Оскільки інертний газ проходить через осушувальну установку, меншою стає небезпека забивання вантажної системи льодом.

На рис. 1 наведено діаграму, призначену для розрахунку вибухонебезпечних концентрацій етилену (у суміші з киснем).

На діаграмі зміна складу суміші, пов'язана з додаванням повітря або інертного газу, представлена переходом вздовж прямих ліній до їхньої верхньої точки A (чисте повітря). У міру збільшення концентрації інертного газу необхідно опускатися лініями вниз до точки G на осі вмісту кисню. Заштрихована на діаграмі ділянка визначає значення концентрацій суміші, за якою вона стає вогнебезпечною. Іншими словами, лінії, що відповідають інертним сумішам, та розташовані праворуч від лінії $G-A$, проходять через вогнебезпечні умови під час газовипускної операції (під час змішуванні з повітрям). Площа, що розташована ліворуч від

лінії $G-A$ відповідає складу суміші, яка стає безпечною під час розрідження. безпосередньо лінія $G-A$ має назву лінії критичного розрідження.

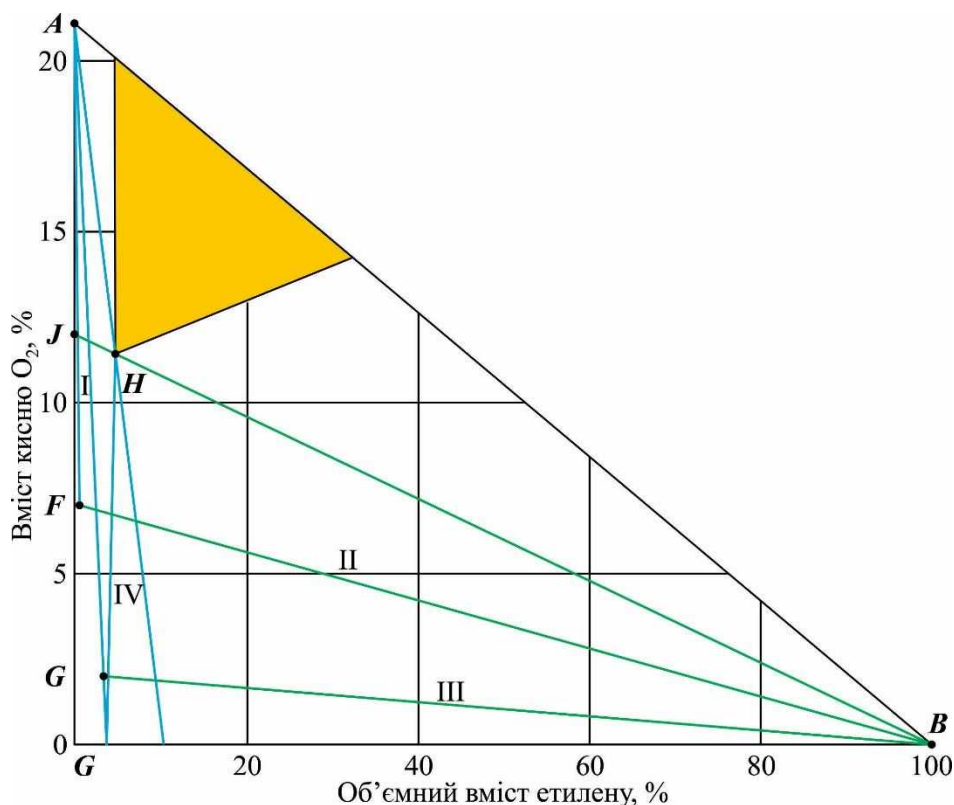


Рисунок 1 – Діаграма вибухонебезпечних концентрацій для етилену та кисню:

I – інертизація після атмосферного повітря; II – зачищення інертним газом;
III – зачищення після вивантаження; IV – очищення газу атмосферним повітрям

Найбільш розповсюдженою речовиною, що використовується для забезпечення процесу інертизації, є азот.

Якщо продукти, що транспортуються, вступають у реакцію з вуглекислим газом CO_2 або іншими компонентами звичайного інертного газу, або якщо вони вимагають дуже низького вмісту кисню, замість звичайного інертного газу використовують азот. Його отримують з берегових сховищ та завантажують через берегові з'єднання в колектор. Танки та трубопроводи необхідно інертизувати азотом з берега. На судах, що використовують ручну інертизацію із застосуванням азоту, існують системи, що передбачають підведення азоту з берега. Найбільш прийнятний азот для зачистки танків та інертизації після перевезення аміаку. Азот можна отримувати також за допомогою спеціальної установки, що розділяє повітря [26, 27].

Іноді під час перевезення аміаку інертизацію замінюють дегазацією, тобто продувають танки повітрям. Для забезпечення безпеки необхідно знати та враховувати значення граничної концентрації вибуху аміачно-повітряної суміші, швидкість наростання тиску вибуху та максимальну величину цього тиску. Слід також мати уявлення про можливість флегматизації аміачно-повітряних сумішей із застосуванням різних добавок. Ці особливості визначаються діаграмою, що наведена на рис. 2. Діаграма необхідна для визначення вибухонебезпечних концентрацій суміші вуглеводнів або аміаку з киснем та інертним середовищем під час дегазації танків на газовозах. На діаграмі позначено нижню і верхню межі вибуховості аміачно-повітряної суміші: 14 % і 26 % вмісту аміаку відповідно.

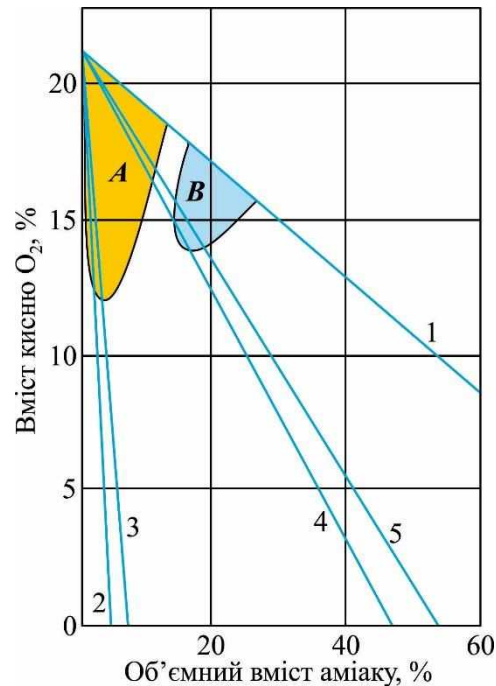


Рисунок 2 – Діаграма для визначення вибухонебезпечних концентрацій суміші аміаку з киснем:

A – область вибухонебезпечних концентрацій суміші з повітрям; *B* – область концентрацій аміачно-повітряної суміші

На діаграмі також зображено визначення вибухонебезпечних концентрацій кисню. Область *A* відповідає вибухонебезпечним значенням концентрацій суміші повітря з вуглеводнями, область *B* – таким самим значенням для аміачно-повітряної суміші. Лінія 1 відповідає процесу дегазації. Лінії 2 і 4 відповідають граничним випадкам дегазації без утворення вибухонебезпечних сумішей для вуглеводнів та аміаку відповідно. Точки перетину цих прямих з віссю абсцис вказують значення концентрацій пального газу в суміші з інертним середовищем, що не містить кисню.

Після перевезення аміаку інертизацію вантажних танків азотом необхідно проводити за вміст азоту близько 40...44 %. Після такої інертизації можна здійснювати продування танків повітрям. За умовою більшої концентрації палива в суміші з інертним середовищем процес дегазації (прямі 3 і 5 на рис. 2) буде вибухонебезпечним.

Під час отримання азоту, він надходить з берега рідинним трубопроводом – по верхній лінії. Це означає, що азот вводиться в танки через верхню лінію, що впорскує, і витісняє атмосферу, що знаходиться в танку. Витіснена атмосфера (з парами вантажу) через нижню лінію, що впорскується, відводиться на берег по зворотному паровому трубопроводу. Для надійної інертизації насоса та трубопроводу слід кілька разів відкрити та закрити розвантажувальний клапан.

Ще однією особливістю вантажних операцій на судах-газовозах є заходження танків. Заходження вантажних танків здійснюють безпосередньо перед прийомом вантажу, а також для підтримки зниженої температури у танках під час баластових переходів. Процес заходження дуже енергоємний, але його раціональне здійснення значно підвищує економічність перевезень зріджених газів морським шляхом.

Вантажні танки метановозів починають заходжувати приблизно за добу до початку вантажних операцій – для того, щоб запобігти температурному перенавантаженню конструкцій цих танків.

Заходження вантажних танків, які перебувають у постійній експлуатації, здійснюють тільки шляхом розпилення зрідженого газу всередині танка. На метановозах природний газ

надходить через спеціальні сопла (яких може бути 10...12), що розташовують у верхній частині вантажного танка. Протягом перших двох-трьох годин охолодження танка розпилення проводять з продуктивністю приблизно 1000 кг/год, потім продуктивність зростає у 5...6 разів. Після закінчення 14...18 год подібної операції температура вантажного танка сягає -115°C . За такого значення температури вже можна робити завантаження танків метаном.

Зріджений природний газ, що використовується для охолодження танків, під час баластових переходів зберігається в одному з танків. Газ, що випарувався під час заохолодження танків, надходить через систему газів, що виходять, в головну суднову електроенергетичну установку, в якій успішно спалюється. Кількість метану, що випаровується, наприклад, становить 0,18...0,22 % його загальної маси за добу.

Заохолодження танка метановоза, що заново вводиться в експлуатацію, починають з триразового провітрювання танка та його просушування.

Для просушування вантажних танків використовується сухе повітря, що подається всередину танка, з точкою роси -25°C . Танк можна вважати просušеним, коли повітря, що виходить з нього, матиме точку роси -20°C . Потім сухе повітря витісняють із танка інертним газом з точкою роси -45°C . Підготовка танка закінчується тоді, коли точка роси інертного газу, що виходить з танка, становить -40°C . Міжбар'єрний простір перед охолодженням зазвичай заповнюють інертним газом під надлишковим тиском, оскільки в міру зниження температури відбувається стиснення інертного газу.

Під час транспортування зріджених нафтових газів зазвичай застосовують одну з наступних трьох схем заохолодження танків:

Перша схема – заохолодження виконують аналогічно до процесу заохолодження танків на метановозах. Відмінність її від схеми, що застосовується для метановозів, полягає в тому, що газ, що випарувався під час охолодження танків, стискається знову в установці повторного зрідження.

Друга схема – заохолодження здійснюють, використовуючи берегові засоби. Зазвичай цю схему застосовують у тому випадку, коли невелика тривалість рейсу, оскільки зростає час стоянки у терміналу.

Третя схема є комбінацією перших двох. У цій ситуації під час підходу до берега на судні заохолоджують лише частину вантажних танків (наприклад, перший та третій). Під час навантаження в порту заохолоджують інші танки (наприклад, другий та четвертий). Така схема дозволяє приблизно вдвічі зменшити кількість зрідженого газу, що залишається в баластному рейсі для охолодження танків. Також ця схема призводить до зниження енерговитрат на повторне зрідження газу в суднових умовах.

Кількість скрапленого газу, що використовується для заохолодження вантажних танків, в яких транспортуються зріджені нафтові вантажі, під час баластових переходів регламентовано в межах 5 % від усього вантажу, що перевозиться (за масою).

Завантаження скраплених газів можна здійснювати різними способами, проте принципова схема обладнання та функціонування вантажної системи на газовозах однакова. На рис. 3 зображено принципову схему вантажної системи судна-газовоза.

Перед навантаженням необхідно визначити максимально допустиму межу заповнення вантажного танка. Виконати це слід для того, щоб запобігти переповненню. Переповнення може статися, наприклад, за умовою нагрівання танка до температури навколишнього середовища у разі аварії або пожежі, оскільки для зріджених газів характерні значні коефіцієнти термічного розширення [28].

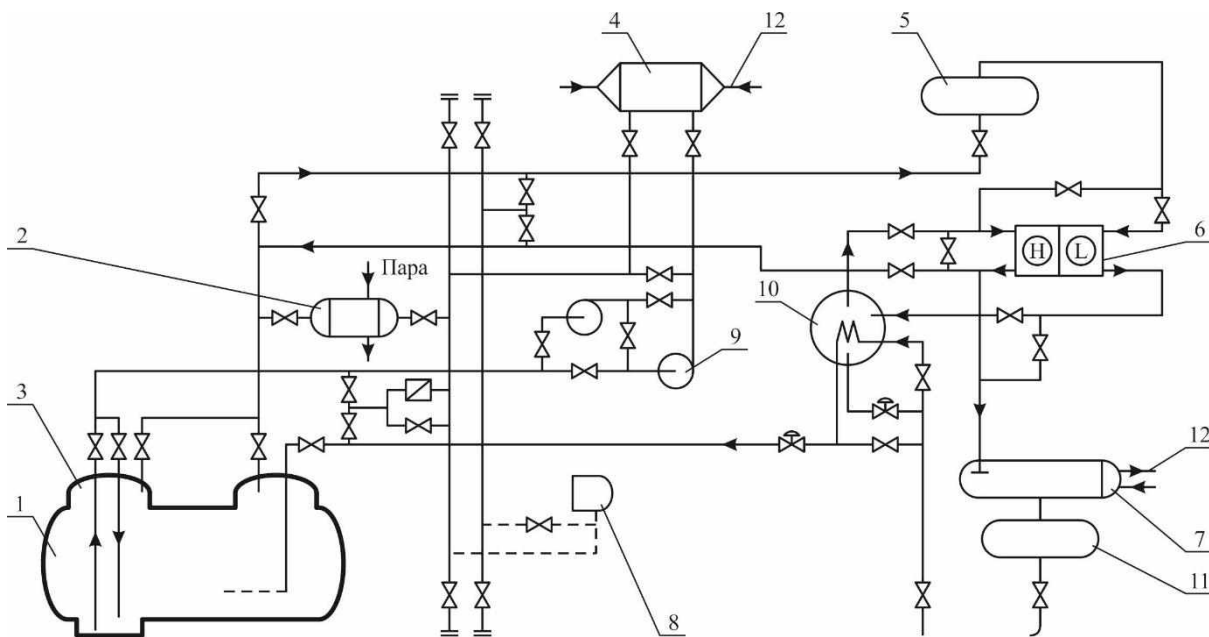


Рисунок 3 – Принципова схема вантажної системи судна-газовозу:

- 1 – вантажний танк; 2 – випарник; 3 – вантажний колектор; 4 – підігрівач;
 5 – сепаратор; 6 – компресор; 7 – конденсатор; 8 – випускний трубопровід;
 9 – бустерний насос; 10 – регенеративний теплообмінник; 11 – ресивер;
 12 – трубопровід заборотної води

Максимальний обсяг заповнення для будь-якого танка розраховують за формулою

$$V_r = 0,98V \frac{d_b}{d_l},$$

де V_r – граничний обсяг заповнення танка за вказаної температури;

V – загальний обсяг танка;

d_b – густина вантажу при зазначеній температурі;

d_l – густина вантажу при вантажних значеннях температури та тиску.

Для суден, що перевозять гази під тиском без зрідження, зазначена температура визначається як температура, що відповідає тиску пари вантажу за умовою встановленого тиску в запобіжних клапанах. На деяких судах запобіжні клапани встановлені на тиск, що досягає 18...19 бар. Тому температура, що відповідає такому тиску, є максимально допустимою експлуатаційною температурою. Вантажні танки розраховані і сконструйовані саме на такий тиск.

На рефрижераторних судах запобіжні клапани танків встановлюють на відкриття за верхнім значенням тиску парів вантажу при максимальній температурі, що досягається в циклі навантаження, перевезення та розвантаження [29, 30].

На багатьох судах можуть існувати два або три настановні значення тиску в запобіжних клапанах (наприклад, 4 бар 0,3 бар). При цьому зниження значення тиску відкриття досягають шляхом пересування навантажувальної пружини, встановленої над клапаном, що управляє. Нижчий настановний тиск у запобіжних клапанах дозволяє підвищити межі заповнення танка під час навантаження за низьких температур. Однак необхідно розуміти, що за таких умов підвищується ризик несподіваної втрати вантажу в разі порушення температури охолодження вантажу в акваторії гавані.

Рівень рідкого вантажу в танках вимірюють поплавковими індикаторами. Такий індикатор є поплавцем, приєднаним стрічкою до вимірювального пристрою. Покази рівня можна знімати як у місцевому, також і на дистанційному пульті. Поплавці пересуваються разом із рівнем рідини в танку. Якщо поплавок індикатор рівня виходить з ладу, перебуваючи в танку в самому нижньому положенні, при цьому відсутня можливість відремонтувати його негайно, рівень рідкого вантажу можна визначити приблизно за допомогою укріплених стаціонарних труб.

Різниця між температурою вхідного вантажу і температурою стінок танка повинна бути мінімальною, щоб не сприяти виникненню підвищеної термічної напруги під час навантаження. Тому танки мають бути охолоджені знизу. Нижнє охолодження танків досягається за рахунок введення рідкого вантажу через магістраль, що впорскує та нижню охолоджувальну лінію, за умовою малої та ретельно контрольованої швидкості її подачі. Якщо тиск досягає небажаних підвищених значень, пари вантажу слід повернути на берег або зробити їх скраплення, використовуючи суднові компресори.

Основні особливостей процесів завантаження залежать від способів навантаження та передбачають наступне.

У разі навантаження із поверненням пари вантажу. Цей спосіб навантаження, при якому відбувається повернення парів вантажу на термінал, зазвичай використовують у випадках, коли вантажі токсичні. Також його застосовують, якщо навантаження відбувається в інертизованих танках на судах, на яких не можуть працювати суднові системи зрідження, за умови, що випуск газів у навколишню атмосферу неприпустимий. Завантаження цим способом досить просте, якщо зворотна лінія функціонує як парова з надлишковим тиском. Азот, що використовується за цих умов з метою інертизації, або спалюють у газовому полум'ї берегової установки, або повертають у танки.

У разі навантаження без повернення парів вантажу. Під час використанні цього способу швидкість навантаження регулюється в залежності від продуктивності суднової установки для зрідження газів. Відповідно навантаження проводять за умовою дуже малої швидкості (особливо в тих випадках, коли вантажі надходять з високим тиском та високої температурі). Завантаження, яке виконується за цим способом, може також затримувати присутність неконденсованих газів (таких як повітря, інертний газ або азот). Виходячи з цього, щоб запобігти підвищенню тиску, перелічені гази видаляють із конденсатора. На більшості суден застосовують спеціальні діаграми, що враховують співвідношення між швидкістю навантаження та температурою вантажу. Подібні діаграми розраховані на більшість найбільш поширених вантажів.

У разі навантаження з іншого судна. Здійснення навантаження з іншого судна або вантажного танка будь-якого іншого транспортного засобу, без насосів і компресорів, вимагає застосування спеціальної технології. Вантаж повинен бути за температурою навколишнього середовища та, відповідно, за при підвищеним тиском. Тиск вантажу на іншому судні (або в вантажній ємності іншого транспортного засобу) має бути вищим, ніж тиск вантажу на судні. При цьому на початку навантаження вантаж буде переміщатися самопливом, під дією власного тиску. Однак тиск у вантажному танку судна, в який здійснюється навантаження, швидко збільшуватиметься. Тому потрібно використовувати зріджувальну (рефрижераторну) систему – для того, щоб зменшувати тиск вантажу, що надходить у судновий танк. Це сприятиме збереженню природного руху вантажу самопливом із судна-постачальника у вантажні танки судна. Пари вантажу, що виходять з вантажних танків, або зріджують і повертають у суднові вантажні танки, або направляють у «гарячому» вигляді до вантажних танків судна-постачальника, в яких підтримується високий тиск.

У разі навантаження хімічних продуктів. Навантаження хімічних продуктів зазвичай проводять за температурою довкілля, оскільки тиск, за яким знаходяться хімічні продукти, зазвичай нижче атмосферного. Зазвичай хімічні продукти завантажують у танки, які заповнені інертним газом чи азотом. Протягом рейсу виникає необхідність підвищення тиску усунення вакууму в танках (із застосуванням азоту). Охолодження хімічних продуктів можливе тільки за

умовою використання безпосередньо системи охолодження або системи зрідження. Для перевезення хімічних продуктів постачальники та перевізники розробляють додаткові вимоги.

На всіх рефрижераторних та напіврефрижераторних газозовозах у процесі навантаження необхідно ретельно контролювати температуру та тиск вантажу. На танкерах для перевезення скраплених нафтових газів контроль температури та тиску здійснюють шляхом зрідження википаючих парів газу та поверненням їх у вантажні танки. Можливі випадки, коли під час навантаження потрібно зменшувати температуру зрідженого газу-вантаж, щоб зменшити кількість вогнебезпечних газів, що виходять під час вивантаження. Виникає така ситуація внаслідок того, що температура вантажу у вантажних танках виявляється нижчою, ніж його температура у берегових танках. Залежно від типу вантажу та продуктивності рефрижераторної установки, а в деяких випадках і погодних умов, іноді для охолодження вантажу може знадобитися кілька днів.

Не рекомендується запускати компресор у важких погодних умовах (під час хвилювання моря або штормових умов), щоб запобігти потраплянню в компресор рідини. Така небезпека існує незалежно від того, що більшість рефрижераторних установок обладнано запобіжними клапанами на всмоктування. Вентилувати компресор необхідно протягом часу, який буде потрібно для зменшення тиску і температури, а також для випаровування рідини, що не стискається.

Якщо рефрижераторна установка працює безперервно, обслуговуючи більше одного вантажного танка, необхідно ретельно контролювати кількість конденсату, що повертається, щоб уникнути переповнення установки.

Під час завантаження необхідно здійснювати постійний контроль якості та надійності роботи вантажного обладнання; при цьому не слід допускати витоків в азотну або повітряну магістраль.

На газозовозах для перевезення зріджених природних газів може знадобитися індивідуальний візуальний контроль зовнішнього обладнання вантажного танка, якщо несправний температурний датчик, розташований усередині танка. Такі заходи контролю необхідно виконувати з дотриманням усіх правил безпеки під час входу до обмежених просторів, а також з урахуванням вимог щодо контролю атмосфери суміжних просторів.

Висновки. Як результат виконаних досліджень зробимо наступні висновки.

Транспортування вогнебезпечних вантажів суднами-газозовозами неможливо без виконання спеціальних технологічних операцій з підготовки суднових вантажних танків (до прийняття вантажу, а також після його вивантаження), зміни технічного стану вантажу (з газоподібного до рідкого під час завантаження та з рідкого до газоподібного під час вивантаження), безперервного контролю технічного стану вантажних танків під час морських та океанських переходів, а також постійного контролю стану вантажу.

Особливостями процесу транспортування скраплених вантажів є також необхідність виконання процесів інертизації та дегазації вантажних танків, а також контролю рівню кисню в вантажних танках.

Всі технологічні операції з приймання, перевезення та видачі скраплених газів як вантажу, що перевозяться суднами-газозовозами повинні виконуватися з суворим виконанням умов, що забезпечують їх безпеку, а також з урахуванням вимог постачальників та замовників цих вантажів.

ЛІТЕРАТУРА

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

2. Головань А.І. Концептуальна модель планування та оптимізації графіків технічного обслуговування вантажних суден. // Водний транспорт. Збірник наукових праць. – 2023. – Вип. 1(37). – С. 107-115. doi.org/10.33298/2226-8553.2023.1.37.12.
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. – Одеса : НУ «ОМА». – С. 5-16. doi: 10.31653/smf45.2022.5-16.
4. Бурмака И.А., Ворохобин И.И., Федоров Д.Б. Учет динамики судов при автоматическом выборе маневра расхождения уклонением одного судна и пассивным торможением другого // Судноводіння : науково-технічний збірник. – 2021. – Вип. 31. –С. 80-88. DOI: 10.31653/2306-5761.31.2021.80-88.
5. Sagin S.V., Sagin S.S., Madey V. Analysis of methods of managing the environmental safety of the navigation passage of ships of maritime transport // Technology Audit and Production Reserves. – 2023. – № 4 (3(72)). – P. 33–42. doi: https://doi.org/10.15587/2706-5448.2023.286039.
6. Sagin S.V., Kuropyatnyk O.A., Zablotskyi Yu.V. Gaichenia O.V. Supplying of Marine Diesel Engine Ecological Parameters // Nase More : International Journal of Maritime Science & Technology. – 2022.– Vol.69. – Iss.1. – P. 53-61. DOI 10.17818/NM/2022/1.7.
7. Sagin S., Kuropyatnyk O., Sagin A., Tkachenko I., Fomin O., Píšťek V., Kučera P. Ensuring the Environmental Friendliness of Drillships during Their Operation in Special Ecological Regions of Northern Europe. J. Mar. Sci. Eng. 2022, 10(9), 1331. https://doi.org/10.3390/jmse10091331.
8. Тимошук О.М., Боріна М.В. Дослідження методів підвищення екологічності суднових енергетичних установок у водному середовищі // Водний транспорт. Збірник наукових праць. – 2022. – Вип. 2(36). – С. 240-252. doi.org/10.33298/2226-8553.2022.2.36.21.
9. Куропятник А. А., Сагин С.В. Управление выпускными газами судовых дизелей для обеспечения экологических показателей // Автоматизация судовых технических средств : науч.-техн. сборник, 2018. – Вып. 24. – С. 72-80.
10. Sagin S.V., Karianskyi S., Sagin S.S., Volkov O., Zablotskyi Y., Fomin O., Píšťek V., Kučera P. Ensuring the safety of maritime transportation of drilling fluids by platform supply-class vessel // Applied Ocean Research, 2023. – Vol. 140. 103745. https://doi.org/10.1016/j.apor.2023.103745.
11. Sagin S.V., Sagin S.S., Fomin O., Gaichenia O., Zablotskyi Y., Píšťek V., Kučera P. Use of biofuels in marine diesel engines for sustainable and safe maritime transport // Renewable Energy. – 2024. – Vol. 224. – P. 120221. https://doi.org/10.1016/j.renene.2024.120221.
12. Burmaka I., Vorokhobin I., Melnyk O., Burmaka O., Sagin S. Method of Prompt Evasive Maneuver Selection to Alter Ship's Course or Speed // Transactions on Maritime Science. – 2022. – Vol. 11(1). – P. 1-9. https://doi.org/10.7225/toms.v11.n01.w01.
13. Даки О.А., Пліта Л.Л., Трофименко І.В., Федунів В.М. Особливості та вимоги щодо навігаційного забезпечення безпеки судноводіння на внутрішніх судноплавних шляхах // Водний транспорт. Збірник наукових праць. – 2022. – Вип. 2(36). – С. 184-194. doi.org/10.33298/2226-8553.2022.2.36.15.
14. Левченко О.В. Синтез варіантів дій судноводія у небезпечних ситуаціях з урахуванням часових та ресурсних обмежень у суднових СППР. // Водний транспорт: Збірник наукових праць. – 2021. – Вип. 3(34). – С. 89-98. doi.org/10.33298/2226-8553/2021.3.34.10.
15. Сагін С.В., Сагін С.С. Використання штучного інтелекту в ситуаціях надмірного зближення суден // Водний транспорт. Збірник наукових праць. – 2024. – Вип. 1(39). – С. 215-225. doi.org/10.33298/2226-8553.2024.1.39.22.
16. Гончарук І.П., Никифоров Ю.О., Кошарська Л.В., Головань А.І. Особливості впливу відновлюваної енергетики на ефективність і екологічність морського транспорту. // Водний транспорт. Збірник наукових праць. – 2023. – Вип. 2(38). – С. 73-80. doi.org/10.33298/2226-8553.2023.2.38.08.
17. Тимошук О.М., Даки О.А., Бойко О.А., Карадобрий Т.А. Аналітичний огляд адаптивних систем керування судном та шляхи їх побудови // Водний транспорт. Збірник наукових праць. – 2020. – Вип. 3(31). – С. 120-125. https://doi.org/10.33298/2226-8553/2020.3.31.13.

18. Тимошук О.М., Мельник О.В. Аналіз можливості використання маневру розходження зміною курсу // Водний транспорт. Збірник наукових праць. – 2023. – Вип. 1(37). – С. 96-102. doi.org/10.33298/2226-8553.2023.1.37.10.
19. Sagin S., Madey V., Sagin, A., Stoliaryk T., Fomin O., Kučera P. Ensuring Reliable and Safe Operation of Trunk Diesel Engines of Marine Transport Vessels. J. Mar. Sci. Eng. 2022, 10(10), 1373. https://doi.org/10.3390/jmse10101373.
20. Сагин С.В., Заблоцкий Ю.В., Перунов Р.В. Технология использования и результаты испытаний присадок к топливам для судовых дизелей // Проблемы техники: науч.-виробн. журнал. – 2012. – № 3. – Одесса: ОНМУ. – С. 84-103.
21. Sagin S.V. Determination of the optimal recovery time of the rheological characteristics of marine diesel engine lubricating oils // Materials of the International Conference “Process Management and Scientific Developments” (Birmingham, United Kingdom, January 16, 2020. Part 4). – P. 195-202. DOI. 10.34660/INF.2020.4.52991.
22. Поповский А.Ю., Сагин С.В. Комплексная оценка эксплуатационных характеристик смазочных углеводородных жидкостей // Автоматизация судовых технических средств : науч.-техн. сборник. – 2014. – Вып. 20. – С. 74-83.
23. Сагин 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.
24. Сагин С.В. Определение диапазона стратификации вязкости смазочного материала в трибологических системах судовых дизелей // Вісник Одеськ. нац. мор. ун-ту. – 2019. – Вип. 1(58). – С. 89-101.
25. Поповский А.Ю., Сагин С.В. Оценка эксплуатационных свойств смазочно-охлаждающих жидкостей судовых технических средств // Автоматизация судовых технических средств: науч.-техн. сборник. – 2016. – Вып. 22. – С. 66-74.
26. Сагин С.В. Зниження енергетичних втрат в прецизійних парах паливної апаратури суднових дизелів // Суднові енергетичні установки : наук.-техн. зб. – 2018. – Вип. 38. – С. 132-142.
27. Мацкевич Д.В., Сагин С.В., Ханмамедов С.А. Изменение реологических характеристик смазочных материалов в циркуляционной масляной системе в процессе эксплуатации среднеоборотного двигателя // Судовые энергетические установки : науч.-техн. сб. – 2010. – Вып. 25. – С. 109-118.
28. Дакі О.А., Якусевич Ю.Г., Тришин В.В., Дороф'єєва З.Я. Розроблення пропозицій щодо декомпозиції суднової холодильної установки та математичної моделі компресора. // Водний транспорт. Збірник наукових праць. – 2023. – Вип. 1(37). – С. 194-200. doi.org/10.33298/2226-8553.2023.1.37.22.
29. Дакі О.А., Якусевич Ю.Г., Колесник В.В., Тришин В.В. Методика обґрунтування моделі для аналізу роботи двоступінчастої суднової холодильної установки в нестаціонарних режимах. // Водний транспорт – 2023. – Вип. 1(37). – С. 188-193. doi.org/10.33298/2226-8553.2023.1.37.21.
30. Дакі О.А., Якусевич Ю.Г., Ліганенко В.В., Тришин В.В. Модель системи кондиціювання та охолодження повітря на сучасних нафтоналивних судах і газовозах. // Водний транспорт: Збірник наукових праць. – 2022. – Вип. 1(35). – С. 121-127. doi.org/10.33298/2226-8553.2022.1.35.15.

REFERENCES

1. Sagin S.V., Sagin S.S., Determination of the method of controlling the movement of marine transport vessels while ensuring their safe divergences // Water transport. – 2023. – № 2(38). – С. 187-198. doi.org/10.33298/2226-8553/2023.2.38.20.
2. Golovan A.I. Conceptual model of planning and optimization of cargo vessel maintenance schedules. // Water transport. – 2023. – № 1(37). – P. 107-115. doi.org/10.33298/2226-8553.2023.1.37.12.

3. Sagin S., Kuropyatnyk O., Tkachenko I. Ensuring the environmental friendliness of marine diesel engines of specialized ships // *Ship power plants*. – 2022. – Vol. 45. – P. 5-16. doi: 10.31653/smf45.2022.5-16.
4. Burmaka I., Vorokhobin I., Fedorov D. Account dynamics of ships at the automatic choice of manoeuvre of divergence by deviation of one ship and by the passive braking of the other // *Shipping & Navigation: Research journal*. – 2021. – Vol. 31. – P.80-88. doi.org/10.31653/2306-5761.31.2021.80-88.
5. Sagin S.V., Sagin S.S., Madey V. Analysis of methods of managing the environmental safety of the navigation passage of ships of maritime transport // *Technology Audit and Production Reserves*. – 2023. – № 4 (3(72)). – P. 33–42. doi: <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2023.286039>.
6. Sagin S.V., Kuropyatnyk O.A., Zablotskyi Yu.V. Gaichenia O.V. Supplying of Marine Diesel Engine Ecological Parameters // *Nase More : International Journal of Maritime Science & Technology*. – 2022.– Vol. 69. – Iss.1. – P. 53-61. DOI 10.17818/NM/2022/1.7.
7. Sagin S., Kuropyatnyk O., Sagin A., Tkachenko I., Fomin O., Píšťek V., Kučera P. Ensuring the Environmental Friendliness of Drillships during Their Operation in Special Ecological Regions of Northern Europe // *J. Mar. Sci. Eng.* – 2022. – Vol. 10(9). – P. 1331. <https://doi.org/10.3390/jmse10091331>.
8. Tymoshchuk O., Borina M. Research of methods of enhancing the environmental facility of ship power plants in the aquatic environment // *Water transport*. – 2022. – № 2(36). – P. 240-252. doi.org/10.33298/2226-8553.2022.2.36.21.
9. Kuropyatnyk O.O., Sagin S.V. Controlling the exhaust gases of marine diesel engines to ensure environmental performance // *Automation of ship technical facilities*. –2018. – № 24. – P. 72-80.
10. Sagin S.V., Karianskyi S., Sagin S.S., Volkov O., Zablotskyi Y., Fomin O., Píšťek V., Kučera P. Ensuring the safety of maritime transportation of drilling fluids by platform supply-class vessel // *Applied Ocean Research*, 2023. – Vol. 140. 103745. <https://doi.org/10.1016/j.apor.2023.103745>.
11. Sagin S.V., Sagin S.S., Fomin O., Gaichenia O., Zablotskyi Y., Píšťek V., Kučera P. Use of biofuels in marine diesel engines for sustainable and safe maritime transport // *Renewable Energy*. – 2024. – Vol. 224. – P. 120221. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2024.120221>.
12. Burmaka I., Vorokhobin I., Melnyk O., Burmaka O., Sagin S. Method of Prompt Evasive Manuever Selection to Alter Ship's Course or Speed // *Transactions on Maritime Science*. – 2022. – Vol. 11(1). – P. 1-9. <https://doi.org/10.7225/toms.v11.n01.w01>.
13. Daki O.A., Plita L.L., Trofymenko I.V., Fedunov V.M. Feature and requirements for navigational safety of navigation on inland waterways // *Water transport*. – 2022. – № 2(36). – P. 184-194. doi.org/10.33298/2226-8553.2022.2.36.15.
14. Levchenko O. Synthesis of vessels' options in dangerous situations taking into account time and resource restrictions in vessel DSS. // *Water transport*. – 2021. – № 3(34). – P. 89-98. doi.org/10.33298/2226-8553/2021.3.34.10.
15. Sagin S.S., Sagin S.V., Use of artificial intelligence in the situations of excessive vessel // *Water transport*. – 2024. – № 1(39). – P. 215-225. doi.org/10.33298/2226-8553.2024.1.39.22.
16. Honcharuk I.P., Nykyforov Yu.O., Kosharska L.B., Golovan A.I. Features of the influence of renewable energy on the efficiency and environmental safety of maritime transport. // *Water transport*. – 2023. – № 2(38). – P. 73-80. doi.org/10.33298/2226-8553.2023.2.38.08.
17. Tymoshchuk O., Daki O., Boyko O., Karadobriy T. Analytical Inspection of adaptive vessel control systems and ways of their construction // *Water Transport: Collection of scientific works*. – 2020. – № 3(31). – P. 120-125. doi.org/10.33298/2226-8553/2020.3.31.13.
18. Tymoshchuk O., Melnyk O. Analysis of the possibility of using the divergence maneuver by changing the course // *Water Transport: Collection of scientific works*. – 2023 – № 1(37). – P.96-102. doi.org/10.33298/2226-8553.2023.1.37.10.
19. Sagin S., Madey V., Sagin,A., Stoliaryk T., Fomin O., Kučera P. Ensuring Reliable and Safe Operation of Trunk Diesel Engines of Marine Transport Vessels // *J. Mar. Sci. Eng.* –2022. – Vol. 10(10). – P. 1373. <https://doi.org/10.3390/jmse10101373>.

20. Sagin S.V., Zablotsky Yu. V., Perunov R.V. Technology of use and test results of fuel additives for marine diesel engines // Problems of technical. – 2012. – Vol. 3. – P. 84-103.
21. Sagin S.V. Determination of the optimal recovery time of the rheological characteristics of marine diesel engine lubricating oils // Materials of the International Conference “Process Management and Scientific Developments” (Birmingham, United Kingdom, January 16, 2020. Part 4). – P. 195-202. DOI. 10.34660/INF.2020.4.52991.
22. Popovskii A.Y., Sagin S.V. Complex assessment of operational characteristics of lubricating hydrocarbon liquids // Automation of ship facilities. – 2014. – №20. – P. 74-83.
23. Sagin S.V. Increasing the reliability of precision pairs of marine diesel fuel equipment through the use of organic coatings // Herald of the Odessa National Maritime University. – 2018. – Vol. 4(57). – P. 109-120.
24. Sagin S.V. Determination of the range of lubricant viscosity stratification in tribological systems of marine diesel engines // Herald of the Odessa National Maritime University. – 2019. – Vol. 1(58). – P. 89-100.
25. Popovskii A.Y., Sagin S.V. Evaluation of operational properties of lubricating and cooling liquids of marine technical equipment // Automation of ship technical facilities. – 2016. – Vol. 22. – P. 66-74.
26. Sagin S.V. Reduction of energy losses in precision steam fuel equipment of marine diesel engines // Ship power plants. – 2018. – Vol. 38. – P. 132-142.
27. Matskevych D.V., Sagin S.V., Hanmamedov S.A. Changes in the rheological characteristics of lubricants in the circulating oil system during operation of a medium-speed engine // Ship power plants. – 2010. – Vol. 25. – P. 109-118.
28. Daki O.A., Yakusevych Yu.H., Tryshyn V.V., Dorofieieva Z.Ia. Development of proposals for the decomposition of the ship refrigeration unit and the compressor mathematical model. // Water transport. – 2023. – № 1(37). – P. 194-200. doi.org/10.33298/2226-8553.2023.1.37.22.
29. Daki O.A., Yakusevych Yu.H., Kolesnyk V.V., Tryshyn V.V. Methodology of model substantiation for analysis of operation of a two-stage ship refrigeration unit in non-stationary modes. // Water transport. – 2023. – № 1(37). – P. 188-193. doi.org/10.33298/2226-8553.2023.1.37.21.
30. Daki O.A., Yakusevych Yu.H., Lihanenko V.V., Tryshyn V.V. Model of air conditioning and cooling system on modern oil-filling ships and gas carriers. // Water transport. – 2022. – № 1(35). – P. 121-127. doi.org/10.33298/2226-8553.2022.1.35.15.

Sagin S.V., Mateiko O.V.

PECULIARITIES OF INERTIZATION OF CARGO TANKS OF GAS CARRIERS DURING TRANSPORTATION OF FLAMMABLE SUBSTANCES

The peculiarities of processing cargo tanks of gas carriers during the transportation of flammable substances are considered. It was determined that the most reliable way to prevent fires and explosions in cargo tanks is their inertization. Methods of inerting cargo tanks of gas carriers are given. The analysis of the main technological operations directly related to the process of transporting flammable substances, namely inerting, degassing, vacuuming, was performed. Charts are provided for determining explosive concentrations of mixtures of various cargoes with oxygen. An analysis of the main features of the following loading methods was performed: loading with return of cargo vapors, loading without return of cargo vapors, loading from another ship, loading of chemical products. It was determined that all technological operations for the reception, transportation and delivery of liquefied gases as cargo transported by gas carriers must be performed with strict compliance with the conditions that ensure their safety, as well as taking into account the requirements of suppliers and customers of these cargoes.

Key words: vacuuming of cargo tanks, degassing of cargo tanks, inertization of cargo tanks, inert gas, sea transport, gas carriers, transportation of liquefied gases.

Калініченко Є.В., Томчаковський Г.Г., Оберто Сантана Л.Е., Калініченко Г.Є.

ВПЛИВ ТЕХНОЛОГІЙ ВІРТУАЛЬНОЇ РЕАЛЬНОСТІ НА ЯКІСТЬ ТА ЕФЕКТИВНІСТЬ ПРОФЕСІЙНОЇ ПІДГОТОВКИ СУДНОВОДІЇВ

У цій статті розглядається актуальна проблема використання технологій віртуальної реальності (VR) у системі професійної підготовки судноводіїв. Метою дослідження є комплексний аналіз потенціалу і перспектив застосування VR у морській освіті для підвищення якості та ефективності навчального процесу. Актуальність теми зумовлена стрімким технологічним розвитком морської галузі та необхідністю модернізації системи підготовки кадрів відповідно до сучасних вимог. У роботі проаналізовано поточний стан системи освіти судноводіїв та виявлено дефіцит практико-орієнтованої складової навчання, що призводить до нестачі прикладних компетенцій у випускників. Розкрито специфіку та ключові можливості освітніх технологій VR, їх потенціал для вирішення наявних проблем якості професійної підготовки моряків. Зокрема, наголошено на здатності VR суттєво розширювати можливості для моделювання різноманітних професійних ситуацій і відпрацювання практичних навичок. Проаналізовано конкретний досвід впровадження VR у систему освіти судноводіїв. Результати досліджень демонструють підвищення мотивації, залученості учнів, якості та швидкості формування професійних компетенцій на 15-25% порівняно з традиційними методами. Відзначено позитивний вплив VR на розвиток когнітивних здібностей. Водночас виявлено низку бар'єрів на шляху масштабної інтеграції VR у морську освіту: значні початкові інвестиції, складність вбудовування в усталену освітню інфраструктуру, потенційні ризики для здоров'я користувачів. Наголошено на необхідності подальшої науково-практичної роботи для їх подолання. У статті окреслено перспективні напрями розвитку технологій VR у контексті оптимізації системи професійної освіти судноводіїв. Підкреслено важливість розширення спектра освітніх VR-модулів, створення комплексних середовищ імітації, реалізації гібридних систем навчання, що поєднують класичні методи та VR. Відзначено потребу в нарощуванні експериментальної бази вивчення ефективності VR. Загалом, проведене дослідження демонструє значний потенціал технологій віртуальної реальності для якісної модернізації професійної підготовки судноводіїв відповідно до вимог високотехнологічної морської галузі. Впровадження VR здатне суттєво оптимізувати освітній процес за умови виваженої інтеграції з традиційними формами навчання.

Ключові слова: *віртуальна реальність, морська освіта, професійна підготовка, судноводії, компетенції, практико-орієнтованість, імерсивні технології, інновації в освіті, тренажери, моделювання, комп'ютерні симуляції.*

Постановка проблеми. Сучасний етап розвитку морської галузі характеризується активною технологічною модернізацією світового флоту на основі впровадження цифрових та інформаційних технологій. Судна оснащуються високотехнологічними автоматизованими системами навігації та управління, комплексною автоматикою, що дають змогу значно підвищити ефективність і безпеку морських операцій. Згідно зі звітом огляду морського ринку праці [1], сучасні судна являють собою плаваючі інформаційні системи, насичені електронними датчиками, приладами, обчислювальними потужностями, програмними комплексами обробки інформації. При цьому частка автоматизації багатьох базових функцій і процесів на такому флоті становить уже понад 50% і продовжує наростати. Якісна зміна технологічного рівня морської діяльності викликає закономірну трансформацію структури затребуваних професійних компетенцій у фахівців галузі. Насамперед це стосується судноводійського складу, від

кваліфікації якого безпосередньо залежать показники безпеки та ефективності експлуатації флоту. Сучасні судна вимагають від судноводіїв не тільки традиційних навичок безпосереднього ручного управління, а й глибоких знань принципів роботи високотехнологічних інтегрованих систем, уміння ефективно використовувати інформацію від численних цифрових датчиків і приладів для ухвалення обґрунтованих рішень. Також на перший план виходять вимоги щодо підготовки в галузі цифрових та інформаційних технологій. Судноводіїв багато в чому виконує роль оператора складних автоматизованих комплексів. Від його здатності грамотно налаштувати їхню роботу, відстежувати показники і розпізнавати проблеми, ухвалювати рішення щодо коригування алгоритмів управління багато в чому залежить результативність і безпека рейсу. У зазначеному контексті володіння кадрами цифрових технологій є однією з найважливіших вимог для судноводіїв. Однак наявна система професійної підготовки цієї категорії фахівців є багато в чому успадкованою від епохи традиційних "аналогових" суден і не відповідає повною мірою сучасним завданням. Про це, зокрема, свідчить збереження домінуючої частки помилок через "людський фактор" у структурі причин морських аварій, незважаючи на активну автоматизацію процесів судноводіння. Під час підготовки кадрів не приділяється належної уваги відпрацюванню взаємодії з інтелектуальними інформаційно-керуючими комплексами на основі використання цифрових даних. Це зумовлює необхідність модернізації системи освітніх програм для судноводіїв відповідно до нового технологічного рівня галузі. При цьому має критично важливий характер питання практико-орієнтованості оновленої системи підготовки кадрів. Недостатність прикладних навичок, затребуваних для вирішення реальних професійних завдань на високотехнологічних суднах, може звести нанівець усі інші досягнення щодо теоретичної кваліфікації судноводіїв. Ключем до ефективного освітнього процесу в морській сфері є забезпечення гармонійного балансу академічної підготовки та розширених можливостей із моделювання виробничих операцій і позаштатних ситуацій з метою напрацювання і закріплення необхідних практичних навичок у студентів [2]. Саме цей аспект має стати одним із головних векторів модернізації системи освіти судноводіїв.

Мета даної роботи полягає в комплексному аналізі потенціалу і перспектив застосування технологій віртуальної реальності в системі професійної підготовки та підвищення кваліфікації морських фахівців, особливо судноводіїв. Розкриття цієї мети передбачає поетапне вирішення таких завдань: аналіз поточного стану системи освіти та основних дефіцитів у частині забезпечення відповідності кваліфікації випускників запитам сучасного морського флоту; дослідження специфіки та ключових можливостей освітніх технологій віртуальної реальності, потенціалу їх використання для вирішення наявних проблем якості професійної підготовки моряків; аналіз ефективності, переваг та обмежень впровадження VR у систему освіти судноводіїв на основі вивчення конкретного практичного досвіду; формування перспективних напрямів подальшого розвитку розглядуваних освітніх технологій у сфері підготовки кадрів морського транспорту. Методологічно під час дослідження застосовувалися методи аналізу науково-практичних публікацій з проблематики, порівняльного і системного аналізу.

Основна частина. Дефіцит практичних компетенцій і навичок у випускників за спеціальністю "судноводіння". Згідно з даними досліджень [3], у структурі причин морських аварій домінантною залишається частка помилок, пов'язаних із "людським фактором", яка не має тенденції до зниження впродовж останніх десяти років. Приблизно 2/3 із загального числа причин припадає безпосередньо на недоліки в роботі командного складу суден. Значна частина всіх аварій та інцидентів на морі була спричинена саме недостатнім рівнем практичних навичок і професійної підготовки судових екіпажів [4]. Безпосередньою причиною в переважній більшості випадків стають помилки вахтових помічників і навігаційної команди містка. Це може бути пов'язано як з дефектами теоретичного навчання, так і з недостатнім практичним досвідом дій у позаштатних небезпечних ситуаціях. Такі прогалини складаються ще на етапі навчання в профільних освітніх закладах через недосконалість застосовуваних педагогічних методик і технологій. Дослідження також вказують на системність проблеми нестачі прикладних компетенцій у молодих фахівців судноводійського профілю [5,6]. Фіксується різке

погіршення показників аварійності на судах у разі збільшення у складі екіпажів частки молодих вахтових помічників зі стажем менше 3-х років. При цьому найбільша кількість інцидентів припадає якраз на помилки, пов'язані з некваліфікованими діями з безпосереднього керування судном та оцінки навігаційної обстановки.

Для заповнення подібних прогалин судноплавним компаніям доводиться проводити додаткове навчання і тренування вже прийнятих на роботу судноводіїв, що спричиняє істотні фінансові та часові витрати, підвищує ризики на початковому етапі. При цьому навіть поглиблена перепідготовка не завжди призводить до належного результату, оскільки низка важливих практичних навичок набагато ефективніше відпрацьовується саме на початковому етапі професійної підготовки [8]. Дана обставина визначає високу значущість комплексного розв'язання окресленої проблеми недостатності практико-орієнтованого навчання судноводіїв на інституційному рівні.

Обмеження традиційних методів і технологій навчання з точки зору сучасних завдань. Традиційна модель професійної підготовки судноводіїв, як правило, базується на поєднанні теоретичних курсів і практики на реально діючому обладнанні або його фізичних макетах. Однак така система не здатна повною мірою забезпечити набуття всього спектра затребуваних галуззю прикладних навичок через фізичні обмеження об'єктів навчання, неможливість моделювання небезпечних режимів експлуатації обладнання, високу вартість використання реальних суден як навчальних полігонів і низку інших причин.

Найпоширенішою формою практичної підготовки судноводіїв є симулятори і стенди-тренажери навігаційного обладнання (рис.1). Однак навіть найсучасніші та високотехнологічні комплекси мають об'єктивні обмеження в плані реалістичності модельованих сценаріїв, відсутності повноцінної фізики процесів управління, складності адаптації під нові технічні засоби та умови [2].



Рисунок 1 – Навігаційний тренажер Transas NT – 5000 Pro, ОНМУ

Вдосконалення процесу практичної підготовки завдяки новим технологіям моделювання, що дають змогу на якісно іншому рівні забезпечувати набуття затребуваного набору прикладних навичок у судноводіїв, належить до пріоритетних завдань галузі в освітній сфері. Від ефективності його вирішення безпосередньо залежать показники аварійності на флоті та низка ключових техніко-економічних результатів морської діяльності.

Концепція використання технологій віртуальної реальності в освіті. Технології віртуальної реальності (VR) належать до перспективних інструментів програмного моделювання та візуалізації, що дають змогу за допомогою засобів обчислювальної техніки реконструювати 3D-моделі реального світу і занурювати користувача в їхній цифровий простір [10]. Вони являють собою комплекс апаратних (шоломи й окуляри VR, трекінгові системи,

контролери) і програмних (спеціальні графічні рушії) засобів (рис. 2), робота яких спрямована на імітацію фізичної присутності та взаємодії людини з віртуальним середовищем.



Рисунок 2 – VR обладнання та програмне забезпечення

Специфікою VR є високотехнологічна імітація фізичних впливів на органи чуття користувача за допомогою оптико-електронних пристроїв відображення, елементів тактильного і силового зворотного зв'язку, просторового позиціонування, а також акустичних ефектів. Це дає змогу створювати ілюзію занурення в альтернативну реальність на нейрофізіологічному рівні сприйняття, викликаючи у користувача максимально реалістичне відчуття власної присутності у віртуальному 3D-середовищі.

У питанні застосування технологій VR в освітній сфері вони володіють таким ключовим спектром можливостей:

- гнучке програмне моделювання практично необмеженого розмаїття умов професійної діяльності, навчальних завдань і ситуацій з різними сценаріями розвитку;
- деталізована 3D-візуалізація та наочне представлення складних, абстрактних або принципово неможливих для спостереження в умовах реального фізичного простору процесів і явищ;
- безпечне на індивідуальному рівні відпрацювання необхідної тактики дій та операційних навичок стосовно заданого професійного контексту, зокрема й в умовах модельованих небезпечних, екстремальних та аварійних ситуацій;
- формування глибокої емоційної, когнітивної та поведінкової залученості студентів у навчальний процес завдяки ефекту суб'єктивної присутності у віртуальному світі, що виникає на психофізіологічному рівні.

В контексті застосування у сфері професійної освіти, зокрема для підготовки судноводіїв, принциповою перевагою технологій VR є можливість багаторазово розширити практико-орієнтовану складову освітнього процесу. Це досягається завдяки створенню високореалістичних тривимірних імерсивних моделей ключових для цієї професії технічних об'єктів, середовищ і ситуацій, а також забезпеченню можливості відпрацювання широкого спектра практичних дій і операційних умінь того, хто навчається, в рамках таких VR-симуляцій. Такий підхід радикально відрізняється від традиційних методів підготовки, що базуються на використанні посібників, описах, макетах, де відсутній ефект реальної присутності.

Впровадження технологій віртуальної реальності в процес професійної підготовки судноводіїв за даними низки досліджень [5,6,11,12] чинить безпосередній виражений

позитивний вплив на цілий спектр найважливіших якісних і кількісних показників, що характеризують результативність освітнього процесу.



Рисунок 3 – Впровадження VR в процес професійної підготовки судноводіїв

Зокрема, зафіксовано поліпшення таких параметрів ефективності, як:

- Ступінь повноти і швидкість засвоєння теоретичних знань з досліджуваних тематик – приріст у середньому на 18-23%;
- Рівень сформованості необхідних практичних умінь і професійних навичок за підсумками навчання – на 15-20%;
- Сумарний час, необхідний для освоєння заданого набору базових компетенцій – скорочення показника в середньому на 8-12%;
- Рівень мотивації та пізнавальної активності студентів, залученості в процес виконання поставлених завдань навчання – зростання показника на 30-40%.

Також використання VR значно покращує мнемічні здібності під час опанування практичного матеріалу, запам'ятовування, структурування і подальше успішне відтворення в реальних професійних умовах теоретичних знань і навичок взаємодії з технічними системами та об'єктами, відпрацьованих до автоматизму в рамках віртуальних 3D симуляторів.

На думку низки фахівців [13,14], подібний позитивний ефект застосування VR визначається двома ключовими аспектами:

1. Технологічна можливість моделювання набагато різноманітніших умов і сценаріїв, ніж це доступно під час використання традиційних симуляторів на фізичних макетах.
2. Ефект суб'єктивної присутності користувача у віртуальному середовищі завдяки детальній імітації роботи органів чуття і підкріплення дій ефекторним зворотним зв'язком.

Комбінація цих двох факторів забезпечує значно масштабніші можливості для відпрацювання професійних навичок порівняно з класичними підходами. Загалом, аналіз впливу впровадження технологій VR на морську підготовку показує їхній високий потенціал як інструменту для якісної оптимізації професійної освіти судноводіїв за порівняно невисокого рівня необхідних витрат на етапі експлуатації.

Передові розробки компанії KILO SOLUTIONS у сфері інноваційних рішень для морської освіти. KILO SOLUTIONS є технологічним лідером і новатором у сфері створення сучасних рішень для професійної підготовки та підвищення кваліфікації кадрів морської галузі. Компанія спеціалізується на впровадженні в галузеву систему освіти перспективних цифрових інструментів і платформ на основі технологій віртуальної (VR) і доповненої реальності (AR). Їхня концептуальна відмінність і перевага перед традиційними рішеннями полягає в

принциповому розширенні можливостей для практико-орієнтованої складової освітнього процесу.

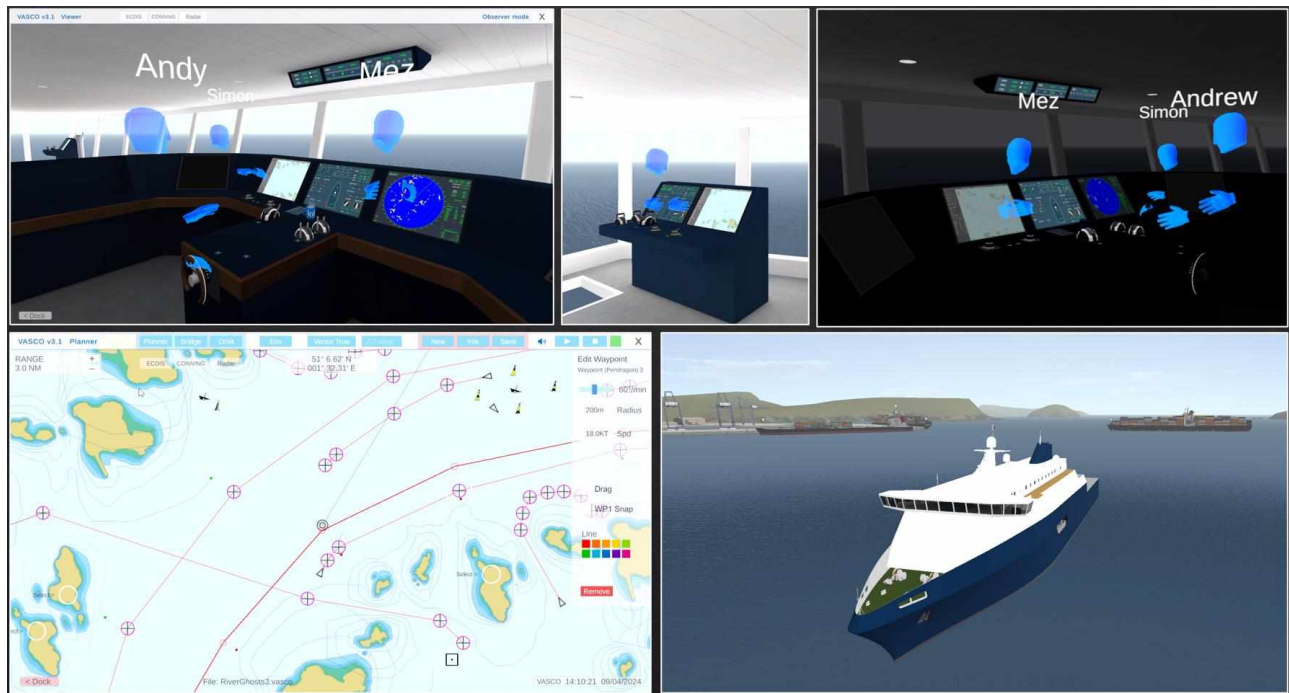


Рисунок 4 – Симуляція навігаційного містка та сценаріїв Kilo Solutions

Це досягається за рахунок створення високотехнологічних цифрових 3D імітаторів реальних виробничих умов, інфраструктурних об'єктів і технологічних процесів морської діяльності. Тим самим технології моделювання KILO SOLUTIONS дають змогу ефективно розв'язувати одну з ключових системних проблем галузі – дефіцит практичних навичок та їхню недостатню відповідність актуальним вимогам роботодавців у випускників профільних навчальних закладів.

Ядром пропозиції KILO SOLUTIONS є інноваційна розробка в галузі морських тренажерних технологій – програмно-апаратний комплекс віртуальної реальності VASCO. Його унікальність полягає в тому, що це – перша у світі система, що дає змогу проводити повноцінний імерсивний тренінг судноводіїв і навігаційних команд у режимі колективної взаємодії всередині єдиного високореалістичного 3D-простору містка судна, з використанням шоломів віртуальної реальності без прив'язки до потужних стаціонарних обчислювальних комплексів. Тобто рішення поєднує в собі мобільність, відносну простоту розгортання на будь-яких майданчиках і найвищий рівень візуалізації та імерсивності навчального середовища. Ці якості відкривають принципово нові горизонти і розширюють масштаб можливостей для практичної VR-підготовки морських кадрів щодо моделювання більшої різноманітності потенційних виробничих ситуацій порівняно з класичними технічними рішеннями, підвищення доступності тренінгів, зниження їхньої вартості.

Апаратно-програмний комплекс VASCO містить у собі низку ключових елементів:

- Серверне програмне забезпечення, що встановлюється на потужний персональний комп'ютер або виділений сервер, яке виконує високопродуктивне опрацювання графічних даних із моделювання VR-середовища, забезпечує його реалістичну візуалізацію та взаємодію з користувачами;
- Клієнтські додатки для шоломів або окулярів віртуальної реальності, призначені для запуску на автономних VR пристроях;
- Бездротові портативні роутери для оперативного розгортання локальної бездротової мережі та підключення до сервера Vasco мобільних клієнтських VR пристроїв у будь-якій

точці;

– Спеціалізований клієнтський застосунок із можливістю під'єднання до сервера через мережу Інтернет, призначений для налаштування і контролю VR тренувальних сценаріїв, управління їхніми параметрами в режимі реального часу (наприклад, зміни погодних умов), а також для оцінювання дій студентів.

Бібліотека типових сценаріїв тренувальних завдань і можливість створення нових користувальницьких кейсів моделювання різноманітних навігаційних і штатних/нештатних ситуацій, пов'язаних з керуванням судном.

Під час процесу підготовки на базі комплексу VASCO студенти за допомогою шоломів віртуальної реальності можуть опинитися всередині високореалістичного імітованого 3D-середовища містка судна, зайняти різні ролі – судноводія, штурмана, рульового і т.д. При цьому забезпечується повноцінна взаємодія з усім спектром судових навігаційних систем – радіолокаційних, електронних картографічних, автоматизованих інформаційних і маніпуляційних. З точки зору того, хто навчається, створюється ілюзія реальної фізичної присутності на робочому місці. Можливість гнучкої оперативної зміни сценарних умов тренування з боку інструктора дає змогу моделювати різні штатні та позаштатні ситуації, пов'язані з управлінням судном, оцінкою навігаційного становища та прийняттям відповідних рішень. Крім технічних і функціональних характеристик рішення VASCO, важлива перевага цього комплексу полягає у відносно невисоких витратах на реалізацію, особливо в масштабному вираженні за умови зростаючих обсягів підготовки. Вартість типового комплекту обладнання для тренувальної групи до 6 осіб становить близько 7,5 тис. фунтів стерлінгів у перерахунку або близько 10 тис. доларів США. При цьому один комплект здатний обслуговувати набагато більшу кількість учнів за одиницю часу через компактність і мобільність порівняно зі стаціонарними рішеннями. Також вартість масштабування системи при збільшенні кількості учнів є істотно меншою, що загалом гарантує сприятливу економіку впровадження для освітніх установ.

Аналітичні дослідження [15] прогнозують значне зростання сфери VR рішень найближчими роками, з 41% середньорічним темпом у період із 2023 до 2031 року, що свідчить про великий потенціал цієї технології для подальшого розвитку та впровадження в освітній сегмент. З точки зору оцінки ефективності впливу використання тренажерного VR-комплексу VASCO на результати навчального процесу, було проведено низку порівняльних досліджень за участю фокус-груп студентів, які проходили підготовку як на базі цього рішення, так і із застосуванням стандартних методик. У результаті було зафіксовано підвищення рівня сформованості професійних компетенцій і навичок за підсумками навчання на VR платформі по відношенню до контрольної групи на величину близько 26%. Також більш ніж на 40% був зареєстрований приріст показників впевненості та готовності моряків, які пройшли підготовку на VASCO, до практичної діяльності. Загалом це свідчить про ефективність цього рішення для формування необхідного комплексу знань і вмінь на якіснішому рівні. За результатами опитувань, студенти також високо оцінили ступінь реалістичності та імерсивності тренувальних сценаріїв на VASCO, що є додатковою перевагою.

За допомогою дистанційних рішень KILO SOLUTIONS вирішує ще одну з ключових проблем традиційного підходу до підвищення кваліфікації на морському флоті – складність логістичної організації освітнього процесу для моряків, які працюють, через їхню територіальну розосередженість, високу мобільність та завантаженість. Це веде до нерегулярності та переривчастості процесу навчання, нестачі часових ресурсів у слухачів для повноцінного освоєння матеріалу. Використання онлайн-формату з можливістю гнучкого планування занять у зручний для себе час дає змогу вирішити цю проблему. Також активно застосовуються такі технології інтерактивного навчання як вебінари, онлайн-тренінги та відеоконференції.

На даний час KILO SOLUTIONS вже має успішний досвід впровадження своїх розробок, зокрема флагманського проєкту VASCO, у низці освітніх установ і великих судноплавних компаній. Результати апробації підтверджують високу ефективність пропонованих рішень для

оптимізації процесу підготовки та підвищення кваліфікації морських кадрів. Це створює передумови для подальшого масштабного поширення передового досвіду та напрацювань компанії в глобальній галузі морського флоту.

Оцінка фактичної результативності. Питання оцінювання результативності та ефективності впровадження різноманітних педагогічних технологій, у тому числі заснованих на використанні VR, у сучасній системі освіти є масштабним і комплексним завданням. Його розв'язання необхідно розпочинати з визначення ключових показників та індикаторів, які найповніше та найоб'єктивніше характеризують якісні та кількісні зміни в освітньому процесі та його результатах під час упровадження тих чи інших інноваційних методик та інструментів.

При цьому, з огляду на різноманітність і складність чинників, що потенційно впливають на кінцеву ефективність застосування технологій VR, найнадійнішим підходом видається реалізація педагогічних експериментів порівняльного типу – тобто зіставлення динаміки обраних контрольних показників для двох груп студентів. Де одна проходить курс із використанням методик і засобів VR, а друга – за традиційною освітньою програмою і методиками (контрольна). Такий підхід, зокрема, був реалізований на прикладі оцінки ефективності впровадження практичного курсу з відпрацюванням навичок проведення спеціалізованих випробувань в рамках підготовки судноводіїв [16]. Як базовий кількісний критерій результативності навчання використовували рівень сформованості відповідного набору професійних компетенцій за підсумками курсу, оцінюваний за статистичними показниками успішності виконання студентами завдань на підсумковому міжгруповому тестуванні.

Для порівняльного аналізу показників ефективності також застосовували цілу низку якісних індикаторів, які ґрунтуються на методиці анкетування учнів, що включають оцінку за такими параметрами: відчуття імерсивності; практичної значущості завдань; мотивації до навчання; інтересу до матеріалу, що вивчається; загального враження від занять та ін. Порівняння відповідей в експериментальній і контрольній групах також давало наочне уявлення про диференціальний ефект від впровадження VR.

В окремий клас індикаторів ефективності виокремлювали параметри, пов'язані з оцінкою впливу на когнітивно-мнемічні функції та механізми учнів. У низці робіт було показано специфічну роль технологій VR у поліпшенні показників запам'ятовування і подальшого відтворення в практичній діяльності знань і навичок, отриманих із використанням 3D імерсивних VR симуляторів [11,12]. Методи оцінки цього аспекту ефективності включали як опосередкований аналіз кінцевих показників виконання завдань, так і прямі психологічні тести на мнемічні здібності учнів.

Загалом, виходячи з огляду літературних даних з питань оцінювання ефективності та результативності впровадження технологій VR, оптимальною видається модель комплексного оцінювання з використанням широкого спектра кількісних і якісних показників та індикаторів, що відображають різні аспекти впливу цього чинника. Це дає змогу отримати максимально об'єктивну і всебічну картину ефектів і позитивної динаміки ключових характеристик освітнього процесу. Розглянемо наявні в науковій літературі результати реалізації такого комплексного підходу на конкретних кейсах впровадження VR у сфері підготовки судноводіїв. Так, аналізуючи досвід створення VR тренажерів для відпрацювання базових навичок судноводіння (зокрема, швартування судна в порту), використовували як критерії результативності три групи параметрів [5,6]:

1. Показники якості виконання завдань на VR-тренажері – точність витримування заданих параметрів швартування;
2. Суб'єктивні оцінки учнями рівня реалістичності процесів моделювання та інтерфейсу VR-комплексу, занурення в середовище;
3. Співвідношення витрат на підготовку з використанням VR і класичних тренажерів.

За всіма перерахованими пунктами було зафіксовано суттєві переваги запропонованої моделі VR-тренажера. Це виражалось як у вищих показниках точності виконання завдань порівняно з традиційним комплексом, так і на порядок меншій вартості підготовки одного

фахівця порівнянної кваліфікації. Також переважна більшість користувачів високо оцінили якість візуалізації, реалізм фізичної поведінки моделі судна під час швартування в різних умовах, що свідчить про високий ступінь спрацьовування ефекту присутності під час використання цього VR комплексу.

Ще одне масштабне дослідження впливу використання VR-технологій на ефективність навчання морських фахівців було проведено в одній з проаналізованих робіт [17]. Автори запропонували концепцію та окремі елементи реалізації системи підготовки судноводіїв на основі комплексного поєднання елементів доповненої (AR) і віртуальної реальності. Відповідно до неї передбачалося використання AR-технологій для інтерпретації та наочного представлення в режимі реального часу даних, що надходять від різних суднових сенсорних систем, на тлі навколишньої візуальної обстановки. У той час як VR-модулі повинні моделювати різні критичні та аварійні ситуації для відпрацювання відповідних компетенцій студентів.

З огляду на запропоновану концептуальну схему, оцінювання потенційної ефективності інтеграції елементів AR і VR в інфраструктуру підготовки морських спеціалістів дало змогу авторам виокремити чотири ключові типи якісного впливу на процес навчання:

1. Підвищення наочності та деталізації представлення різних даних про поточні параметри курсу судна, стан устаткування і систем тощо.
2. Поліпшення ситуативної обізнаності студентів за рахунок більш ефективної інтерпретації інтегральних масивів цифрових даних від різних суднових датчиків і приладів.
3. Розширення практичних навичок оперативного ухвалення рішень у позаштатних та аварійних ситуаціях, що можуть моделюватися в рамках VR середовища.
4. Мінімізація когнітивних спотворень завдяки пред'явленню максимально репрезентативних масивів інформаційних даних про навколишнє оперативно-навігаційне оточення.

Ці висновки знайшли підтвердження під час реалізації низки пілотних навчальних курсів для морських спеціалістів з використанням розробленого на основі наведеної концепції навчально-тренувального комплексу, що інтегрує елементи AR і VR. Результати тестування показали підвищення ефективності формування професійних компетенцій на 15-20% порівняно з класичною системою підготовки.

Також у контексті аналізу підтвердженої на практиці ефективності та результативності впровадження технологій VR у систему освіти та підготовки судноводіїв становить інтерес робота [9]. Автори досліджували застосування спеціалізованих моделей і симуляторів VR для формування однієї з найважливіших фахових компетенцій даної категорії фахівців – навичок безпечного судноводіння та запобігання навігаційним аварійним ситуаціям. В основу розроблення відповідного VR курсу і програмного комплексу для його реалізації було покладено кваліфікаційний стандарт, позначений у таблиці А-II/1 Конвенції ПДНВ з поправками [18]. Цей міжнародний нормативний документ встановлює обов'язкові вимоги щодо переліку знань, умінь і професійних навичок, які мають бути сформовані у судноводіїв у сфері безаварійного керування судном і запобігання надзвичайним ситуаціям. Таким чином, структура і зміст розробленого VR-курсу (що містив, зокрема, задачі розбіжності суден на курсах, що перетинаються, швартові операції в складних погодних умовах та ін.) безпосередньо відповідали спектру обов'язкових вимог галузевого освітнього стандарту для судноводіїв. Це дало змогу авторам використовувати як критерії оцінювання ефективності запропонованої VR методики рівень опанування студентами запропонованого стандартом переліку знань, умінь і компетенцій, а також динаміку цього показника порівняно з результатами опанування аналогічного за тематикою курсу в рамках класичної системи підготовки.

У результаті проведення відповідного педагогічного експерименту за участю фокус-груп з тих, хто навчається за спеціальністю "судноводіння", які пройшли підготовку, з одного боку, з використанням розробленого VR-курсу, а з іншого – за традиційною методикою, було зафіксовано істотне підвищення показників повноти опанування зафіксованих в обраному в якості орієнтира освітньому стандарті (Конвенція ПДНВ/STCW) [18] вимог до практичних професійних компетентностей та навичок судноводіїв в галузі безаварійного судноводіння. Так,

середній відсоток правильних відповідей на запитання підсумкових тестових завдань, що перевіряють ступінь сформованості цих компетенцій, у групі тих, хто пройшов підготовку за допомогою VR, склав 75,93%. Цей результат був на 25,93% вищим за аналогічний показник у контрольній групі, де для тренінгу використовували традиційні симулятори (50%).

Комплексний порівняльний аналіз обраних як ключових контрольних параметрів підготовленості курсантів за підсумками опанування спеціалізованого курсу показав, що застосування технологій VR дало змогу істотно прискорити і підвищити якість формування зафіксованих у нормативному стандарті професійних навичок безпечного судноводіння. Отриманий результат, на думку авторів, має важливе практичне значення для підвищення загального рівня підготовленості студентів цієї спеціальності, а також загальної безпеки мореплавства і зниження аварійності на флоті.

Проблеми та бар'єри на шляху впровадження технологій VR у систему професійної підготовки судноводіїв. Поряд із розглянутими вище численними даними про високу ефективність і позитивний вплив застосування технологій віртуальної реальності на якісні та кількісні характеристики процесу професійної освіти судноводіїв, необхідно окремо зупинитися на наявних проблемах і бар'єрах у контексті перспектив широкомасштабної практичної інтеграції VR в структуру галузевої системи підготовки кадрів. Успішне вирішення цих проблем є необхідною умовою для реалізації наявного потенціалу розглянутого класу технологій як інструменту підвищення кваліфікації майбутніх фахівців морського транспорту.

Серед найбільш значущих стримувальних чинників широкого впровадження VR переважна більшість дослідників називає значну фінансову ресурсомісткість реалізації стартового етапу робіт із проєктування, розгортання та інтеграції в наявну інфраструктуру підготовки кадрів комплексних VR-платформ і освітніх модулів [19]. Дійсно, придбання та встановлення сучасного високопродуктивного обладнання VR, що включає щонайменше графічні станції для опрацювання складних тривимірних зображень у режимі реального часу, трекінгові сенсорні системи просторової орієнтації, контролери керування та взаємодії, шоломи або окуляри віртуальної реальності потребує чималих початкових вкладень. За оцінкою, навіть мінімально необхідний для реалізації функціонального VR-комплексу набір обладнання та програмні засоби (зокрема, спеціалізований ігровий рушій) можуть потребувати інвестицій у розмірі кількох десятків тисяч доларів на початковому етапі [12].

Поряд із високими початковими вкладеннями ще одним фактором, що ускладнює широке впровадження VR, виступає подальша підтримка функціонування та оновлення можливостей комплексу обладнання та програм актуальними в рамках освітнього процесу ліцензійними продуктами. Крім того, значущою проблемою розглядають і необхідність істотного доопрацювання вже наявних освітніх програм і стандартів, а також розроблення абсолютно нових навчальних курсів і методик у зв'язку із впровадженням VR [12]. Ця робота вимагає залучення висококваліфікованих спеціалістів, що володіють як глибокими технічними знаннями в предметній галузі, так і компетенціями у сфері розроблення VR застосунків. Крім того, певною складністю низка авторів вважає необхідність підвищення кваліфікації та перепідготовки професорсько-викладацького складу з метою вивчення особливостей освітнього процесу з використанням технологій VR [19].

Як ще один проблемний аспект, характерний для використання технологій віртуальної реальності в освітньому процесі, можна виокремити ризики негативних наслідків для здоров'я користувачів за умови тривалої роботи із системами занурення у VR середовище. Зокрема, у частини учнів можуть розвиватися симптоми кінетозу (заколисунання), запаморочення, розлади зору та вестибулярного апарату, спричинені конфліктом між зоровими відчуттями та показниками вестибулярної системи (відсутністю реального фізичного переміщення за ілюзії руху всередині середовища VR) [20]. Це вимагає встановлення певних обмежень щодо часу безперервного перебування учнів всередині VR.

Окреслені проблемні сфери впровадження VR-технологій у морській освіті потребують пильної уваги та активного вироблення ефективних рішень як з боку галузевих вишів, так і регулювальних органів.

Перспективні напрями впровадження та розвитку технологій VR у контексті оптимізації системи професійної освіти судноводіїв. Незважаючи на наявні складнощі інтеграції технологій VR в інфраструктуру підготовки судноводіїв, перспективи їх активного застосування з метою якісної оптимізації цього елемента системи морської освіти залишаються вельми широкими. Одним із найважливіших завдань є розширення тематичного та кількісного охоплення освітніх програм підготовки судноводіїв за рахунок впровадження нових VR тренажерів і симуляційних модулів. Перспективним видається створення комплексних середовищ імітації якомога ширшого спектра різних штатних і позаштатних ситуацій, що виникають у роботі морського транспорту – від штормових умов до пожеж і поломок суднових механізмів. Більшість подібних кейсів важко або неможливо в повному обсязі відпрацювати на реальному фізичному обладнанні в рамках класичної системи навчання з огляду на високі ризики і вартість. За рахунок цього використання VR може кардинально розширити практичну складову навчання.

Іншим актуальним напрямком розвитку є повсюдна реалізація концепції створення комбінованих або гібридних систем підготовки, що інтегрують як класичні фізичні тренажери і моделі, так і передові VR платформи. Подібна схема дає змогу оптимізувати витратну частину освітнього процесу, зберігаючи наявну матеріально-технічну базу, і водночас нарощувати його ефективність за рахунок ефекту комплексування VR і натурних методик навчання [11]. Особливе значення має продовження планомірної роботи з розширення експериментальної бази вивчення ефективності практичної реалізації технологій VR у морській освіті, вироблення методик для оцінки їхнього впливу на результативність підготовки кадрів. Це дасть змогу накопичити ще вагоміші підтвердження доцільності масштабного впровадження VR та обґрунтувати механізми державної підтримки у фінансуванні цього процесу.

Таким чином, технології віртуальної реальності мають колосальний нереалізований потенціал у плані якісної модернізації галузевої системи професійної підготовки судноводіїв і виведення її на принципово новий рівень, що відповідає сучасному технологічному розвитку морської галузі. Це визначає перспективність і практичну значущість їх подальшого впровадження та розвитку в розглянутій стратегічно важливій сфері.

Висновки. Під час дослідження було проведено багатоаспектний аналіз можливостей і перспектив використання технологій віртуальної реальності в системі професійної освіти та підготовки судноводіїв. Було виявлено, що впровадження інструментів VR має значний потенціал для розширення практико-орієнтованої складової навчання за рахунок гнучкого моделювання різноманітних професійних ситуацій і сценаріїв діяльності. Це особливо важливо в контексті виявленого дефіциту прикладних компетенцій у курсантів морських навчальних закладів. Аналіз конкретного досвіду впровадження VR технологій показав, що їх використання підвищує мотивацію, залученість учнів, якість і швидкість формування професійних навичок на 15-25%. Також зафіксовано позитивний ефект для розвитку когнітивних здібностей. Водночас існує низка бар'єрів широкого застосування VR у морській освіті: значні стартові інвестиції, складність інтеграції в сформовану освітню інфраструктуру, ризики для здоров'я користувачів. Для їх нівелювання потрібна подальша науково-практична робота.

Загалом впровадження VR несе великий потенціал оптимізації професійної підготовки фахівців для високотехнологічного морського флоту майбутнього за умови грамотної інтеграції з традиційними формами навчання.

REFERENCES

1. BIMCO/ICS, 2021. Seafarer Workforce Report: The global supply and demand for seafarers in 2021. Available at: <https://www.ics-shipping.org/publication/seafarer-workforce-report-2021-edition/>.
2. Prylipko, A., 2013. The Paradigm of Sustainable Development In Maritime Education and Training. The Maritime Commons: Digital Repository of the World Maritime University. URL: https://commons.wmu.se/cgi/viewcontent.cgi?article=1283&context=all_dissertations.
3. Sánchez-Beaskoetxea, J., Basterretxea-Iribar, I., Sotés, I., Maruri Machado, M.d.l.M., 2021.

- Human error in marine accidents: Is the crew normally to blame?, Maritime Transport Research, Volume 2, 100016. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.martra.2021.10016>.
4. Bao, J., Li, Y., Duan, Z., Li, T. & Zhang, P., March 2021. Key factors affecting the quality of maritime education and training: empirical evidence from China, The Journal of Navigation, Volume 74, Issue 2, pp. 396-408. Available at: <https://doi.org/10.1017/S0373463320000740>.
 5. Lee, E. T., & Kim, S. H. (2020). A Study on the Use of Virtual Reality in Navigation Education. Journal of Navigation, 73(3), 447-461.
 6. Li, L., Zhao, W., Zhang, L., & Wang, L. (2020). Research on VR Simulation Platform of Maritime Safety Training. Journal of Coastal Research, 104(sp1), 778-782.
 7. Eurydice, 2021. Draft Law on the Organization and Integration of Vocational Training. Available at: https://eacea.ec.europa.eu/national-policies/eurydice/content/national-reforms-vocational-education-and-training-and-adult-learning-70_en.
 8. Mykhaylo, M. & Vadym, Z., 2018. Seafarers Education, Training and Crewing in Ukraine, Proc. 19th Annual General Assembly (AGA) of the International Association of Maritime Universities (IAMU), Barcelona, Spain, October 17-19, pp. 173-180. Available at: https://bib.irb.hr/datoteka/962247.Ebook_IAMU_2018.pdf.
 9. Voloshynov, S.A et al., 2021. Application of VR technologies in building future maritime specialists' professional competences, Proc. 4th International Workshop on Augmented Reality in Education, Kryvyi Rih, Ukraine, May 11. Available at: <http://ceur-ws.org/Vol-2898/paper03.pdf>.
 10. Burdea, G & Coiffet, P., 2003. VR Technology. Presence: Teleoperators and virtual environments, 12(6), pp. 663-664. URL: <https://doi.org/10.1162/105474603322955950>.
 11. Yu, Y., Liu, L., & Zhang, H. (2019). Application of Virtual Reality Technology in Maritime Training. In Proceedings of the 2nd International Conference on Computer Science and Application Engineering (CSAE 2019) (pp. 587-592). Atlantis Press.
 12. Kumar, A., & Kumar, K. (2021). Virtual Reality in Education and Training. In Proceedings of the International Conference on Computational Science and Its Applications (ICCSA 2020) (pp. 267-282). Springer.
 13. Burdea, G., 2004. Teaching Virtual Reality: Why and How?, Presence: Teleoperators and virtual environments, 13, pp. 463-483. URL: <https://doi.org/10.1162/1054746041944812>.
 14. Zeltzer, D., 1992. Autonomy, Interaction, Presence, Presence, Vol. 1, No. 1, pp. 127-132. Available at: <http://doi.org/10.1162/pres.1992.1.1.127>.
 15. Statista, 2021. Augmented reality (AR) and VR market size worldwide from 2016 to 2024. Available at: <https://www.statista.com/statistics/591181/global-augmented-virtual-reality-market-size/>
 16. Miyusov M.V., Nikolaieva L.L., Smolets V.V. The Effectiveness of Immersive Learning in Maritime Education and Training. *Transactions on Maritime Science*. 2022. Vol. 11, no.02. URL:<https://hrcak.srce.hr/file/437241>.
 17. McLeod, R. W., Hodges, L. F., & Ari, M. A. (2018). The Future of Augmented Reality in Education: A Roadmap for Navigation Education. Journal of Maritime Education and Research, 2(1), 63-84.
 18. International Convention on Standards of Training, Certification and Watchkeeping for Seafarers, 1978, as amended in 1995. URL: <http://www.svg-marad.com/Downloads/International%20Conventions/STCW%20Convention.pdf>
 19. Lin, C. T., & Lan, C. S. (2021). Virtual Reality in Education: Opportunities and Challenges. Journal of Educational Technology Development and Exchange, 14(1), 1-14.
 20. Schmidt, J., 2017. What are examples of non-immersive, semi-immersive, and immersive VR systems? Available at: <https://www.quora.com/What-are-examples-of-non-immersive-semi-immersive-and-immersive-virtual-reality-systems>.
 21. Використання технологій віртуальної реальності в морському освітньому процесі / Г. Томчаковський та ін. *Актуальні питання у сучасній науці*. 2023. №5(11). URL:[https://doi.org/10.52058/2786-6300-2023-5\(11\)-459-468](https://doi.org/10.52058/2786-6300-2023-5(11)-459-468)
 22. KILO Transformational Maritime Training. Virtual Advancement System for Competent Operations. <https://www.kilo-solutions.com/>

Kalinichenko Ye.V., Tomchakovsky G.G., Oberto Santana L.E., Kalinichenko G.Y.
THE IMPACT OF VIRTUAL REALITY TECHNOLOGIES ON THE QUALITY AND EFFECTIVENESS OF NAVIGATORS' TRAINING

This article addresses the topical issue of using virtual reality (VR) technologies in the system of professional training of seafarers. The purpose of the study is to comprehensively analyse the potential and prospects of VR in maritime education to improve the quality and efficiency of the learning process. The relevance of the topic is driven by the rapid technological development of the maritime industry and the need to modernise the training system in line with modern requirements. The paper analyses the current state of the seafarers' education system and identifies the deficit of the practice-oriented component of training, which leads to a lack of applied competencies among graduates. The specifics and key capabilities of VR educational technologies and their potential for solving existing problems of the quality of seafarers' training are revealed. In particular, the author emphasises the ability of VR to significantly expand the possibilities for modelling various professional situations and practicing practical skills. The specific experience of implementing VR in the system of education of seafarers is analysed. The research results demonstrate an increase in motivation, student engagement, quality and speed of professional competence development by 15-25% compared to traditional methods. The positive impact of VR on the development of cognitive abilities is noted. At the same time, a number of barriers to the large-scale integration of VR into maritime education have been identified: significant initial investments, difficulty in integrating into the established educational infrastructure, and potential risks to the health of users. The author emphasises the need for further scientific and practical work to overcome them. The article outlines promising areas for the development of VR technologies in the context of optimising the system of professional education of seafarers. The importance of expanding the range of educational VR modules, creating complex simulation environments, and implementing hybrid learning systems that combine classical methods and VR is emphasised. The need to increase the experimental base for studying the effectiveness of VR is noted. In general, the study demonstrates the significant potential of virtual reality technologies for the qualitative modernisation of seafarers' training in accordance with the requirements of the high-tech maritime industry. The introduction of VR can significantly optimise the educational process, provided that it is well integrated with traditional forms of education.

Keywords: virtual reality, maritime education, professional training, seafarers, competences, practice-oriented, immersive technologies, innovations in education, simulators, modelling, computer simulations.

УДК 551.465.42(264.3)

doi.org/10.33298/2226-8553.2024.2.40.05**Васалатій Н.В.**

**РОЗРАХУНКИ ШВИДКОСТІ І НАПРЯМУ ТЕЧІЙ В ФЛОРИДСЬКІЙ ПРОТОЦІ
ТА СИЛИ ЇЇ ДІЇ НА РУХ СУДНА**

Анотація. В роботі проведені дослідження циркуляції вод у Флоридській протоці. Розраховано швидкості геострофічних течій на основі гідрологічних та гідрохімічних елементів. Побудовано карти просторового розподілу солоності та температури води на розрізі та карти швидкостей течій в акваторії Флоридської протоки. Проведено аналіз навігаційно-гідрографічних умов плавання. Обчислення вказують на те, що швидкість течії в Флоридській протоці сягає 60 см/с та повільно знижується з глибиною. Так, у центральній

частині розрізу, на глибині 400 м швидкості течій становить 20 см/с. Фактичні швидкості течій, як на поверхні так і в глибокій частині протоки можуть бути і більшими та досягати 190 см/с (3,7 вузла). Оскільки розрахунки проводились за багаторічний період за осередненими даними, отримані результати децю нижчі, але залишаються значними. Розглянуто вплив вітру та течій на маневрені характеристики судна. Визначені райони, які характеризується великою кількістю даних щодо знесення суден. Розраховано дію траверсної течії на судно у Флоридській протоці, де швидкості течії досягають максимальних значень. Проведена оцінка навантаження, що створюється траверсною течією на судно, при максимальній швидкості течії 190 см/с. Результати розрахунків вказують на те, що на судно в порожньому стані із середнім осадом 27 фут (довжина судна по ватерлінії 994 фут) при глибині моря, що більше осадки в три рази, течія в 3,7 вузла розвиває навантаження 551 тс, а 12-вузловий вітер створює навантаження 9 тс, що в сумі становить поперечне зусилля, яке дорівнює 560 тс. Отримані результати розрахунків швидкостей течії та сили дії бічної течії на судно можуть бути використані при керуванні судами в акваторії Флоридської протоки для забезпечення безпечного маневрування.

Ключові слова: Флоридська протока, швидкість течії, солоність води, температура води, напрям, розріз, навантаження.

Постановка проблеми. Флоридська протока є важливою суднохідною ділянкою Світового океану. Поряд з цим вона характеризується великими швидкостями течій, які вагомо впливають на маневрені характеристики судна та навігаційні умови. Дуже важливо враховувати швидкість і напрямок течії на кожному курсі і пам'ятати, що її елементи схильні до значних змін. Тому, розрахунки швидкостей і напрямку геострофічних течій потрібно проводити всіма відомими способами, а також розробляти нові, для вдосконалення вже відомих результатів.

Аналіз існуючих літературних джерел. Вивченням гідрометеорологічних умов плавання в Флоридській протоці займається багато, як вітчизняних, так і зарубіжних дослідників і включає в себе різноманітні методи та способи. На доробки наступних науковців спирається автор даної роботи: Богуславський С. Г. [2], Бондаренко А. Л. [3], Гладких І.І. [4], Джиганшин Г. Ф. [5, 6], Михайлов В.І. [7], Bourles B. [12].

Мета статті: За даними температури та солоності морської води побудованих на регулярній сітці з кроком 0,125 градуса по широті та довготі та даних натурних експедиційних досліджень на різних розрізах, розрахувати швидкості течій та побудувати карти просторового їх розподілу в акваторії Флоридської протоки. Оцінити навантаження, що створюється траверсною течією на судно.

Основна частина. В роботі розраховані швидкості течій у Флоридській протоці, яка з'єднує Атлантичний океан з Мексиканською затокою. Фактичні дані про течії деяких районів затоки доповнено аналізом даних про знесення суден та розподілом гідрологічних та гідрохімічних елементів.

Нижче наведені розрахунки швидкостей геострофічних течій, які можуть бути використані при керуванні судами, оскільки вони розраховані по полю щільності і їх можна порівняти зі схемою течій, побудованою на даних вимірюваних значень швидкості і напрямку течій. Для розрахунків у роботі використовувалися матеріали Національного управління океанічних і атмосферних досліджень (NOAA) [13,14,15]. А саме дані про температуру та солоність морської води у період 2005-2012 рр., побудовані на регулярній сітці з кроком 0,125 градуса по широті та довготі, а також дані натурних експедиційних досліджень. Карти просторового розподілу температури, солоності, морської води та просторового розподілу швидкостей течій на розрізах в окремих районах затоки побудовані за допомогою програмного продукту OCEAN DATA VIEW (Version 4.7.10 - 2017).

Течія впливає на рух судна пропорційно до його швидкості та залежить від курсу судна, щодо напрямку течії. При зустрічній течії, оскільки виникає додатковий тиск на перо керма, судно краще слухається керма. При попутній течії керованість погіршується. Елементи припливно-відливних течій слід розрахувати заздалегідь на час наміченої проводки судна, а її напрямок та швидкість, потрібно вибирати на кожну годину для району плавання. Також

необхідно враховувати бічний знос судна. Особливо небезпечний він є на крутих поворотах фарватера під час руху судна за течією. Відцентрова сила посилює бічне знесення судна, при його повороті, що може призвести до різкого закидання корми судна на зовнішній бік повороту. При посиленні вітру та попутної течії у вузкостях швидкість течії зростає. Тому, швидкість і напрямок течії слід враховувати на кожному курсі і пам'ятати, що її елементи схильні до змін. При плаванні на течії потрібно контролювати своє місце всіма відомими методами. Так як на ній значно змінюються інерційні характеристики судна та крива циркуляції на поворотах.

Флоридська протока розташована в Північній півкулі і з'єднує Атлантичний океан з Мексиканською затокою. Вона відокремлює півострів Флорида від острова Куба. Довжина Флоридської протоки становить 651 кіломет. Найбільша ширина 150 км (найменша – 80 км). Глибина Флоридської протоки в її судноплавній частині складає від 150 до 2085 метрів. При цьому переважаючи у ній глибини від 500 до 700 метрів. Ділянка між дрібними островами архіпелагу Флорида-Кіс та островом Куба є найвузчою. Головні порти протоки – Гавана та Майамі. У 1977 році між США та Кубою було підписано угоду, яка регулює межі протоки для цих двох держав. Згідно з нею, кордон між цими державами проходить посередині Флоридської протоки [9, 10, 11].

У Флоридській протоці нараховується велика кількість випадків щодо знесення суден. Більшість з них, зазнали аварій на рифах біля півострова Флорида, тримаючи курс Флоридською протокою. Причиною аварій, на сам перед, була недооцінка швидкості зустрічної течії при курсі судна в південному напрямку та переоцінка швидкості попутної течії при курсі судна в північному напрямку. При курсі в південному напрямку від 25°35' пн.ш. 80°06' з.д. до 24°38' пн.ш., 81°07' з.д. судно потрапляє під дію зустрічної течії, що має швидкість 3- 4 вузла, тому його курс має систематично контролюватися по маяках та інших берегових орієнтирах. Судна, що йдуть Флоридською протокою курсом на північ від порту Гавана, іноді сідають на рифи, це відбувається при зниженні видимості, або при перетині течії.

З Мексиканської затоки основний потік води прямує у Флоридську протоку досягаючи максимальної швидкості 190 см/с (3,7 вузла). У материковій мілини Флоридського півострова швидкості течії досягають 130 см/с (2,5 вузла). Розрахунки швидкості течій проводились з використанням програмного продукту OCEAN DATA VIEW (Version 4.7.10 - 2017). Вихідними даними для обчислень є осереднені дані температури та солоності морської води за період 2005-2012 рр. (березень місяць) на розрізі з кроком 0,125 градуса по довготі (рис.1,2). Обчислення вказують на те, що швидкість течії в Флоридській протоці сягає 60 см/с (рис.3) та повільно знижується з глибиною. Так, у центральній частині розрізу, на глибині 400 м швидкості течій становить 20 см/с. Фактичні швидкості течії, як на поверхні так і в глибокій частині протоки можуть бути і більшими, оскільки розрахунки проводились за багаторічний період за осередненими даними, отримані результати дещо нижчі, але залишаються значними (рис. 3).

Флоридську протоку характеризують, як протоку зі значними швидкостями течій та великою кількістю даних про знесення суден, тому доречно розглянути дію бічної течії на рух судна.

Нижче розглянуто силу дії бічної течії на судно дедвейтом 90 тис.т. у водах Флоридської протоки, при швидкості течії 190 см/с (3,7 вузлів) і траверзного вітру 12 вузлів.

$$C = f * L * d * v^2_T$$

C – навантаження, що створене течією та виражене в "коротких" тонах (907,2 кг);

f – фактор, який залежить від запасу води під кілем, та змінюється від 0,0015, при умові, що глибина в 3 рази більша осадки, до 0,0036, коли глибина дорівнює 1,1 осадки; при показниках глибини в 2 рази більшої за осадку, фактор дорівнює 0,0018;

L – довжина судна по ватерлінії, фути;

d - середня осадка, фути;

V_T – швидкість течії, у вузлах.

На судно в порожньому стані із середнім осадом 27 фут (довжина судна по ватерлінії 994 фут) при глибині моря, що більше осадки в три рази, течія в 3,7 вузлів розвиває навантаження 551 тс, а 12-вузловий вітер створює навантаження 9 тс, яке в сумі становить поперечне зусилля, що дорівнює 560 тс.

Отже, при значних швидкостях течій особливу увагу потрібно приділяти бічному зносу судна при плаванні фарватерами, а саме при подорожі під мостами та підході до причалів.

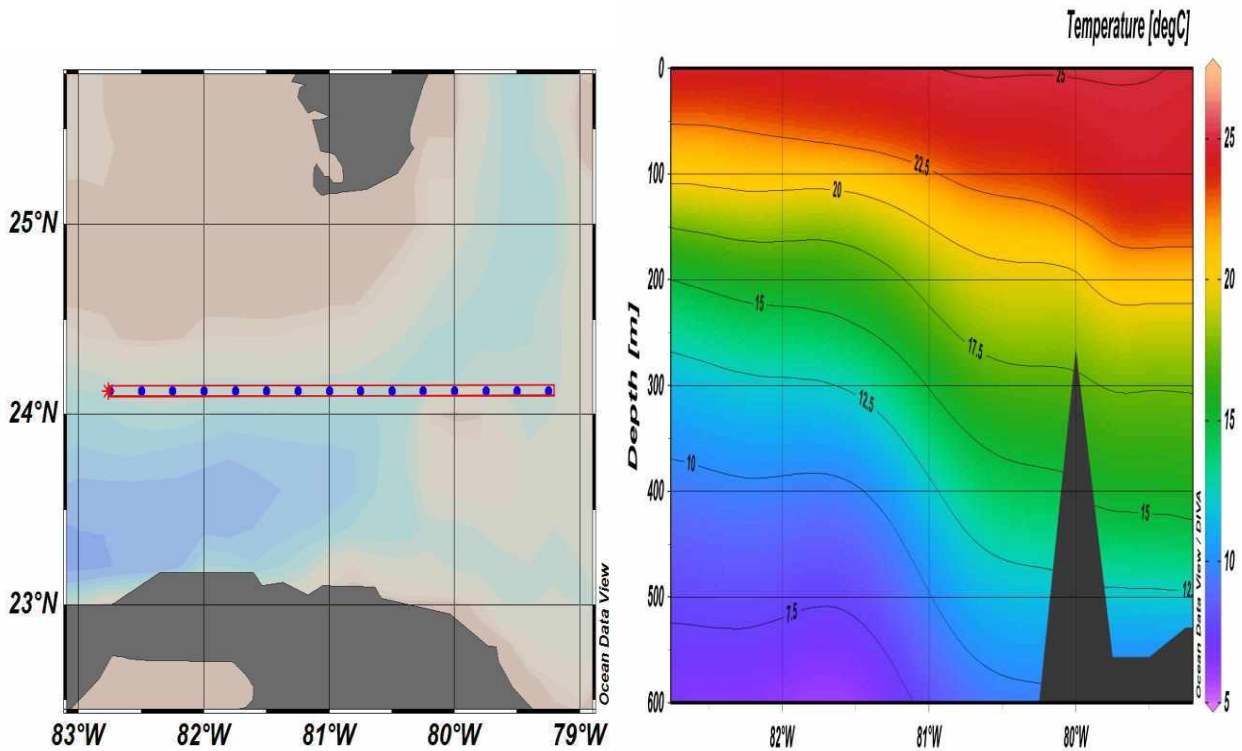


Рисунок 1. Карта просторового розподілу температури морської води на розрізі у Флоридській протоці (березень, 2005-2012 рр).
(виконано автором, програмний продукт OCEAN DATA VIEW (Version 4.7.10 - 2017))

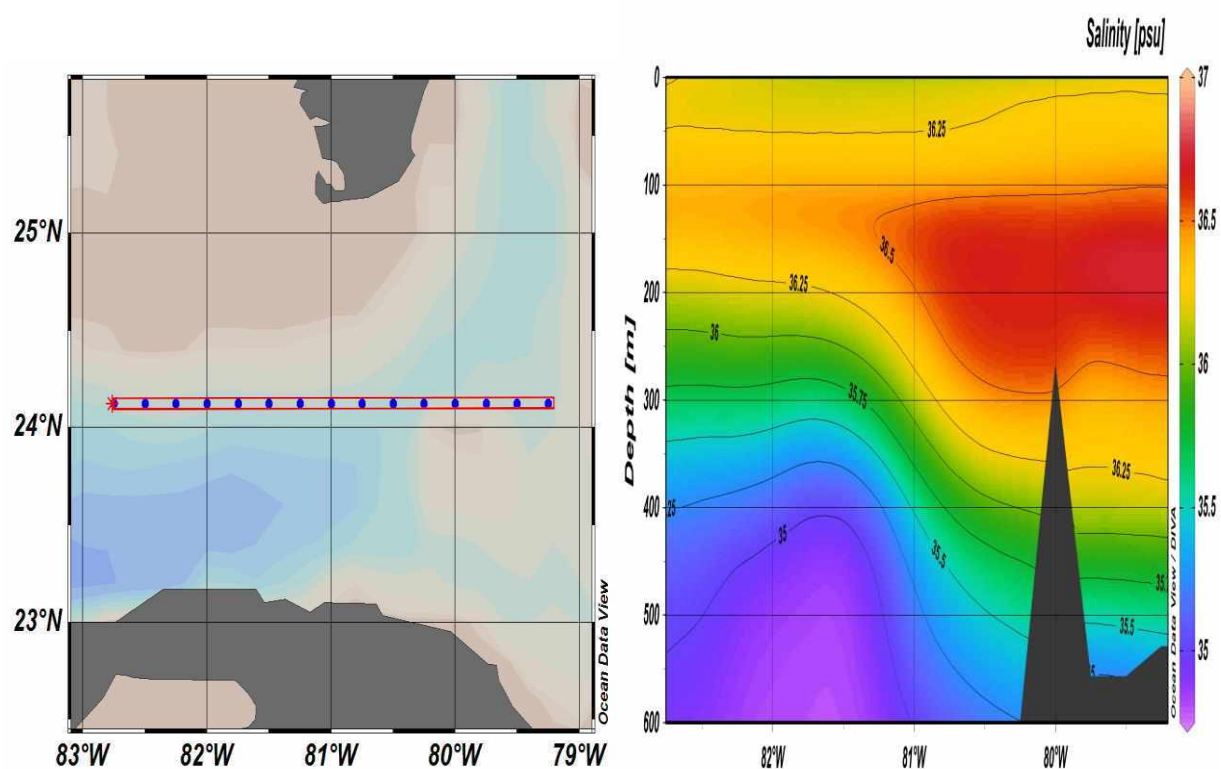


Рисунок 2. Карта просторового розподілу солоності морської води на розрізі у Флоридській протоці (березень 2005-2012 рр).
(виконано автором, програмний продукт OCEAN DATA VIEW (Version 4.7.10 - 2017))

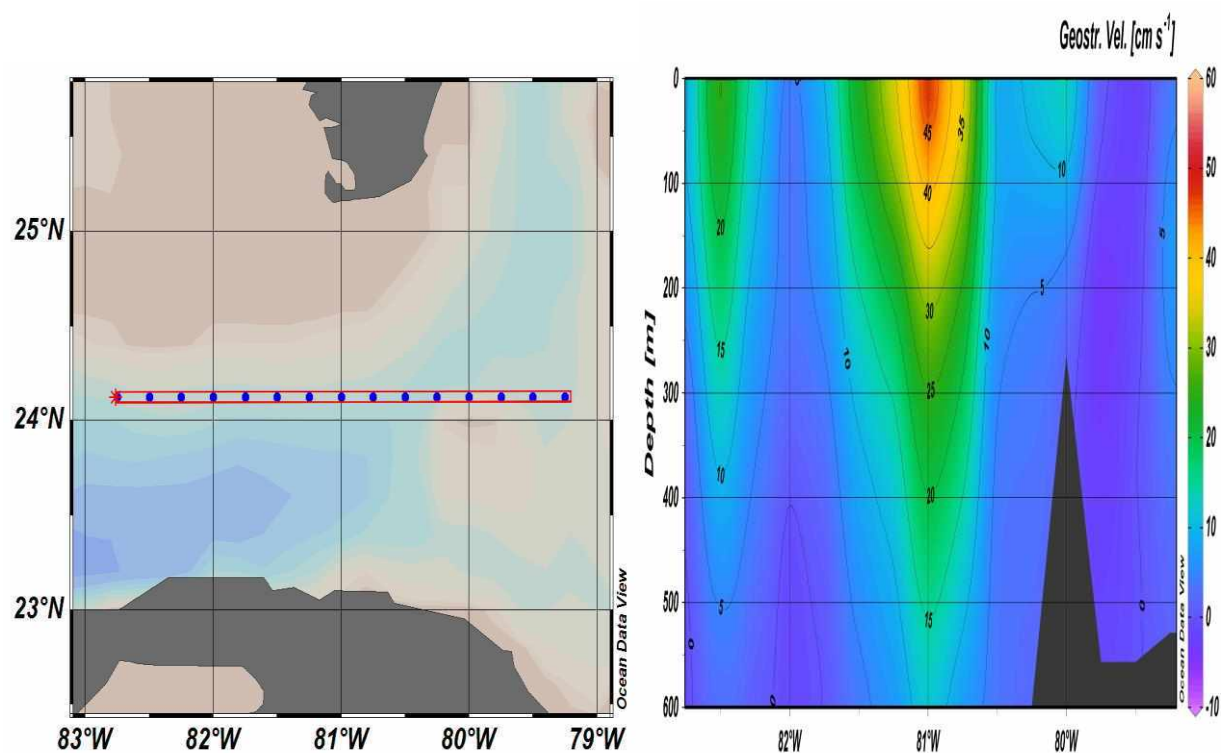


Рисунок 3. Карта просторового розподілу швидкостей течій на розрізі у Флоридській протоці (березень 2005-2012 рр).
(виконано автором, програмний продукт OCEAN DATA VIEW (Version 4.7.10 - 2017))

Висновки. В роботі проведені дослідження циркуляції вод у Флоридській протоці, а саме розраховано швидкість течії на основі гідрологічних та гідрохімічних елементів і проаналізовано вплив течії на маневрені характеристики судна.

Флоридська протока характеризується достатньо великою кількістю даних щодо знесення суден. Аналіз даних показав, що основною причиною аварій є недооцінка швидкості зустрічної течії при прямуванні судна в південному напрямку та переоцінка швидкості попутної течії при прямуванні його в північному напрямку.

Обчислення вказують на те, що швидкість течії в Флоридській протоці сягає 60 см/с (рис.3) та повільно знижується з глибиною. Так, у центральній частині розрізу, на глибині 400 м швидкості течій становить 20 см/с. Фактичні швидкості течії, як на поверхні так і в глибокій частині протоки можуть бути і більшими та досягати 190 см/с (3,7 вузла). Оскільки розрахунки проводились за багаторічний період за осередненими даними, отримані результати дещо нижчі, але залишаються значними.

Розрахована сила дії траверсної течії на судно у Флоридській протоці, при максимальній швидкості течії 190 см/с. За результатами розрахунків можна зробити висновок, що на судно в порожньому стані із середнім осадом 27 фут (довжина судна по ватерлінії 994 фут) при глибині моря, що більше осадки в три рази, течія в 3,7 вузла розвиває навантаження 551 тс, а 12-вузловий вітер створює навантаження 9 тс, що в сумі становить поперечне зусилля, яке дорівнює 560 тс.

Таким чином, отримані в роботі розрахунки швидкостей течій можуть бути використані при керуванні судами, а також на основі отриманих результатів можна проводити розрахунки навантаження бічної течії, що має вплив на швидкість, поворотливість судна та викликає його бічний знос.

ЛІТЕРАТУРА

1. Безруков Ю. Ф. Океанология. Часть I. Физические явления и процессы в океане. Симферополь: Таврический национальный университет им. В. И. Вернадского, 2006. 159 с.
2. Богуславский С. Г., Казаков С. И., Берестовая Е. В. и др. Особенности температурного поля поверхности Тропической Атлантики // Мор. гидрофиз. журн. 2007. № 6. С. 39–47.
3. Бондаренко А. Л., Жмур В. В. Настоящее и будущее Гольфстрима // Природа. 2007. № 7. С. 29–37.
4. Гладких І.І., Капочкін Б.Б., Кучеренко Н.В., Лісоводський В.В., Формування погодних умов в морських та прибережних районах. – монографія. – Одеса, 2007. - 242 С.
5. Джиганшин Г. Ф., Крашенинникова С. Б., Полонский А. Б. Межгодовая изменчивость характеристик внутригодового цикла Флоридского течения // Системы контроля окружающей среды : сб. науч. тр. Севастополь: НПЦ «ЭКОСИГидрофизика», 2009. С. 314–317.
6. Джиганшин Г. Ф., Крашенинникова С. Б., Полонский А. Б. Низкочастотная изменчивость расхода Флоридского течения // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. 2009. Вып. 19. С. 415–421.
7. Михайлов В.И., Капочкина А.Б., Капочкин Б.Б. Взаимодействие в системе «литосфера-гидросфера», Одесса, 2010, 154 с.
8. Михайлов В.І., Кучеренко Н.В. Спеціальні розділи фізичної океанології / Одеса, Екологія, 2011. - 238 с.
9. Суховій В.Ф. Основні риси гідрологічного режиму Атлантичного і тихого океанів / Суховій В.Ф. – К.: УМК ВО, 1992. – 218с.
10. Суховій В.Ф. Фізична океанологія/Суховій В.Ф.–Одеса:АОБАХВА, 2001. – 315 с.
11. Учитель И.Л., Дорофеев В.С., Ярошенко В.Н., Капочкин Б.Б., Геодинамика. Основы динамической геодезии, Одесса, 2008, 311 с.
12. Bourles B., Molinari R. L., Johns E., et. al. Upper layer currents in the western tropical North Atlantic // J. Geophys. Res. 1999. Vol. 104, iss. C1. P. 1361–1375.

13. National Centers for Environmental information [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.ncei.noaa.gov/>
14. National Centers for Environmental information. Ocean Physics. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.ncei.noaa.gov/products/ocean-physics>
15. Chart Sources [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://opencpn.org/OpenCPN/info/chartsources.html>

REFERENCES

1. Bezrukov YU. F. Okeanologiya. Chast' I. Fizicheskiye yavleniya i protsessy v okeane. Simferopol': Tavricheskiy natsional'nyy universitet im. V. I. Vernadskogo, 2006. 159 s.
2. Boguslavskiy S. G., Kazakov S. I., Berestovaya Ye. V. i dr. Osobennosti temperaturnogo polya poverkhnosti Tropicheskoy Atlantiki // Mor. gidrofiz. zhurn. 2007. № 6. S. 39–47.
3. Bondarenko A. L., Zhmur V. V. Nastoyashcheye i budushcheye Gol'fstrima // Priroda. 2007. № 7. S. 29–37.
4. Gladkikh Í.Í., Kapochkin B.B., Kucherenko N.V., Lisovods'kiy V.V., Formuvannya pogodnikh umov v mors'kikh ta priberezhnikh rayonakh. – monografiya. – Odesa, 2007. – 242 S.
5. Dzhiganshin G. F., Krasheninnikova S. B., Polonskiy A. B. Mezhgodovaya izmenchivost' kharakteristik vnutrigodovogo tsikla Floridskogo techeniya // Sistemy kontrolya okruzhayushchey sredy : sb. nauch. tr. Sevastopol': NPTS «EKOSIGidrofizika», 2009. C. 314–317.
6. Dzhiganshin G. F., Krasheninnikova S. B., Polonskiy A. B. Nizkochastotnaya izmenchivost' raskhoda Floridskogo techeniya // Ekologicheskaya bezopasnost' pribrezhnoy i shel'fovoy zon i kompleksnoye ispol'zovaniye resursov shel'fa. 2009. Vyp. 19. C. 415–421.
7. Mikhaylov V.I., Kapochkina A.B., Kapochkin B.B. Vzaimodeystviye v sisteme «litosfera-gidrosfera», Odessa, 2010, 154 s.
8. Mikhaylov V.Í., Kucherenko N.V. Spetsial'ni rozdiłi fizichnoï okeanologії / Odesa, Yekologiya, 2011. – 238 s.
9. Sukhoviy V.F. Osnovni risi gidrologichnogo rezhimu Atlantichnogo i tikhogo okeaniv / Sukhoviy V.F. – K.: UMK VO, 1992. – 218s.
10. Sukhoviy V.F. Fizichna okeanologiya/Sukhoviy V.F.–Odesa:AObAKHVA, 2001. – 315 s.
11. Uchitel' I.L., Dorofeyev V.S., Yaroshenko V.N., Kapochkin B.B., Geodinamika. Osnovy dinamicheskoy geodezii, Odessa, 2008, 311 s.
12. Bourles B., Molinari R. L., Johns E., et. al. Upper layer currents in the western tropical North Atlantic // J. Geophys. Res. 1999. Vol. 104, iss. C1. P. 1361–1375.
13. National Centers for Environmental information [Yeletkronniy resurs]. – Rezhim dostupu: <https://www.ncei.noaa.gov/>
14. National Centers for Environmental information. Ocean Physics. [Yeletkronniy resurs]. – Rezhim dostupu: <https://www.ncei.noaa.gov/products/ocean-physics>
15. Chart Sources [Yeletkronniy resurs]. – Rezhim dostupu: <https://opencpn.org/OpenCPN/info/chartsources.html>

Vaslatii N.V.

CALCULATIONS OF THE SPEED AND DIRECTION OF THE CURRENT IN THE FLORIDA STRAIT AND ITS EFFECT ON THE MOVEMENT OF THE SHIP

Abstract. In the work, studies of water circulation in the Florida Straits were carried out. The velocities of geostrophic currents were calculated on the basis of hydrological and hydrochemical elements. Maps of the spatial distribution of salinity and water temperature on the section and maps of current velocities in the water area of the Florida Straits were constructed. An analysis of the navigational and hydrographic conditions of sailing was carried out. Calculations indicate that the

current velocity in the Florida Strait reaches 60 cm/s and slowly decreases with depth. So, in the central part of the section, at a depth of 400 m, the current velocity is 20 cm/s. Actual current speeds, both on the surface and in the deep part of the channel, can be higher and reach 190 cm/s (3.7 knots). Since the calculations were carried out over a multi-year period based on averaged data, the results obtained are somewhat lower, but still significant. The influence of wind and currents on the maneuvering characteristics of the ship is considered. Areas characterized by a large amount of data on shipwrecks have been identified. The effect of the transverse current on the vessel in the Florida Strait, where the current velocities reach maximum values, is calculated. An assessment of the load created by the transverse current on the ship was carried out at a maximum current speed of 190 cm/s. The results of the calculations indicate that on an empty ship with an average draft of 27 feet (the ship's waterline length is 994 feet) at a sea depth three times greater than the draft, a current of 3.7 knots develops a load of 551 tons, and 12- the nodal wind creates a load of 9 ts, which in total is a transverse force equal to 560 ts. The obtained results of calculations of current velocities and the force of the transverse current on the ship can be used in the management of ships in the waters of Florida to ensure safe maneuvering.

Keywords: Florida Strait, current speed, water salinity, water temperature, direction, cut, load.

УДК 629.5.036

doi.org/10.33298/2226-8553.2024.2.40.06

Маннапова О.В., Урум Н.С., Шевченко А.П., Лісовський С.В.

НИЗЬКОСІРЧИСТІ СУДНОВІ ДИЗЕЛЬНІ ПАЛИВА ТА ЇХ ПРОТИЗНОСНІ ВЛАСТИВОСТІ: СТАН ТА ПЕРСПЕКТИВИ ЇХ ВИКОРИСТАННЯ

Метою роботи є дослідження способів регулювання протизносних властивостей дизельних палив, їх негативний та позитивний вплив на надійність роботи паливної апаратури судових дизелів. Поставлена мета досягається шляхом з'ясування змісту основних способів щодо регулювання протизносних властивостей дизельних палив. Розглянуто спосіб додавання протизносних присадок до низькосірчистих дизельних палив. Встановлено, що концентрація присадок у малосірчистому дистильованому паливі у розмірі $0,015 \div 0,02\%$ маси, значно покращує протизносні властивості судових ДП. Підкреслено, що дослідження впливу додавання мінеральної олії до дизельного палива, у результаті чого покращується змащувальна здатність палива, ще не завершені. Доведено, що додавання олії рослинного походження до дизельного палива покращує його протизносні властивості. Показано, що суміш рослинних олій у будь-яких пропорціях з нафтопродуктами дозволяє синтезувати моторні палива із наперед заданими фізико-хімічними властивостями. Підкреслено, що у результаті проведених досліджень протизносних властивостей сумішей традиційного ДП і 1, 2, 5, 10 і 20% метилових ефірів пальмової олії виявлено, що найсильніше сила тертя знижується при зростанні концентрації біодизеля від 1% до 5%, досягаючи мінімуму при 10% вмісті біодизеля. Найбільш суттєвим результатом дослідження є критичний аналіз основних способів регулювання протизносних властивостей дизельних палив шляхом додавання протизносних присадки, різних видів рослинних олій, біопалива, мінеральної олії у певних пропорціях у дизельне пальне. Подальшим напрямом роботи є проведення досліджень щодо виявлення впливу різних типів дизельних палив на швидкість зношування прецизійних пар паливної апаратури судових дизелів для вироблення

обґрунтованих рекомендацій, спрямованих на підвищення надійності їх роботи.

Ключові слова: *протизносні властивості, дизельне паливо, малосірчисте дистильатне паливо, олія рослинного походження, мінеральна олія, біопаливо.*

Постановка проблеми. Суднові дизельні палива за своєю структурою та фізико-хімічним складом використовуються не тільки як паливо у двигунах, але й як мастильний матеріал для рухомих деталей паливної апаратури (ПА). Але змащувальні можливості судових дистильатних палив (СДП) дуже сильно залежать від вмісту в них сірки. Так, за одними джерелами [1 - 3] низький вміст сірки у СДП значно знижує надійність роботи дизельної ПА. Але є і протилежні дані, які не так однозначно оцінюють вплив характеристик судових палив, таких як в'язкість, фракційний склад, вміст сірки, на інтенсивність зношування плунжерних пар паливного насосу високого тиску (ПНВТ). Але найпотужніші виробники судових дизелів впевнені, що необхідно обмежити застосування низькосірчистих СДП у судових енергетичних установках (СЕУ) через зниження змащувальної здатності та в'язкості палива на вході у двигун, що може негативно відбитися на надійності роботи ПА [4].

Тому для покращення протизносних властивостей дизельних палив пропонуються певні методи та способи, які відповідають доволі жорстким сучасним вимогам, у тому числі екологічним. Основним способом, як відомо, є застосування різноманітних спеціальних протизносних присадок. Кроком вперед, вважають фахівці, є додавання рапсової, соєвої, соняшникової, пальмової та інших видів рослинних олій, біопалива або мінеральної олії у певних пропорціях у дизельне паливо для покращення триботехнічних характеристик палив.

Тому дослідження способів регулювання протизносних властивостей дизельних палив є актуальним науковим завданням.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дизельний двигун відноситься до двигунів внутрішнього згоряння із запалюванням палива в камері згоряння при високій температурі. Робота дизельних двигунів здійснюється протягом 4 циклів: всмоктування-стиснення-запалювання-вихлоп.

У дизельному двигуні в камеру згоряння спочатку подається тільки повітря, яке стискається з коефіцієнтом стиснення від 15:1 до 23:1, що викликає підвищення температури повітря. Приблизно у верхній точці такту стиснення паливо через паливну форсунку впорскується безпосередньо в стиснене повітря в камері згоряння, забезпечуючи розбивання палива на дрібні краплі та його рівномірний розподіл. Тепло стисненого повітря випаровує паливо з поверхні крапель. Потім пара запалюється від тепла стисненого повітря в камері згоряння, краплі продовжують випаровуватися з їх поверхні і горіти, зменшуючись в розмірах, поки все паливо в краплях не згорить. Горіння відбувається при практично постійному тиску протягом початкової частини такту потужності. Після згоряння його продукти розширюються при подальшому опусканні поршня, а високий тиск в циліндрі штовхає поршень вниз, подаючи потужність на колінчастий вал.

Високий ступінь стиснення повітря сприяє згорянню палива без застосування окремої системи запалювання і значно підвищує ефективність двигуна. Разом з тим, як і для двигунів з іскровим запалюванням, у дизелях гострою залишається проблема утилізації вихлопних газів.

Держави-члени ІМО визнають серйозною проблемою низьку якість важкого мазуту, що використовується на судах, має високий вміст сірки і призводить до утворення вихлопних газів, наприклад SO_x . Для зменшення впливу на оточуюче середовище вдосконалюються системи очищення вихлопних газів (використання скрубєрів), контролюється скидання стічних вод з таких систем очищення, а також здійснюється перехід з мазуту з високим вмістом сірки на низькосірчисте паливо.

Вміст сірки в судовому паливі залежить від сирової нафтової сировини і процесу переробки. При згорянні палива з сіркою в двигуні вона змішується з оксидом і перетворюється на оксиди сірки, які є корозійними для поршневої гільзи двигуна і повинні нейтралізовуватися циліндровим мастилом. При використанні правильного мастила вміст сірки в судовому паливі технічно не є важливим, але оксиди сірки мають вплив на навколишнє середовище.

ІМО встановлює обмеження щодо вмісту сірки в будь-якому мазуті, що використовується на борту суден. Однак мазут з низьким вмістом сірки може мати негативний вплив на різні властивості палива в залежності від типу палива. У таблиці 1 показано зв'язок між властивостями палива та його типами.

Таблиця 1 – Зв'язок між властивостями палива та його типами

Властивості палива	Типи палива
Низька в'язкість	MDO
Мастильна здатність	MGO/MDO
Кислотність	MGO/MDO/HFO
Температура спалаху	HGO/MDO/HFO
Якість запалювання та згоряння	HFO
Підвищена каталітична дрібнота	HFO

До типів суднового палива, що використовуються на судах щодо ліміту мазуту з низьким вмістом сірки, входять судновий газойль (MGO марок DMA, DMX та DMZ) і суднове дизельне паливо (MDO марки DMB). Крім того, останнім часом з'явився новий тип мазуту з наднизьким (не більше 0,10% (м/м)) вмістом сірки (ULSFO). Це не традиційні дистиляти, а змішані продукти з потоків нафтопереробки, які раніше широко не використовувалися для виробництва суднових мазутів [5]. Основні властивості вищезгаданих палив наведені в таблиці 2.

Таблиця 2 – Основні властивості мазуту, визначені в ISO 8217 (2010) [6].

Сорт	MGO			MDO	ULSFO
	DMX	DMA	DMZ	DMB	
Вміст сірки % (м/м)	max. 1.00	max. 1.50	max. 1.50	max. 2.00	max. 0.10
В'язкість при 40°C (сСт)	min. 1.40	min. 1.50	min. 3.00	max. 11.0	min. 40
	max. 5.50	max. 6.00	max. 6.00		max. 75
Температура спалаху (°C)	min. 43	min. 60	min. 60	min. 60	min. 70

Характеристики мазуту з наднизьким вмістом сірки (ULSFO) повністю відрізняються у порівнянні з типами палива MGO та MDO [7] й однозначно свідчать про можливість і необхідність його використання на судах. Насправді, витрати на паливо є домінуючою часткою рейсових витрат, що становить 47%, тоді як рейсові витрати складають приблизно 40% від загальних експлуатаційних витрат [8]. Отже, витрати на паливо є найважливішим фактором у рейсових витратах, який слід підтримувати на якомога нижчому рівні.

З цієї точки зору використання мазуту представляється найефективнішим заходом, але воно тягне за собою ряд недоліків у судноплавстві. Так, в'язкість мазуту вимагає перед його впорскуванням у камеру згоряння двигуна підігріву до температури близько 140°C. Також необхідно обладнати шламонакопичувачі для розміщення осаду мазуту, який не може бути спалений в процесі згоряння в двигуні, і його подальшого вивозу на берег для передачі до приймальних пунктів або спалювання в сміттєспалювальній установці на судні. Як результат, вихлопні гази, що виділяються в процесі згоряння з використанням важкого мазуту (HFO) в дизельних двигунах, є набагато шкідливими для навколишнього середовища.

До поточного часу суднові низькообертові двигуни та їх мастила були оптимізовані для роботи на HFO з високим вмістом сірки S, яка під час перетворюється на триоксид сірки (SO₃). У поєднанні з водою, що утворюється при згорянні, і повітрям, що відсмоктується, SO₃ утворює сірчану кислоту (H₂SO₄). Коли температура гільзи падає нижче точки роси сірчаної кислоти і води, на стінці гільзи утворюється корозія. Високолужні мастила (оливи з високим BN) нейтралізують кислоту і запобігають корозії поршневих кілець і поверхонь гільз циліндрів.

По-друге, при роботі на паливі з вмістом сірки менше 0,10%, такому як дистилати, мазут ULSFO, скраплений природний газ (СПГ), метанол, етан і зріджений газ тощо, в камері згоряння утворюється лише невелика кількість сірчаної кислоти. Присадки до циліндрового мастила не використовуються за призначенням і мають тенденцію до накопичення у вигляді відкладень, які можуть порушувати мастильну плівку і перешкоджати руху поршневих кілець. Крім того, для двигунів, що безперервно працюють на паливі з вмістом сірки менше 0,10%, характерні утворення відкладень і повна відсутність корозії, що збільшують ризик полірування отворів і також може призвести до підвищеного зносу і задирів.

Таким чином, зменшення змащувальної здатності мазуту з низьким вмістом сірки становитиме ризик для суднового двигуна і потребує подальших досліджень для зменшення його надмірного зносу і передчасного виходу з ладу.

Метою роботи є дослідити способів регулювання протизносних властивостей дизельних палив, їх негативний та позитивний вплив на надійність роботи паливної апаратури суднових дизелів.

Викладення основного матеріалу дослідження. Розглянемо зміст основних способів щодо регулювання протизносних властивостей дизельних палив.

Додавання протизносних присадок до низьокірчистих дизельних палив

У всіх дизельних паливах присутні поверхнево активні речовини (ПАР), які серйозно впливають на протизносні властивості механічних деталей обладнання. Так, сульфід та бензотіофени, які відносяться до сірчистих сполук і які містяться в СДП, мають високі протизносні властивості [9]. Однак низьокірчисті суднові дизельні палива (вміст сірки в паливі нижче 0,1%) не можуть забезпечити потрібну змащувальну здатність, що вимагає застосування спеціальних присадок для цієї мети.

В основі переважної більшості протизносних присадок (Dodilube-4940, Kerokort LA99C, Міксент-2030, АДН, Lubrisol 539 та ін.) лежать карбонові кислоти, технічні алкілсаліцилові кислоти (ТАСК).

Протизносні присадки діють так. Під їх впливом на поверхні, яка підлягає захисту, утворюється міцна плівка. Вона складається з продуктів механіко-хімічних перетворень присадки на поверхні металу, коли спосіб її формування залежить від рідинного або граничного режиму тертя. При рідинному режимі тертя фізична адсорбція або хемосорбція присадки покращує змащувальні властивості палива. А ось режим граничного тертя є більш складним та небезпечним для поверхонь, що труться.

Шар змащувальної рідини, що знаходиться між парами, що постійно труться, порушується. І у такому разі виникає загроза мікросхоплювання поверхонь, які труться. На оголеній (ювенільній) поверхні з високою каталітичною активністю змащувальний матеріал хімічно суттєво змінюється. Фактично на цій поверхні виникає шар нової речовини, основу якої складають продукти перетворення палива, присадки та металу пари тертя. Даний шар, у силу свого нового хімічного складу, принципово відрізняється за своїми властивостями від речовин, що його утворили. Він відрізняється високою механічною стійкістю і спроможністю постійно відновлюватися при стиранні.

Доведена висока ефективність присадок, що містять активні полярні групи [10]. Концентрація присадок, що вводяться в малосірчисте дистилатне паливо у розмірі $0,015 \div 0,02\%$ маси, значно покращує протизносні властивості суднових ДП. Однак усі протизносні присадки характеризуються високою ціною.

Додавання мінеральної олії до дизельного палива

Покращити триботехнічні властивості ДП можна шляхом додавання мінеральних мастильних матеріалів, у результаті чого покращується змащувальна здатність палива.

Так, один з видів олії МС-20 відноситься до олій селективного очищення без присадок, що виробляється з малосірчистих парафінових та безпарафінових нафт, і відрізняється високою в'язкістю, відмінною адгезією, гарною змащувальною властивістю та температурою спалаху не нижче 265°C . Однак дослідження впливу цієї мінеральної олії на змащувальну здатність ДП ще не завершені, що затримує вихід офіційних рекомендацій виробників дизелів та нафтових

компаній відносно її застосування на морських та річкових суднах.

Додавання олій рослинного походження до дизельного палива

Можливість рослинних олій змішуватись у будь-яких пропорціях з нафтопродуктами дозволяє синтезувати моторні палива із наперед заданими фізико-хімічними властивостями [11].

Основним компонентом рослинних мас є жирні кислоти, які за хімічною структурою подібні на вуглеводні зі складу дизельного нафтового палива. Крім того, структурні формули метилових ефірів жирних кислот та самих жирних кислот також досить близькі до них [3]. Подібність структурних формул жирних кислот рослинних олій та вуглеводнів дистилятного палива підтверджує, що їх можна застосовувати як моторне паливо.

Використання рослинних олій у вигляді моторного палива можливо у різних варіантах: а) у чистому вигляді; б) у суміші з ДП та іншими нафтовими паливами; в) у суміші з газовими конденсатами, спиртами, ефірами та іншими нетрадиційними паливами.

Взаємодія ПАР з поверхнею тертя змінює деформаційні характеристики матеріалів трибосистеми, зменшуючи надмірну вільну енергію поверхні тертя та швидкість зношування та втрати на тертя [3]. Тому ріпакова олія широко застосовується для підвищення змащувальної здатності палива [12].

Додавання біодизелю в дизельне паливо з низьким вмістом сірки

Для виробництва біодизельного палива застосовується етерифікація ріпакової, соєвої, арахісової, пальмової, рицинової та ін. рослинних олій і продуктів їх переробки. Результатом реакції є метилові ефіри, що мають властивості пального матеріалу і застосовуються як альтернативні дизельні палива (Rape Methyl Ester, Soybean Methyl Ester, Fatty Acid Methyl Esters) та добавки до традиційних нафтових палив [13].

Біодизель відрізняється від звичайного ДП екологічною чистотою і, не дивлячись на значно менший вміст сірки, має непогані мастильні властивості, що продовжує термін життя двигуна [14]. Це пояснюється тим, що вміст вільних жирних кислот ($<0,4\%$ мас.) та дигліцеридів ($<0,4\%$ мас.) помірно впливає на змащувальну здатність біодизелю. Навпаки кисневі фрагменти в біодизелі у поєднанні з жирними кислотами забезпечують кращу змащувальну здатність палива [2, 3].

Біодизель у порівнянні з нафтовим дизельним паливом має значно кращі протизносні властивості, тому додавання биодизеля до традиційного дизельного палива надає новому продукту нових властивостей, тобто збільшення змащувальної здатності [1]. Навіть при вмісті біодизеля менше 1% протизносні властивості палива збільшуються на 30%.

Ефіри рослинних масел добре змішуються з нафтовими дизельними паливами і не розшаровуються навіть за наявності розчиненої води.

Дослідження протизносних властивостей сумішей традиційного ДП і 1, 2, 5, 10 і 20% метилових ефірів пальмової олії показало, що найсильніше сила тертя знижується при зростанні концентрації біодизеля від 1% до 5%, досягаючи мінімуму при 10% вмісті біодизеля (рис. 1) [15]. Проти застосування біодизеля є лише одне – його висока ціна, яка у 2-3 рази вище вартості традиційного дизельного палива. Застосування біодизелю значно збільшує вартість палива, що призводить до збільшення витрат на експлуатацію суден.

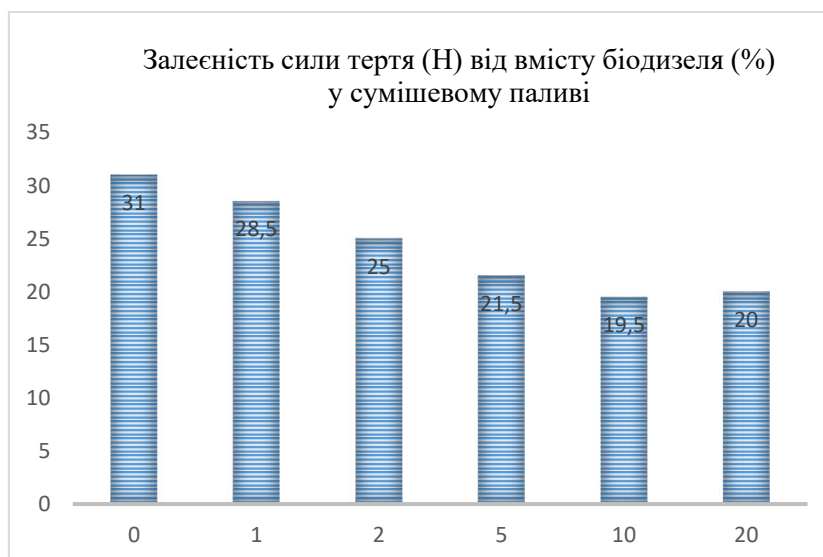


Рисунок 1 – Залежність сили тертя від вмісту біодизеля у сумішевому паливі

Висновки. Розглянуті основні способи регулювання протизносних властивостей дизельних палив шляхом додавання протизносних присадки, різних видів рослинних олій, біопалива, мінеральної олії у певних пропорціях у дизельне пальне.

Дослідження підтвердили, що біодизель має значно кращі протизносні властивості порівняно з нафтовим дизельним паливом. Найкращі змащувальні якості паливо набуває при додаванні 10% биодизеля до традиційного дизельного палива. Для підвищення довговічності ПНВТ та форсунок судових дизелів необхідно провести глибокі дослідження впливу різних типів дизельних палив, включаючи спеціальні протизносні присадки, додавання різних видів рослинних олій, біопалива або мінеральної олії у певних пропорціях у дизельне пальне, на швидкість зношування прецизійних пар паливної апаратури судових дизелів з метою вироблення науково обґрунтованих рекомендацій, спрямованих на збільшення надійності їх роботи.

ЛІТЕРАТУРА

1. Study on the lubrication properties of biodiesel as fuel lubricity enhancers / Hu J. et al. *Fuel*. 2005. Vol. 84, Issues 12-13. P. 1601–1606.
2. Ian Crutchley. Low sulphur diesel can lead to extensive wear. *Ship & Offshore*. 2010. № 4. P. 14–17.
3. Ian Crutchley, Michael Green. Lubricity characteristics of Marine Distillate fuels. *MTZ Industrial Special Edition MTZ*. 2012. P. 58–63.
4. Guideline for the Operation of Marine Engines on Low Sulphur Distillate Diesel. The International Council on Combustion Engines. 2013. 23 p.
5. Operation on Low-Sulphur Fuels: MAN B&W Two-stroke Engines. Denmark: MAN; 2014. 24 p.
6. Guidelines for Operation on Fuels with less than 0.1% Sulphur. Denmark: MAN; 2014. P. 1-24.
7. Lubricity improvement of the ultra-low sulphur diesel fuel with the biodiesel / M.A. Hazrat et al. *Energy Procedia*. 2015. Vol. 75. P. 111–117.
8. Stopford M. Maritime Economics. 3rd ed. New York: Rouyleg; 2009.
9. Sørheim K.R, Daling P.S. Characterization of Low Sulfur Marine Fuel Oils (LSFO) – A new generation of marine fuel oils. SINTEF. 2020. 17 p.
10. Занько О.Н., Калугин В.Н., Логишев И. В. Технология использования рабочих веществ в судовых энергетических установках. Одесса : Фенікс, 2005. 508 с.

11. Corrosion on disc stacks and bowl parts. *GEA Mechanical Equipment, Technical Bulletin № 115*. 2015. 5 p.
12. Zabloysky Yu.V., Sagin S.V. Enhancing Fuel Efficiency and Environmental Specifications of Marine Diesel When using Fuel Additives. *Indian Journal of Science and Technology*. 2016. Vol 9(46). P. 353–362. DOI: 10.17485/ijst/2016/v9i46/107516.
13. Oxidative desulfurization of diesel fuels with hydrogen peroxide in the presence of activated carbon and formic acid / Guoxian Yu et. al. *Energy&Fuels*. 2005. Vol. 19. P. 447–452.
14. Corrosion attacks on marine centrifuges used in fuel operation. *Alfa Laval, Bulletin № 32390*, 2016. 3 p.
15. Galbraith R., Hertz P. The ROCLE test for diesel and biodiesel fuel lubricity. *SAE Technical Paper 972862*. 1997. P. 61–66.

REFERENCES

1. Hu, J. et al. (2005). *Study on the lubrication properties of biodiesel as fuel lubricity enhancers*. Fuel, 84(12-13), 1601–1606.
2. Crutchley, I. (2010). *Low sulphur diesel can lead to extensive wear*. Ship & Offshore, 4, 14–17.
3. Crutchley, I., & Green, M. (2012). *Lubricity characteristics of Marine Distillate fuels*. MTZ Industrial Special Edition MTZ, 58–63.
4. The International Council on Combustion Engines. (2013). *Guideline for the Operation of Marine Engines on Low Sulphur Distillate Diesel*. 23 p.
5. MAN. (2014). *Operation on Low-Sulphur Fuels: MAN B&W Two-stroke Engines*. Denmark: MAN. 24 p.
6. MAN. (2014). *Guidelines for Operation on Fuels with less than 0.1% Sulphur* (pp. 1-24). Denmark: MAN.
7. Hazrat, M.A. et al. (2015). *Lubricity improvement of the ultra-low sulphur diesel fuel with the biodiesel*. Energy Procedia, 75, 111–117.
8. Stopford, M. (2009). *Maritime Economics* (3rd ed.). New York: Rouyldg.
9. Sørheim, K. R., & Daling, P. S. (2020). Characterization of Low Sulfur Marine Fuel Oils (LSFO) – A new generation of marine fuel oils. SINTEF.
10. Zan'ko, O.N., Kalugin, V.N., & Logishev, I.V. (2005). *Tekhnologiya ispol'zovaniya rabochikh veshchestv v sudovykh energeticheskikh ustanovkakh* [Technology of using working fluids in ship power plants]. Odessa: Feniks. (in Russian).
11. GEA Mechanical Equipment. (2015). *Corrosion on disc stacks and bowl parts. Technical Bulletin No. 115*. 5 p.
12. Zabloysky, Yu.V., & Sagin, S.V. (2016). *Enhancing Fuel Efficiency and Environmental Specifications of Marine Diesel When using Fuel Additives*. Indian Journal of Science and Technology, 9(46), 353–362. <https://doi.org/10.17485/ijst/2016/v9i46/107516>
13. Yu, G. et al. (2005). *Oxidative desulfurization of diesel fuels with hydrogen peroxide in the presence of activated carbon and formic acid*. Energy&Fuels, 19, 447–452.
14. Alfa Laval. (2016). *Corrosion attacks on marine centrifuges used in fuel operation. Bulletin No. 32390*. 3 p.
15. Galbraith, R., & Hertz, P. (1997). *The ROCLE test for diesel and biodiesel fuel lubricity*. SAE Technical Paper 972862, 61–66.

*Mannapova O.V., Urum N.S., Shevchenko A.P., Lisovskyi S.V.***LOW-SULPHUR MARINE DIESEL FUELS AND THEIR ANTI-WEAR PROPERTIES: STATE AND PROSPECTS OF THEIR USE**

The aim of the work is to study the methods of regulating the anti-wear properties of diesel fuels, their negative and positive impact on the reliability of marine diesel fuel equipment. This goal is achieved by clarifying the content of the main methods for regulating the anti-wear properties of diesel fuels. The method of adding anti-wear additives to low-sulphur diesel fuels is considered. It is established that the concentration of additives in low-sulphur distillate fuel in the amount of 0.015÷0.02% by weight significantly improves the anti-wear properties of marine diesel fuels. It is emphasised that studies of the impact of adding mineral oil to diesel fuel, which improves the lubricity of the fuel, have not yet been completed. It is proved that the addition of vegetable oil to diesel fuel improves its anti-wear properties. It has been shown that a mixture of vegetable oils in any proportion with petroleum products allows the synthesis of motor fuels with predetermined physical and chemical properties. It is emphasised that the study of the anti-wear properties of blends of traditional diesel fuel and 1, 2, 5, 10 and 20% palm oil methyl esters revealed that the friction force decreases most strongly with an increase in the concentration of biodiesel from 1% to 5%, reaching a minimum at 10% biodiesel content. The most significant result of the study is a critical analysis of the main ways to regulate the anti-wear properties of diesel fuels by adding anti-wear additives, various types of vegetable oils, biofuels, and mineral oil in certain proportions to diesel fuel. Further work is to conduct studies to identify the impact of different types of diesel fuels on the wear rate of precision pairs of fuel equipment of marine diesel engines to develop reasonable recommendations aimed at improving their reliability.

Keywords: *anti-wear properties, diesel fuel, low-sulphur distillate fuel, vegetable oil, mineral oil, biofuel.*

УДК 629.5

doi.org/10.33298/2226-8553.2024.2.40.07*Сазін С.С., Ворохобін І.І.***МІНІМІЗАЦІЯ РИЗИКУ ВИНИКНЕННЯ НЕБЕЗПЕКИ МОРСЬКИХ ПОДІЙ ПІД ЧАС НАВІГАЦІЙНИХ ПЕРЕХОДІВ СУДЕН МОРСЬКОГО ТРАНСПОРТУ**

Розглянуті методи контролю та управління ризиками під час навігаційного переходу суден морського транспорту з використанням штучного інтелекту. Процес аналізу ризику морських подій становить фундаментальну основу для розроблення профілактичних стратегій, які включають методики мінімізації ризику виникнення небезпеки та контроль за ними, що є критично важливими для уникнення подій, які можуть призвести до суттєвих втрат або пошкоджень. Необхідність системного підходу до аналізу ризиків пов'язаних з використанням штучного інтелекту для суден морського транспорту включає ідентифікацію, оцінку та мінімізацію потенційних загроз.

Аналітичний підхід для оцінювання ймовірностей і частоти виникнення морських подій дозволяє не лише детально оцінити можливі ризики, але також класифікувати їх згідно з встановленими критеріями для кращого управління та запобігання. Такий підхід сприяє підвищенню точності в оцінці ризиків та розробці ефективних стратегій їх мінімізації, що є

ключовим для забезпечення безпеки судноплавства та зниження вірогідності виникнення потенційних втрат.

Комплексний підхід до оцінки ризику використання штучного інтелекту у навігації охоплює ідентифікацію та оцінку потенційних ризиків для безпеки судноплавства та ефективності навігаційних систем. Особлива увага приділяється надійності технології, доступності даних, кібербезпеці, інтеграції з людським фактором, та етичним питанням. Обґрунтоване прийняття рішень у цих напрямках забезпечує безпеку судноплавства та ефективність навігаційних систем, що використовують штучний інтелект.

Послідовність оцінки ризиків під час використання штучного інтелекту під час навігаційних переходів суден морського транспорту є важливим інструментом для забезпечення безпечного та ефективного впровадження цієї технології в навігаційні системи. Це сприяє зменшенню ризиків виникнення небезпеки морських подій і підвищенню надійності рішень, прийнятих на основі даних, які знаходяться в реальному часі.

Ключові слова: аналіз та оцінка ризиків, безпека судноплавства, метод управління ризиками, морський транспорт, навігаційний перехід, штучний інтелект.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями. Забезпечення та реалізація постійного аналізу ризиків, пов'язаних з використанням штучного інтелекту на судах морського транспорту, вимагають систематичного підходу до ідентифікації, оцінки та мінімізації потенційних загроз [1-5]. Ключовим аспектом є розробка та втілення науково обґрунтованих методик, які забезпечують глибокий аналіз впливу штучного інтелекту на безпеку, ефективність та стійкість морських транспортних систем[6, 7].

Наукові дослідження у цій області фокусуються на створенні детальних моделей для прогнозування прийняття рішень з боку штучного інтелекту під час навігаційних переходів суден морського транспорту[8, 9]. Це включає в себе вивчення алгоритмів машинного навчання, здатних аналізувати і адаптуватися до змінних морських умов та потенційно непередбачуваних ситуацій, що виникають під час морських перевезень. Особлива увага приділяється квантитативному аналізу ризиків, що дозволяє не лише ідентифікувати існуючі загрози, але й оцінити їх вплив на безпеку операцій.

Процес оцінки ризиків включає в себе не тільки технічні аспекти, але також етичні та правові[10, 11]. Важливо забезпечити, щоб впровадження штучного інтелекту відповідало міжнародним нормам і стандартам, а також не порушувало етичних стандартів. Ретельне дослідження можливих негативних наслідків, які можуть виникнути помилкові дії систем на основі штучного інтелекту, є критично важливим для запобігання можливим аваріям або іншим неприємним інцидентам[12, 13].

З практичного боку, знання та навички з правильної ідентифікації та реагування на ризики, які несе застосування штучного інтелекту, повинні бути інтегровані в процеси навчання та кваліфікаційного вдосконалення морських фахівців. Розробка спеціалізованих курсів та тренінгів для морських інженерів, навігаторів та інших спеціалістів, що залучені до управління та експлуатації суден, може значно підвищити рівень безпеки та оптимізувати використання штучного інтелекту в індустрії.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Вирішенню питання аналізу ризиків під час застосування штучного інтелекту присвячено ряд наукових досліджень, у яких було розглянуто питання оптимізації маршрутів суден, автоматичного управління, зменшення ризику аварій та аналізу морської безпеки та екології[14-17]. Значна увага приділяється використанню штучного інтелекту для підвищення ефективності морського транспорту через вдосконалені методики комп'ютерного зору, глибокого навчання та автоматизації процесів. Також важливою є розробка моделей оцінки ризиків на основі великих даних, які дозволяють виявляти і оцінювати потенційні загрози, що знижують кількість аварій та підвищують загальну безпеку морських перевезень[18, 19]. Значна увага приділяється також розробці квалітативних та кількісних

моделей оцінки ризиків, що включають аналіз потенційних наслідків аварій, оцінку збитків та моделювання різних сценаріїв для виявлення слабких місць в системах безпеки. Такі моделі допомагають у прийнятті обґрунтованих рішень та формуванні стратегій мінімізації ризиків[20, 21]. З урахуванням високого рівня потенційних загроз, що можуть супроводжувати застосування штучного інтелекту, важливим є чітке усвідомлення та ретельне врахування всіх можливих ризиків при його використанні на суднах морського транспорту. Постійний моніторинг і адаптація до змінюваних умов дозволяють значно підвищити безпеку і надійність морських перевезень[22-24].

Формулювання цілей статті. Ціллю статті є створення ефективних алгоритмів для постійного моніторингу та управління ризиками через використання штучного інтелекту під час навігаційних переходів суден морського транспорту.

Виклад основного матеріалу. Одним із ключових елементів ефективних систем управління є систематичний підхід до ідентифікації небезпек та оцінки пов'язаних ризиків з метою надання інформації для сприяння прийняттю рішень щодо необхідності впровадження заходів зі зменшення ризиків. Процес оцінки ризиків призначений для ретельного вивчення того, що стосується будь-якої діяльності та може завдати шкоди, щоб можна було прийняти рішення щодо того, чи було вжито достатніх запобіжних заходів, чи потрібно зробити більше щоб запобігти шкоді.

Під час використання штучного інтелекту на суднах морського транспорту, важливо також аналізувати ризики, пов'язані з використанням самого штучного інтелекту. Серед таких ризиків можуть бути питання конфіденційності, безпеки даних, етичні аспекти та можливість помилкових рішень, прийнятих на основі хибних алгоритмів штучного інтелекту. Системи управління повинні враховувати ці ризики та розробляти відповідні заходи для їх мінімізації, забезпечуючи таким чином не тільки ефективність, але й безпеку впровадження штучного інтелекту у при використанні на суднах морського транспорту. Процес управління ризиками, спрямований на обмеження загроз до контрольованого рівня, є критично важливим у контексті застосування штучного інтелекту. Інтегративний підхід до управління ризиками може значно зменшити або нейтралізувати ризики, пом'якшити наслідки потенційних інцидентів, забезпечуючи критично важливу інформацію для прийняття обґрунтованих рішень або навіть запобігти інцидентам, що можуть призвести до нещасних випадків або спричинити їх.

Процес управління ризиком в разі використання штучного інтелекту є важливим інструментом прийняття рішень, який використовується для підвищення операційної результативності. Цей процес включає ідентифікацію, оцінку та управління ризиками, що дозволяє зменшити потенціал збитків і підвищити ймовірність успішного виконання операцій. Ефективне управління ризиком підвищує здатність операторів компаній приймати обґрунтовані рішення, базуючись на всебічному аналізі потенційних небезпек та їх наслідків.

Процес управління ризиком також дозволяє мінімізувати ризики до прийняттого рівня, пропорційного виконанню робіт. Правильне застосування цього процесу сприяє зменшенню нещасних випадків та пов'язаних з ними витрат, що в свою чергу веде до більш ефективного використання ресурсів.

Ідентифікація небезпек включає виявлення потенційних загроз, які можуть вплинути на діяльність, особливо в контексті впровадження штучного інтелекту. Оцінка наслідків і ймовірностей включає аналіз ступеня тяжкості можливих наслідків небезпек і частоти/ймовірності їх виникнення. Впровадження заходів із запобігання та пом'якшення передбачає розробку і реалізацію стратегій для запобігання або зменшення негативних наслідків виявлених ризиків, що є особливо важливим при використанні штучного інтелекту у критичних застосуваннях.

Ризик (Р) визначається як функція тяжкості можливих наслідків (Н) небезпеки та частоти/ймовірності виникнення (Ч) цієї конкретної небезпеки. Цей підхід дозволяє систематично оцінювати ризики та приймати обґрунтовані рішення для їх ефективного управління, забезпечуючи таким чином безпеку та стабільність операцій.

РИЗИК (Р) = НАСЛІДКИ (Н) × ЧАСТОТА ВИНЕКНЕННЯ (Ч)

З огляду на ці знання, оцінений ризик небезпеки може бути використаний для прийняття надійних рішень щодо підвищення безпеки шляхом зменшення ризику, а ризики можна зменшити шляхом зменшення тяжкості наслідків або частоти / ймовірності появи або комбінації два.

Оцінка ризику, це процес розрахунку ризику ідентифікованої небезпеки або гіпотетичного сценарію.

Управління ризиками – це процес використання результатів, отриманих під час оцінки ризиків, і впровадження додаткових заходів запобігання та пом'якшення або альтернативних заходів (контроль ризику або варіанти контролю), щоб зменшити або усунути ризик. Схема цього процесу показана на рис.1.

Однією з цілей якісної оцінки ризиків при використанні штучного інтелекту. є розвиток достатнього досвіду застосування процесу, щоб оцінка ризиків стала автоматичною або інтуїтивно зрозумілою частиною методології прийняття рішень. Для формалізації процесу оцінки ризику пропонується використання методології матриці ризиків:

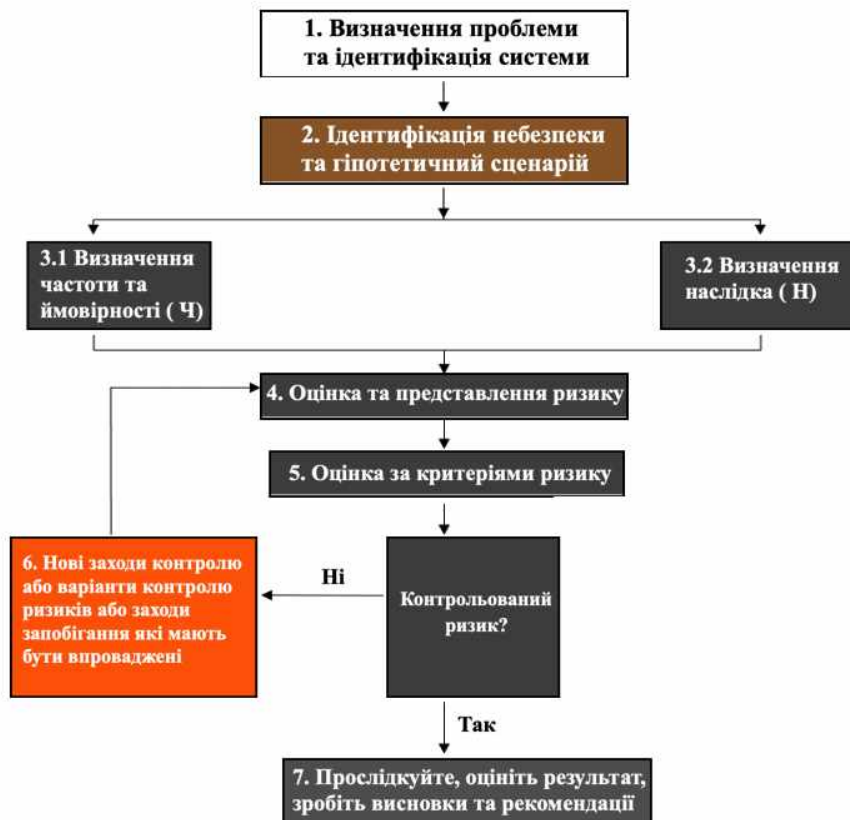


Рисунок 1 – Алгоритм оцінки небезпеки під час управління ризиками

1) визначення проблеми та опис системи. На цьому етапі необхідно визначити судно або діяльність, ризики якої слід оцінити. Перш ніж розпочати оцінку ризиків, всі зацікавлені сторони повинні мати спільне розуміння цілей, методів, які будуть використовуватися, необхідних ресурсів і способів застосування результатів;

2) визначення методу ідентифікації небезпеки або потенційного інциденту. Ідентифікація небезпек здійснюється за допомогою систематичного підходу, зосереджуючись на діях або бездіяльності людини, технологічному обладнанні, приладах і зовнішніх факторах, які можуть спричинити інцидент. Небезпека може існувати в поточній операції або бути результатом змін у

ній. На цьому етапі також можна розгорнути детальний гіпотетичний сценарій ризику, що описує послідовність подій, які можуть призвести до інциденту;

3) оцінка ймовірності та наслідків з існуючими заходами контролю. Частотний аналіз використовується для оцінки ймовірності виникнення різних інцидентів або небезпек. Ймовірність визначається на основі послідовності подій у гіпотетичному сценарії. Матриця ризиків визначає п'ять рівнів ймовірності на основі частоти, з якою гіпотетичний сценарій може відбутися, показано в табл. 1.

Ця методологія дозволяє систематично та всебічно підходити до оцінки ризиків, забезпечуючи їх адекватне управління та мінімізацію потенційних збитків. Оцінка наслідків згрупована за чотирма основними категоріями: здоров'я та безпека працівників, довкілля, економіка / активи та репутація / громадські порушення. Рівень серйозності визначається для кожної з цих категорій на основі наслідків, зазначених у гіпотетичному сценарії, як показано в таблиці 2. Оцінка наслідків згрупована за чотирма основними категоріями: здоров'я та безпека працівників, навколишнє середовище, економіка / активи та репутація / громадські порушення.

Таблиця 1 – Описи ймовірностей і частоти виникнення подій

Види ймовірностей		Частота виникнення
5	Часті – можливість повторних інцидентів	Частіше одного разу за рейс
4	Ймовірний – можливість поодиноких інцидентів	Один раз на рік – сценарій нещасного випадку мав місце в минулому та/або очікується, що він відбудеться в майбутньому
3	Час від часу – можливість колись виникнути	Раз на 5 років – може статися сценарій нещасного випадку
2	Віддалений – навряд чи відбудеться	Раз на 10 років – сценарій аварії вважається малоймовірним
1	Дуже малоймовірно – практично неможливо	Один раз на 30 років і більше

Оцінка наслідків згрупована за чотирма основними категоріями: здоров'я та безпека працівників, навколишнє середовище, економіка / активи та репутація / громадські порушення. Рівень серйозності визначається для кожної з цих категорій на основі наслідків, зазначених у гіпотетичному сценарії, як показано в табл.2. Після ідентифікації небезпек і потенційних нещасних випадків або подій для системи чи процесу, а також оцінки частоти або наслідків цих подій відповідно до існуючих заходів контролю, можна оцінити відносні ризики, пов'язані з цими подіями. Матриця ризиків служить механізмом для розподілу ризиків і прийняття рішень щодо їх прийнятності, використовуючи підхід до категоризації ризиків. Кожна клітинка в матриці ризиків відповідає певній комбінації частоти та наслідків, і їй можна призначити пріоритетний номер. Після ідентифікації небезпек і потенційних нещасних випадків або подій для системи чи процесу, а також оцінки частоти або наслідків цих подій відповідно до існуючих заходів контролю, можна оцінити відносні ризики, пов'язані з цими подіями. Матриця ризиків служить механізмом для розподілу ризиків і прийняття рішень щодо їх прийнятності, використовуючи підхід до категоризації ризиків. Кожна клітинка в матриці ризиків відповідає певній комбінації частоти та наслідків, і їй можна призначити пріоритетний номер. Після ідентифікації небезпек і потенційних нещасних випадків або подій для системи чи процесу, а також оцінки частоти або наслідків цих подій відповідно до існуючих заходів контролю, можна оцінити відносні ризики, пов'язані з цими подіями. Матриця ризиків служить механізмом для розподілу ризиків і прийняття рішень щодо їх прийнятності, використовуючи підхід до категоризації ризиків. Кожна клітинка в матриці ризиків відповідає певній комбінації частоти та наслідків, і їй можна призначити пріоритетний номер. Після ідентифікації небезпек і потенційних нещасних випадків або подій для системи чи процесу, а також оцінки частоти або наслідків цих подій відповідно до існуючих заходів контролю, можна оцінити відносні ризики, пов'язані з цими подіями. Матриця ризиків служить механізмом для розподілу ризиків і прийняття рішень щодо їх прийнятності, використовуючи підхід до категоризації ризиків. Кожна клітинка в матриці ризиків відповідає певній комбінації частоти та наслідків, і їй можна призначити пріоритетний номер.

наслідків цих подій відповідно до існуючих заходів контролю, можна оцінити відносні ризики, пов'язані з цими подіями. Матриця ризиків служить механізмом для розподілу ризиків і прийняття рішень щодо їх прийнятності, використовуючи підхід до категоризації ризиків. Кожна клітинка в матриці ризиків відповідає певній комбінації частоти та наслідків, і їй можна призначити пріоритетний номер.

Таблиця 2 – Загальна оцінка наслідків ризиків для суден морського транспорту

№	Ознака небезпеки	Вплив на безпеку персоналу	Вплив на довкілля	Категорія витрат	Загальна оцінка
1	Незначна (будь-яка несправність, яка не погіршує загальну продуктивність)	Невеликий дрібні травми (незначний вплив на персонал)	Мінімальне забруднення (10...100 літрів, розлив нафти або інших небезпечних речовин)	Мінімальна вартість / збиток менш за 50000 \$	Нульовий вплив (від мінімального до жодного)
2	Середня (будь-який збій, який призведе до погіршення роботи системи)	Середні травми / медична допомога персоналу	Невелике забруднення (100...1000 літрів)	Невелика вартість або збиток (50000...300000 \$)	Легкий вплив (незначне порушення)
3	Критична (будь-який збій, який погіршить роботу системи понад прийнятні межі та створить загрозу безпеці)	Серйозні травми персоналу	Помірне забруднення (1000... 10000 літрів)	Помірна вартість або збиток (300000...1000000 \$)	Значний вплив та значні наслідки
4	Катастрофічна (будь-який збій, який може призвести до втрат людей і/або судна)	Людські втрати / смертельні випадки	Велике забруднення (більше 10000 літрів)	Велика/високі збитки більш за 1000000 \$	Значний вплив на націо-нальному та міжнародному рівні

Після ідентифікації небезпек і потенційних нещасних випадків або подій для системи чи процесу, а також оцінки частоти або наслідків цих подій відповідно до існуючих заходів контролю, можна оцінити відносні ризики, пов'язані з цими подіями. Таблиця оцінки ризиків служить механізмом для розподілу ризиків і прийняття рішень щодо їх прийнятності, використовуючи підхід до категоризації ризиків. Кожна клітинка в матриці ризиків відповідає певній комбінації частоти та наслідків, і їй можна призначити пріоритетний номер.

Відповідальна особа повинна оцінити рівень ризику на основі серйозності та ймовірності, оцінених під час процесу аналізу ризиків, і класифікувати їх можливі комбінації як високий, середній або низький ризик у матриці ризиків. Після визначення рівня ризику, відповідальна особа може визначити відповідну реакцію, використовуючи табл. 3. Вищі рівні ризику вимагають більшого рівня реагування. Менеджмент використовує цю таблицю як орієнтир для оцінки рівня ризику за критеріями ризику:

високий / нестерпний ризик – потребує негайних заходів для зниження ризику до принаймні середнього рівня;

середній / допустимий ризик – вимагає визначення та впровадження заходів контролю ризику;

низький / прийнятний ризик – приймається як частина звичайного поточного процесу вдосконалення.

Таблиця 3 – Категорії ризику та терміни виконання запобіжних дій

Категорії ризику		Терміни виконання запобіжних дій
Низький	Прийнятний (1-3)	Немає необхідності в додаткових засобах контролю/запобіжних і пом'якшувальних діях або альтернативних діях, але слід розглянути економічно ефективні рішення або вдосконалення, які спричиняють мінімальні додаткові витрати або взагалі їх не стягують. Моніторинг необхідний, щоб переконатися, що контроль підтримується. Якщо значення ризику становить 1...3, оцінка припиняється.
Середній	Допустимий (4-9)	Необхідно докладати зусиль для зменшення ризику, але витрати на запобігання слід ретельно вимірювати та обмежувати. Заходи зі зменшення ризику, як правило, мають бути впроваджені протягом визначеного періоду часу.
Високий	Нестерпний (>9)	Роботу не можна розпочинати або продовжувати, доки рівень ризику не буде знижено, а цифри ризику не перейдуть у жовту або зелену зону. Хоча додаткові заходи контролю мають бути економічно ефективними, обов'язок компанії зменшити ризик є абсолютним. Якщо заходи контролю не дозволяють зменшити ризик, навіть за наявності необмежених ресурсів, то роботу не можна починати або вона повинна залишатися забороненою.

Найважливішим етапом у процесі оцінки ризиків є визначення заходів контролю для зменшення або усунення виявлених ризиків. Ризики можна зменшити наступними способами:

- 1) профілактичні заходи – зменшують ймовірність виникнення подій або знижують частоту завдяки покращеним процедурам, навчанню тощо;
- 2) заходи пом'якшення – зменшують тяжкість або наслідки подій, запобігаючи аваріям;
- 3) комбіновані заходи – одночасно знижують ймовірність і частоту подій, а також пом'якшують їх тяжкість і наслідки;
- 4) пом'якшення обставин – зменшують ймовірність виникнення невдач в обставинах, де це можливо;
- 5) альтернативні заходи – передбачають інші способи управління ризиками.

Якщо розглядаються численні заходи контролю, їх необхідно оцінити, щоб визначити, які з них мають найбільший вплив на зниження ризику. Після вибору відповідних нових заходів контролю слід повторити процес ранжування ризику, щоб оцінити, чи знизився ризик з високого до середнього рівня у разі впровадження обраних заходів. Процес слід повторювати до досягнення найнижчої категорії ризику.

Контроль виконання впроваджених заходів для зменшення ризиків є вирішальним етапом управління ризиками. На цьому етапі необхідно:

- 1) провести подальшу оцінку засобів контролю, щоб переконатися, що вони залишаються дієвими та мають бажаний ефект;
- 2) відстежувати зміни, які можуть вимагати подальшої оцінки ризиків;
- 3) вживати коригувальних дій у реальному часі.

Таким чином, систематичний підхід до управління ризиками передбачає не тільки визначення та впровадження відповідних заходів контролю, але й постійний моніторинг їхньої ефективності та адаптацію до нових умов і загроз.

Оцінка ризику при використанні штучного інтелекту в навігації є складним процесом, що включає розгляд різних аспектів технології, потенційних загроз і способів їх запобігання. Цей процес включає визначення та оцінку можливих загроз для безпеки та ефективності використання штучного інтелекту, а також встановлення заходів для зниження цих ризиків.

Ідентифікація ризиків передбачає визначення потенційних загроз та небезпек, які можуть виникнути внаслідок використання штучного інтелекту в навігації.

Основні аспекти оцінки ризику включають:

1) надійність технології – штучний інтелект може виявляти помилки або несправності, що можуть призвести до неправильних рішень або аварійних ситуацій. Важливо перевіряти та забезпечувати надійність алгоритмів і моделей штучного інтелекту;

2) доступність даних – точність рішень, прийнятих штучним інтелектом, залежить від якості та достовірності вхідних даних. Якщо дані неактуальні або неповні, це може призвести до некоректних прогнозів і підвищених ризиків;

3) кібербезпека – використання штучного інтелекту пов'язане з ризиками кібербезпеки, атаками на алгоритми, злам систем або маніпуляції вхідними даними;

4) інтеграція з людським фактором: Під час впровадження штучного інтелекту в навігаційні системи важливо враховувати взаємодію з екіпажем та людським фактором. Неправильне розуміння або використання штучного інтелекту може призвести до конфліктів або неправильних дій;

5) етичні питання: Використання штучного інтелекту в навігації також порушує етичні питання, зокрема щодо відповідальності за рішення, прийняті алгоритмами, а також за можливі наслідки аварійних ситуацій.

Послідовність оцінки ризиків через використання штучного інтелекту під час навігаційних переходів суден морського транспорту, приведена в табл. 4. Врахування цих аспектів дозволяє забезпечити більш безпечне та ефективне впровадження штучного інтелекту в навігаційні системи, знижуючи ризики та підвищуючи загальну надійність систем.

Таблиця 4 – Оцінка ризиків через використання штучного інтелекту під час навігаційних переходів суден морського транспорту

№	Ідентифікація ризиків		Аналіз ризиків	Початкова оцінка ризику		
	Небезпека	Потенційні наслідки	Існуючі заходи контролю	Ч	Н	Р
1	Технічна несправність штучного інтелекту з обробкою та синхронізацією введених даних .	Надання хибних результатів	Перевірка та надійності алгоритмів і моделей штучного інтелекту	4	2	8
2	Не точні отримані результати від штучного інтелекту	Негативний вплив на прийняття рішення	Аналіз та корегування отриманих результатів перед використанням	3	2	6
3	Низький рівень інтеграції між судовим персоналом та штучним інтелектом	Непорозуміння при взаємодії з системою	Навчання та тренування у взаємодії між судовим персоналом та штучним інтелектом	3	2	6
4	Кібербезпека системи штучного інтелекту	Хибний вплив на вхідні на вихідні дані	Блокування сторонніх фаєрволів та можливостей проникнути до системи	2	2	4
5	Переоцінка відповідальності за прийняття рішень	Аварійна загроза	Регламентування між порадами від штучного інтелекту та обов'язками навігаційного офіцера	3	4	12

Заходи що до зниження ризиків		Оцінка залишкового ризику		
№	Додаткові заходи контролю ризиків	Ч	Н	Р
1	Застосування сучасного комп'ютерного обладнання з можливістю використання резервного серверу для синхронізації даних	2	2	4
2	Завантаження потребуючої інформації для ще більш точних розрахунків	1	2	2
3	Використання базових моделей в комунікації між людиною та штучним інтелектом	1	2	2
4	Застосування сучасних систем кібербезпеки	1	2	2
5	Використовувати як допоміжний засіб інформації щодо забезпечення судноплавства	1	4	4

Врахування зазначених аспектів забезпечує підвищення безпеки та ефективності застосування штучного інтелекту для суден морського транспорту. Це сприяє зниженню ризиків і підвищує загальну надійність систем, оптимізуючи процеси управління та забезпечення безпеки судноплавства.

Висновки. Як результат виконаних досліджень зробимо наступні висновки.

1. Застосування структурованого підходу до управління ризиками є важливим при інтеграції штучного інтелекту в морський транспорт. Це включає систематичну ідентифікацію небезпек, оцінку ризиків та мінімізацію потенційних загроз, що підвищує безпеку та оперативну ефективність.

2. Сконцентрування на кількісному аналізі ризиків є критично важливим, оскільки це дозволяє не лише ідентифікувати, а й оцінити вплив потенційних загроз на морські операції. Це забезпечує більш об'єктивну основу для прийняття обізнаних рішень щодо заходів безпеки.

3. Забезпечення дотримання міжнародних норм безпеки судноплавства є невід'ємним аспектом під час використання штучного інтелекту для суден морського транспорту, включаючи ретельний аналіз ризиків штучного інтелекту для запобігання аваріям та мінімізація ризику виникнення небезпеки, що забезпечує безпечніше використання сучасних технологій.

4. Інтеграція спеціалізованих знань і практичних навичок з аналізу ризиків штучного інтелекту в освітні та кваліфікаційні програми морських фахівців є важливим кроком для підвищення рівня безпеки та ефективності морського транспорту.

5. Подальше вдосконалення та розвиток комплексного підходу до управління ризиками, пов'язаними з використанням штучного інтелекту в морському транспорті, є ключовим для забезпечення безпечніших та надійніших операцій.

ЛІТЕРАТУРА

- Сагін С.В., Сагін С.С. Визначення методу управління рухом суден морського транспорту під час забезпечення їх безпечного розходження // Водний транспорт. Збірник наукових праць. – 2023. – Вип. 2(38). – С. 187-198. doi.org/10.33298/2226-8553/2023.2.38.20.
- Ворохобин І.І. Зависимость вероятности безопасного прохождения судном стесненного района от закона распределения погрешности смещения // Судноводіння : науково-технічний збірник. – 2020. – Вип. 30. – Одеса : НУ «ОМА». – С. 58-66. DOI: 10.31653/2306-5761.30.2020.58-66.
- Бурмака І.А., Ворохобин І.І., Федоров Д.Б. Учет динамики судов при автоматическом выборе маневра расхождения уклонением одного судна и пассивным торможением другого //

- Судноводіння : науково-технічний збірник. – 2021. – Вип. 31. – С. 80-88. DOI: 10.31653/2306-5761.31.2021.80-88.
4. Burmaka I., Vorokhobin I., Melnyk O., Burmaka O., Sagin S. Method of Prompt Evasive Manuever Selection to Alter Ship's Course or Speed // *Transactions on Maritime Science*. – 2022. – Vol. 11(1). – P. 1-9. <https://doi.org/10.7225/toms.v11.n01.w01>.
 5. Ворохобін І.І., Бурмака І.О., Кулаков М.О., Петриченко О.О. Спосіб департаментизації електронної карти при зовнішньому управлінні розходження суден в зоні відповідальності СУРС // *Судноводіння : науково-технічний збірник*. – 2021. – Вип. 32. – Одеса : НУ «ОМА». – С. 26-33. DOI: 10.31653/2306-5761.32.2021.26-33.
 6. Сагін С.В., Сагін С.С. Використання штучного інтелекту в ситуаціях надмірного зближення суден // *Водний транспорт. Збірник наукових праць*. – 2024. – Вип. 1(39). – С. 215-225. doi.org/10.33298/2226-8553.2024.1.39.22.
 7. Дакі О.А., Пліта Л.Л., Трофименко І.В., Федунів В.М. Особливості та вимоги щодо навігаційного забезпечення безпеки судноводіння на внутрішніх судноплавних шляхах // *Водний транспорт. Збірник наукових праць*. – 2022. – Вип. 2(36). – С. 184-194. doi.org/10.33298/2226-8553.2022.2.36.15.
 8. Sagin S.V., Sagin S.S., Madey V. Analysis of methods of managing the environmental safety of the navigation passage of ships of maritime transport // *Technology Audit and Production Reserves*. – 2023. – № 4 (3(72)). – P. 33–42. doi: <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2023.286039>.
 9. Vorokhobin I. Determination of the Law of Probability Distribution of Navigation Measurements / I. Vorokhobin, A. Golikov, O. Haichenia, V. Sikirin, V. Severin / *Kaunas, Lithuania, 2020*. – P. 707-710.
 10. Майданевич С.Б., Тимошук О.М. Суб'єкти та принципи міжнародного морського права // *Водний транспорт. Збірник наукових праць*. – 2021. – Вип. 3(34). – С. 39-47. doi.org/10.33298/2226-8553/2021.3.34.05.
 11. Тимошук О.М., Дакі О.А., Бойко О.А., Карадобрій Т.А. Аналітичний огляд адаптивних систем керування судном та шляхи їх побудови // *Водний транспорт. Збірник наукових праць*. – 2020. – Вип. 3(31). – С. 120-125. <https://doi.org/10.33298/2226-8553/2020.3.31.13>.
 12. Sagin S.V., Kuropyatnyk O.A., Zablotskyi Yu.V. Gaichenia O.V. Supplying of Marine Diesel Engine Ecological Parameters // *Nase More : International Journal of Maritime Science & Technology*. – 2022. – Vol.69. – Iss.1. – P. 53-61. DOI 10.17818/NM/2022/1.7.
 13. Sagin S., Kuropyatnyk O., Sagin A., Tkachenko I., Fomin O., Píšťek V., Kučera P. Ensuring the Environmental Friendliness of Drillships during Their Operation in Special Ecological Regions of Northern Europe. *J. Mar. Sci. Eng.* 2022, 10(9), 1331. <https://doi.org/10.3390/jmse10091331>.
 14. Тимошук О.М., Боріна М.В. Дослідження методів підвищення екологічності судових енергетичних установок у водному середовищі // *Водний транспорт. Збірник наукових праць*. – 2022. – Вип. 2(36). – С. 240-252. doi.org/10.33298/2226-8553.2022.2.36.21.
 15. Sagin S.V., Karianskyi S., Sagin S.S., Volkov O., Zablotskyi Y., Fomin O., Píšťek V., Kučera P. Ensuring the safety of maritime transportation of drilling fluids by platform supply-class vessel // *Applied Ocean Research*, 2023. – Vol. 140. 103745. <https://doi.org/10.1016/j.apor.2023.103745>.
 16. Sagin S.V., Sagin S.S., Fomin O., Gaichenia O., Zablotskyi Y., Píšťek V., Kučera P. Use of biofuels in marine diesel engines for sustainable and safe maritime transport // *Renewable Energy*. – 2024. – Vol. 224. – P. 120221. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2024.120221>.
 17. Куропятник А. А., Сагин С.В. Управление выпускными газами судовых дизелей для обеспечения экологических показателей // *Автоматизация судовых технических средств : науч.-техн. сборник*, 2018. – Вып. 24. – С. 72-80.
 18. Moreno, F.C.; Gonzalez, J.R.; Muro, J.S.; Maza, J.A.G. Relationship between human factors and a safe performance of vessel traffic service operators: A systematic qualitative-based review in maritime safety. *Saf. Sci.* 2022, 155, 105892. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2022.105892>.
 19. Sagin S., Madey V., Sagin, A., Stoliaryk T., Fomin O., Kučera P. Ensuring Reliable and Safe Operation of Trunk Diesel Engines of Marine Transport Vessels. *J. Mar. Sci. Eng.* 2022, 10(10), 1373. <https://doi.org/10.3390/jmse10101373>.

20. Soner, O.; Kayisoglu, G.; Bolat, P.; Tam, K. Risk sensitivity analysis of AIS cyber security through maritime cyber regulatory frameworks. *Appl. Ocean Res.* 2024, 142, 103855. <https://doi.org/10.1016/j.apor.2023.103855>.
21. 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.
22. Khan, R.U.; Yin, J.; Mustafa, F.S.; Shi, W. Factor assessment of hazardous cargo ship berthing accidents using an ordered logit regression model. *Ocean Eng.* 2023, 284, 115211. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2023.115211>.
23. Тимошук О.М., Мельник О.В. Аналіз можливості використання маневру розходження зміною курсу // Водний транспорт. Збірник наукових праць. – 2023. – Вип. 1(37). – С. 96-102. doi.org/10.33298/2226-8553.2023.1.37.10.
24. Sagin S.V. Determination of the optimal recovery time of the rheological characteristics of marine diesel engine lubricating oils // Materials of the International Conference “Process Management and Scientific Developments” (Birmingham, United Kingdom, January 16, 2020. Part 4). – P. 195-202. DOI. 10.34660/INF.2020.4.52991.

REFERENCES

1. Sagin S.V., Sagin S.S., Determination of the method of controlling the movement of marine transport vessels while ensuring their safe divergences // Water transport. – 2023. – Вип. 2(38). – С. 187-198. doi.org/10.33298/2226-8553/2023.2.38.20.
2. Vorokhobin I. Impact of the cross-track error distribution law on safe navigation in narrow waters // Shipping & Navigation: Research journal. – 2020. – Vol.30. – P.58-66. doi.org/10.31653/2306-5761.30.2020.58-66.
3. Burmaka I., Vorokhobin I., Fedorov D. Account dynamics of ships at the automatic choice of manoeuvre of divergence by deviation of one ship and by the passive braking of the other // Shipping & Navigation: Research journal. – 2021. – Vol.31. – P.80-88. doi.org/10.31653/2306-5761.31.2021.80-88.
4. Burmaka I., Vorokhobin I., Melnyk O., Burmaka O., Sagin S. Method of Prompt Evasive Manuever Selection to Alter Ship's Course or Speed // Transactions on Maritime Science. – 2022. – Vol. 11(1). – P. 1-9. <https://doi.org/10.7225/toms.v11.n01.w01>.
5. Vorokhobin I., Burmaka I., Kulakov M., Petrychenko O.A Method of electronic chart departmenisation under external control of vessels' passing in VTS areas // Shipping & Navigation: Research journal. – 2021. – Vol.32. – P.26-33. doi.org/10.31653/2306-5761.32.2021.26-33.
6. Sagin S.S., Sagin S.V., Use of artificial intelligence in the situations of excessive vessel // Water transport. – 2024. – Vol. 1(39). – P. 215-225. doi.org/10.33298/2226-8553.2024.1.39.22.
7. Daki O.A., Plita L.L., Trofymenko I.V., Fedunov V.M. Feature and requirements for navigational safety of navigation on inland waterways // Water transport. – 2022. – Vol. 2(36). – P. 184-194. doi.org/10.33298/2226-8553.2022.2.36.15.
8. Sagin S.V., Sagin S.S., Madey V. Analysis of methods of managing the environmental safety of the navigation passage of ships of maritime transport // Technology Audit and Production Reserves. – 2023. – № 4 (3(72)). – P. 33–42. doi: <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2023.286039>.
9. Vorokhobin I. Determination of the Law of Probability Distribution of Navigation Measurements / I. Vorokhobin, A. Golikov, O. Haichenia, V. Sikirin, V. Severin / Kaunas, Lithuania, 2020. – P. 707-710.
10. Maydanevich S.B., Tymoshchuk O. Subjects and principles of the international maritime low // Water transport. – 2021. – Vol. 3(34). – P. 39-47. doi.org/10.33298/2226-8553/2021.3.34.05.
11. Tymoshchuk O., Daki O., Boyko O., Karadobriy T. Analytical Inspection of adaptive vessel control systems and ways of their construction // Water Transport: Collection of scientific works. – 2020. – Vol. 3(31). – P. 120-125. doi.org/10.33298/2226-8553/2020.3.31.13.

12. Sagin S.V., Kuropyatnyk O.A., Zablotskyi Yu.V. Gaichenia O.V. Supplying of Marine Diesel Engine Ecological Parameters // *Nase More : International Journal of Maritime Science & Technology*. – 2022. – Vol.69. – Iss.1. – P. 53-61. DOI 10.17818/NM/2022/1.7.
13. Sagin S., Kuropyatnyk O., Sagin A., Tkachenko I., Fomin O., Pištěk V., Kučera P. Ensuring the Environmental Friendliness of Drillships during Their Operation in Special Ecological Regions of Northern Europe. *J. Mar. Sci. Eng.* 2022, 10(9), 1331. <https://doi.org/10.3390/jmse10091331>.
14. Tymoshchuk O., Borina M. Research of methods of enhancing the environmental facility of ship power plants in the aquatic environment // *Water transport*. – 2022. – Vol. 2(36). – P. 240-252. doi.org/10.33298/2226-8553.2022.2.36.21.
15. Sagin S.V., Karianskyi S., Sagin S.S., Volkov O., Zablotskyi Y., Fomin O., Pištěk V., Kučera P. Ensuring the safety of maritime transportation of drilling fluids by platform supply-class vessel // *Applied Ocean Research*, 2023. – Vol. 140. 103745. <https://doi.org/10.1016/j.apor.2023.103745>.
16. Sagin S.V., Sagin S.S., Fomin O., Gaichenia O., Zablotskyi Y., Pištěk V., Kučera P. Use of biofuels in marine diesel engines for sustainable and safe maritime transport // *Renewable Energy*. – 2024. – Vol. 224. – P. 120221. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2024.120221>.
17. Kuropyatnyk O.O., Sagin S.V. Controlling the exhaust gases of marine diesel engines to ensure environmental performance // *Automation of ship technical facilities*. 2018. – Ed. 24. – P. 72-80.
18. Moreno, F.C.; Gonzalez, J.R.; Muro, J.S.; Maza, J.A.G. Relationship between human factors and a safe performance of vessel traffic service operators: A systematic qualitative-based review in maritime safety. *Saf. Sci.* 2022, 155, 105892. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2022.105892>.
19. Sagin S., Madey V., Sagin A., Stoliaryk T., Fomin O., Kučera P. Ensuring Reliable and Safe Operation of Trunk Diesel Engines of Marine Transport Vessels. *J. Mar. Sci. Eng.* 2022, 10(10), 1373. <https://doi.org/10.3390/jmse10101373>.
20. Soner, O.; Kayisoglu, G.; Bolat, P.; Tam, K. Risk sensitivity analysis of AIS cyber security through maritime cyber regulatory frameworks. *Appl. Ocean Res.* 2024, 142, 103855. <https://doi.org/10.1016/j.apor.2023.103855>.
21. 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.
22. Khan, R.U.; Yin, J.; Mustafa, F.S.; Shi, W. Factor assessment of hazardous cargo ship berthing accidents using an ordered logit regression model. *Ocean Eng.* 2023, 284, 115211. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2023.115211>
23. Tymoshchuk O., Melnyk O. Analysis of the possibility of using the divergence maneuver by changing the course // *Water Transport: Collection of scientific works*. – 2023 – Vol.1(37). – P.96-102. doi.org/10.33298/2226-8553.2023.1.37.10.
24. Sagin S.V. Determination of the optimal recovery time of the rheological characteristics of marine diesel engine lubricating oils // *Materials of the International Conference “Process Management and Scientific Developments”* (Birmingham, United Kingdom, January 16, 2020. Part 4). – P. 195-202. DOI. 10.34660/INF.2020.4.52991.

Sagin S.S., Vorokhobin I.I.

MINIMIZING THE RISK OF MARITIME INCIDENTS DURING NAVIGATION PASSAGES OF SEA TRANSPORT VESSELS

Considered the methods of control and management of risk assessment during the navigation passage of sea transport vessels with the usage of artificial intelligence. The marine event risk analysis process forms the fundamental basis for the development of preventive strategies that include hazard risk minimization and control measures that are critical to avoiding dangerous events that could result in significant loss or damage. The need for a systematic analysis of risks associated with the use of

artificial intelligence for maritime transport vessels includes the identification, assessment and minimization of potential threats.

An analytical assessment of the probability and frequency of marine events allows not only to assess the possible risks in detail, but also to classify them according to established criteria for better management and prevention. Such an approach contributes to increasing the accuracy of risk assessment and the development of effective strategies for their minimization, which is key to ensuring the safety of shipping and reducing the likelihood of potential losses.

A comprehensive approach to the risk assessment of the use of artificial intelligence in navigation covers the identification and assessment of potential risks to the safety of navigation and the efficiency of navigation systems. Special attention is paid to reliability of technology, availability of data, cyber security, integration with the human factor, and ethical issues. Reasonable decision-making in these directions ensures the safety of navigation and the efficiency of navigation systems using artificial intelligence.

A sequence of risk assessments for the use of artificial intelligence in the navigational passages of maritime transport vessels is an important tool to ensure the safe and effective implementation of this technology in navigation systems. This helps to reduce the risks of dangerous marine events and increase the reliability of decisions made on the basis of real-time data.

Key words: artificial intelligence, maritime transport, navigation passage, shipping safety, risk analysis and assessment, risk management method.

УДК 629.5.072:005.584

doi.org/10.33298/2226-8553.2024.2.40.08

Пліта Л.Л., Шевченко А.П., Урум Н.С., Лісовський С.В.

ОРГАНІЗАЦІЯ ВАХТОВОЇ СЛУЖБИ НА СУДНІ ЯК СКЛADOVA ЧАСТИНА ЙОГО БЕЗПЕКИ

Метою статті є систематизація принципів забезпечення безпеки мореплавства, принципів організації ходової навігаційної вахти й організації ходової вахти на містку, процедури несення вахти на містку, змісту постійних розпоряджень капітана та журналу розпоряджень на ніч, причин виклику капітана на місток. Для досягнення поставленої мети дослідження проведено аналіз відповідної літератури та виявлено цілі та вимоги, що висуваються для досягнення цілей Кодексу з управління безпечною експлуатацією суден. Чітко показаний розподіл сфер відповідальності посадових осіб за організацію вахти та належне несення її членами суднового екіпажу, особливий наголос зроблений на питанні організації вахти. Виявлені особливості організації навігаційної та машинної вахти ходової та на стоянці та принципи організації ходових вахт на містку. Розглянуті варіанти необхідної кількості судноводіїв та організації ходової навігаційної вахти, відповідно до переважаючих обставин несення вахти. Розкрито, що для підвищення ефективності дій екіпажу судна та запобігання аварійності на судах вводиться комплекс офіційно встановлених спеціальних дій закінченого характеру (процедури). Розкрито, що у практику несення ходової навігаційної вахти впроваджені такі процедури: приймання/здачі вахти; спостереження; ведення числення; визначення місця судна; розходження із зустрічним судном. Елементи процедури детально прописуються в інструкціях. Для контролю за правильністю відпрацювання процедури використовують чек-листи. Доведено, що саме такий підхід дозволяє гарантовано досягати необхідних якісних та часових показників виконання всіх дій та формувати в екіпажу свідоме ставлення до виконання своїх обов'язків. Коротко доведені вимоги капітана в Masters Standing

Orders та зміст письмові інструкції вахтовому помічнику щодо забезпечення навігаційної безпеки судна на ніч. Виявлені умови, за якими вахтовий помічник капітана повинен негайно викликати капітана на місток. Підкреслено, що розклад по тривогах є основою організації боротьби за живучість судна, згідно з яким встановлюються обов'язки всіх членів екіпажу та розписано загальний порядок дії вахти. Головним результатом дослідження вважається системний підхід і наочність щодо подання основних положень Кодексу. У подальшому дослідження спрямовані на порівняння заходів з організації вахтової служби на конкретному судні, досягнутий при цьому рівень безпеки з системними принципами, викладеними у міжнародних та національних документах.

Ключові слова: вахта, капітан, вахтовий помічник капітана, безпека судноплавства, місток, процедура, журнал розпоряджень.

Постановка проблеми. Для забезпечення безпеки плавання з давніх часів моряки ділили добу на вахти. Джеймс Кук наприкінці XVII століття відмовився від восьмигодинних вахт, ввів чотиригодинні, розділивши корабельну команду на дві рівні частини.

У теперішній час суднова вахта є особливим видом виконання службових обов'язків штурманами, механіками, радіооператорами, матросами, мотористами, машиністами, електриками тощо. Дані посадові особи, безперервно знаходячись на посту або робочому місці, забезпечують управління судном, його безпеку, виробничу діяльність. Капітан судна відповідає за організацію вахт загалом, старший помічник капітана (СПК) – за безпосереднє керівництво організацією вахтової служби, а вахтові помічники капітана (ВПК) – за належне несення вахти судовим екіпажем.

Різноманітні за своїм призначенням судна передбачають несення ходових і стоянкових вахт, тривалість яких залежить від кількості змін.

Вахтовий помічник під час несення своєї вахти є керівником для всієї вахтової служби судна і підпорядковується безпосередньо капітану. Він особисто відповідає за безпеку судна, його екіпажу, вантажу та іншого майна, виробничу діяльність. Вахтовий механік є начальником для всієї судномеханічної вахти (вахтові електромеханік, рефмеханік, інші фахівці машинної команди судна), відповідає за надійну роботу судових технічних засобів, забезпечує нормальну технічну експлуатацію судна. Він підпорядковується вахтовому помічнику капітана, а в частині експлуатації судових технічних засобів – старшому механіку. Вахтовий радіооператор підпорядковується безпосередньо капітану судна, а в частині спеціальних питань – начальнику судової радіотехнічної служби.

Історія розвитку судових вахт є дуже цікавою і заслуговує на окремий опис. Нагадаємо лише, що і у теперішній час судові вахти на судах різного класу мають певні відмінності, що визначаються розмірами судна й чисельністю екіпажу, обладнанням, районами плавання та ін. Але загальний порядок організації та несення вахти чітко прописаний у керівних документах та має безумовно виконуватися. Згодом частина з вахт відходить у минуле, але багато з них використовуються і донині.

Забезпечення безпеки судна як більш широка категорія як одну з найважливіших складових має вахтову служби, вимоги до організації та порядку несення якої прописані у низці міжнародних і національних документів, наприклад у Міжнародній конвенції про підготовку і дипломування моряків та несення вахти (ПДНВ) 78/95 (STSW) [1]. Із запровадженням Міжнародного кодексу з управління безпечною експлуатацією суден і запобіганням забрудненню (МКУБ) [2] на кожному судні має діяти Система управління безпекою (СУБ), в якій передбачено основні дії та процедури з організації вахти. Отже, фахівці з різних структур та організацій на різних посадах, моряки, портові працівники зобов'язані ретельно вивчити основні положення цих керівних документів, національних інструкцій та систематизувати їх для підвищення безпеки плавання.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Вахтова служба на всіх, без винятку судах у всіх країнах прапору, є цілодобовою. Вахта визначається як особливий вид службової діяльності, вимагає пильності, підвищеної уваги, безперервної присутності на посту або

робочому місці. Вахтові відповідають за належне несення вахти.

Питання морської безпеки є під постійним розглядом Міжнародної Морської Організації (ІМО). Прийнятий Міжнародний кодекс з управління безпечною експлуатацією суден і запобігання забрудненню вимагає чіткої організації вахтової служби.

Після ухвалення МКУБ [2] у низці досліджень обговорені певні заходи при організації та несенні вахти, в основному, констатуючого характеру. Але недостатньо розкриті питання адаптації даного документу щодо забезпечення безпеки судноплавства у конкретних умовах плавання або на стоянці. З іншого боку, фахівці не зробили спроби систематизувати наріжні камені МКУБ.

У роботі [3] присвячена побудові онтологічної моделі несення вахти на морському судні. Однак дана робота характеризується низкою суттєвих недоліків. По-перше, у статті розглядаються лише порушення порядку несення ходової вахти і посадових інструкцій членами вахтової команди і можливі викликані негативні наслідки. По-друге, наведені підходи щодо структуризації та формалізації знань у згаданій предметній області не містять систематизації шляхів підвищення безпеки судноплавства та не пропонують ефективних заходів забезпечення безпеки мореплавства при несенні вахти на судні.

Робота [4] розглядається безпечно управління судовими енергетичними установками, у тому числі при несенні вахти та особливості її організації. Питання дій вахтових членів екіпажу у різних умовах обстановки та взаємодії з іншими членами складу вахти розглядаються поверхово.

Автор роботи [5] доводить результати щодо професійного відбору і підготовки екіпажу до діяльності в екстремальних виробничих ситуаціях на морському судні, не концентруючись на питаннях дії членів екіпажу під час несення вахти.

У роботі [6] автор сконцентрувався на ролі психологічних аспектів людського фактору у судноплаванні взагалі, детально не розглядаючи їхній вплив на забезпечення безпеки мореплавства через бездоганне дотримання принципів організації ходової навігаційної вахти.

У роботі [7] розкриті питання вивчення радіотехнічних дисциплін на віртуальному тренажерному обладнанні майбутніми судовими механіками, де лише частково досліджується застосування засобів зв'язку та навігації при несенні вахти моряками.

Тому проведення дослідження щодо систематизації основних положень керівних документів щодо організації вахти на судах є актуальним завданням.

Метою статті є систематизація принципів забезпечення безпеки мореплавства, принципів організації ходової навігаційної вахти й організації ходової вахти на містку, процедури несення вахти на містку, змісту постійних розпоряджень капітана та журналу розпоряджень на ніч, причин виклику капітана на місток.

Основні результати дослідження.

1. Принципи забезпечення безпеки мореплавства

Міжнародні організації проводять величезну кропітку роботу щодо досягнення високого рівня безпеки судноплавства. Запровадження міжнародного Кодексу з управління безпечною експлуатацією суден і запобігання забрудненню (МКУБ) (резолюція ІМО А.74(118) з поправками Комітету з Безпеки на Морі (КБМ) ІМО М5С.104(73) від 05.12.2000 р.) зобов'язало судна втілювати на кожному судні Систему управління безпекою (СУБ). Норми цього документу та інших нормативних документів передбачають, що поряд з виконанням основних виробничих завдань – безпечним перевезенням вантажів і пасажирів за умов гарантування захисту довкілля, вахтовий склад має бути готовим керувати судном і судовими технічними засобами в нормальних умовах експлуатації та в разі виникнення аварійних ситуацій.

Необхідні процедури враховують міжнародні і національні вимоги до організації вахти. Детальний опис загальносуднової організації вахти наведено у судовій СУБ, що реалізує положення і вимоги СУБ Компанії. У загальносудновій організації виокремлюють організацію штурманської (навігаційної) служби і несення вахти. Загальна організація штурманської служби охоплює розподіл обов'язків навігаційних помічників, посадових обов'язків, форми і порядок заповнення навігаційних і судових журналів, розклад несення ходових і стоянкових вахт,

детальні процедури основних (ключових) операцій, системи зв'язку та порядок їхнього використання, системи проведення перевірок і доповідей про виявлені порушення (невідповідності). На рисунку 1 наведено структурну схему з реалізації принципів забезпечення безпеки мореплавства в судноплавній компанії.

Вахта відноситься до спеціального виду діяльності суднового екіпажу. Вахта має на меті постійне забезпечення посадового рівня безпечної експлуатації судна на ходу і на стоянці. За організацію вахтової служби відповідає капітан судна, за безпосереднє керівництво вахтовою службою – СПК і старший механік, а за належне несення вахти (watch team) – особи командного складу, які очолюють вахту.

Суднова вахтова служба в будь-який момент часу має бути достатньою і відповідати умовам й обставинці. Певні умови, наприклад, близькість небезпек, обмеження суднових технічних засобів, умови погоди, стан видимості та інші обставини, можуть стати завадою для забезпечення безпечної експлуатації і нормальної життєдіяльності судна звичайним складом вахтового персоналу. Тоді капітан має право посилити суднову вахтову службу.

Багаточисельними дослідженнями та доброю морською практикою доведено, що однією з головних умов забезпечення якісного несення вахти є гарний відпочинок перед вахтою всією вахтовою командою. Ця норма часу відпочинку перед заступанням на вахту суворо прописана у конвенції STCW та має складати 10 годин, і щонайменше 6 годин безперервного сну під час розподілу цього часу. Будь-який член екіпажу, який з будь-яких причин не отримав належного відпочинку перед вахтою і відчуває втому, до несення вахтової служби допускати не повинен.

Основи організації вахтової служби та обов'язки суднового екіпажу визначені Статутом служби на морських суднах, або іншим нормативним документом Компанії.



Рисунок 1 – Структурна схема з реалізації принципів забезпечення безпеки мореплавства в судноплавній компанії

Розрізняють деякі види вахт. Розглянемо їх детальніше.

2. Види вахт. Принципи організації ходової навігаційної вахти

Ходова навігаційна (палубна) вахта забезпечує безперервне організоване спостереження за навколишньою обстановкою і має на меті виконання системи певних заходів (рис. 2).



Рисунок 2 – Основні цілі несення навігаційної вахти

Залежно від умов плавання під час вибору варіанта організації ходової навігаційної вахти зазвичай дотримуються таких основних принципів:

- забезпечення реальної безпеки судна під час несення вахтової служби на містку і в машинному відділенні;
 - використання всіх наявних технічних засобів для забезпечення безперервного спостереження;
 - відповідність складу вахти фактичним умовам плавання – інтенсивності руху в районі плавання судна, наявності навігаційних та інших небезпек, часу доби, року, видимості, стану моря і погоди, наявності і силі вітру, діючим течіям і припливам;
 - виділення складу вахти достатнього часу на відпочинок перед вахтою;
 - забезпечення безперебійної роботи навігаційного та технічного обладнання, встановленого на містку;
 - здійснення контролю за належною роботою приладів і устаткування, визначення поправок навігаційних приладів, встановлення у разі потреби, різних аварійних сигналів;
 - необхідність виконання/невиконання процедур, встановлених Компанією;
 - необхідність заповнення/незаповнення різних журналів і контрольних листів, встановлених Компанією;
 - урахування міжособистісних відносин між членами вахти, помічниками капітана, що змінюються, та індивідуальних особливостей ВПК (досвідченість, рішучість, самовпевненість тощо);
 - наявність методики оцінки ризику мореплавства в цих умовах.
- Машинна вахта забезпечує (рис. 3):

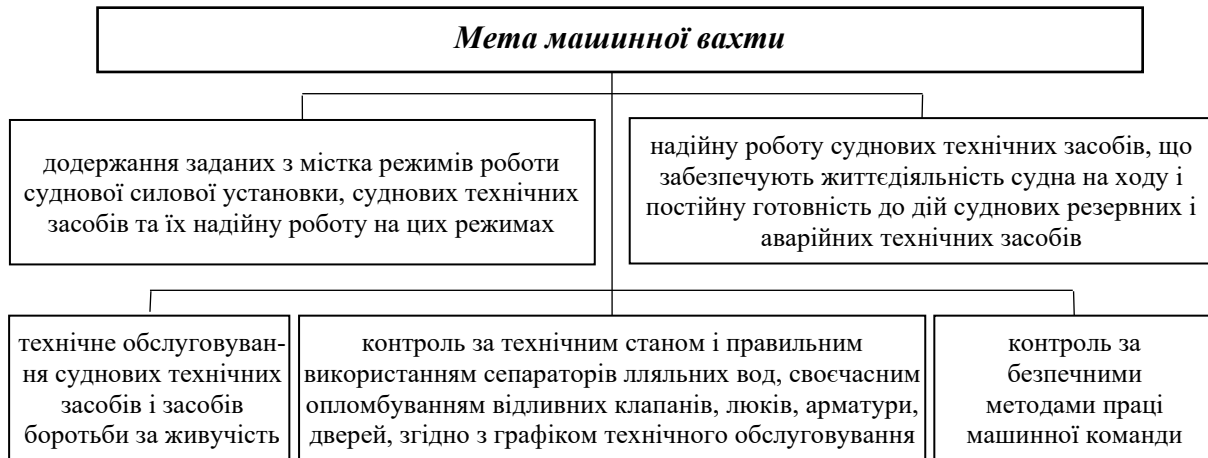


Рисунок 3 – Основні цілі несення машинної вахти

По аналогії з ходовою на стоянці вахта також поділяється на навігаційну (палубну) вахту та машинну вахту на стоянці.

Навігаційна (палубна) вахта на стоянці здійснює (рис. 4):

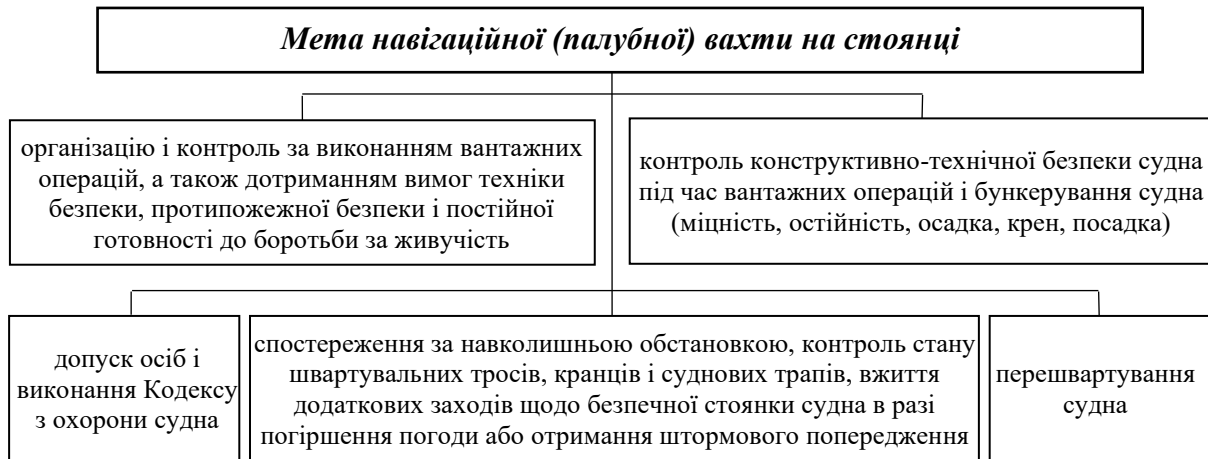


Рисунок 4 – Основні цілі несення навігаційної (палубної) вахти на стоянці

Машинна вахта на стоянці забезпечує (рис. 5):

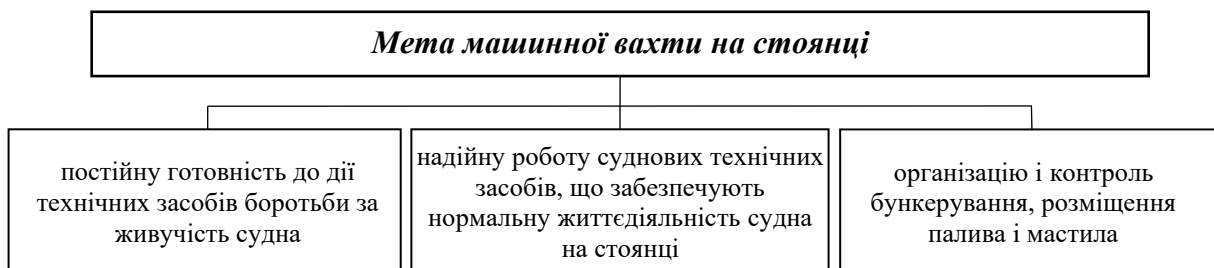


Рисунок 5 – Основні цілі несення машинної вахти на стоянці

3. Організація ходової вахти на містку

До особистої відповідальності капітана відноситься забезпечення несення навігаційної вахти відповідно до Частини 3 Глави VIII ПДМНВ «Несення вахти на морі». Принцип організації ходових вахт на містку (кількість судноводіїв) та варіант організації ходової навігаційної вахти, відповідно до переважаючих обставин несення вахти, наведено на рис. 6.

Під час ходу судна капітан за своїм рішенням встановлює склад навігаційної вахти на містку про що має бути ясно вказано і записано у Судновий журнал.

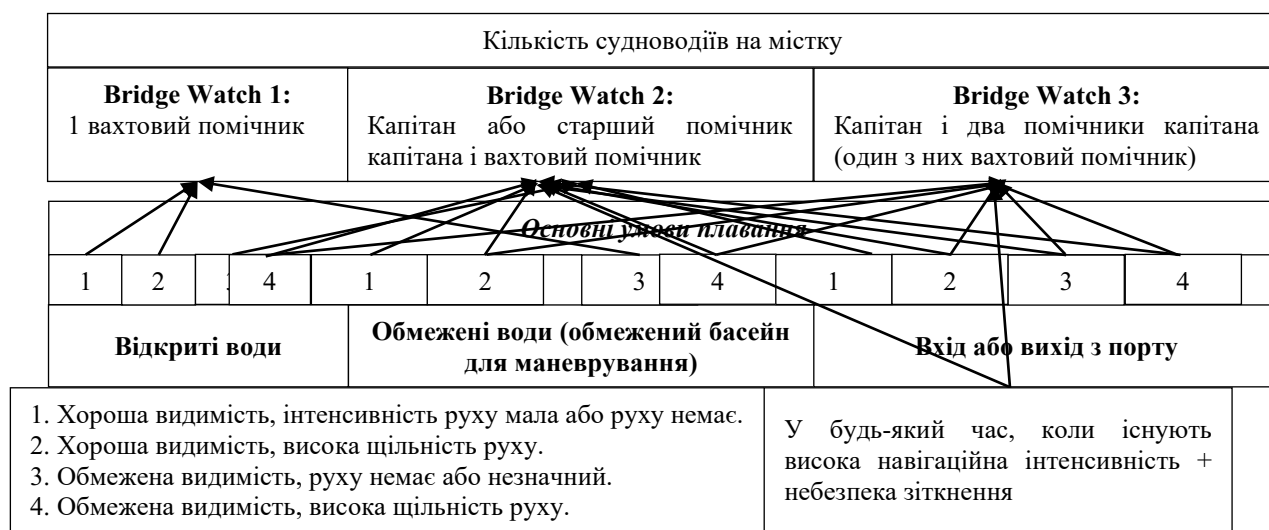


Рисунок 6 – Кількість судноводіїв на містку та варіанти організації ходової навігаційної вахти відповідно до переважаючих обставин несення вахти

Склад навігаційної вахти має підтримати безперервне належне спостереження, для чого капітан враховує всі дотичні до справи фактори:

- видимість, стан погоди і моря;
- інтенсивність руху та інші активні дії в районі плавання;
- врахування необхідності плавання в (або поблизу) системи поділу руху або інших встановлених маршрутів;
- додаткове робоче навантаження на вахту через виконувані судном операції;
- готовність і придатність до виконання своїх обов'язків членами екіпажу, закріпленими за вахтою;
- знання і довіра до ступеня компетентності керівників і рядових членів екіпажу;
- досвід та рівень знань суднового обладнання кожним вахтовим помічником;
- активні дії на борту судна, у т.ч. активність радіообміну, можливість швидкого виклику необхідних людей на місток у будь-який час;
- працездатність приладів на містку, включаючи системи сигналізації;
- маневрені характеристики судна і контроль за роботою рульової та гребної машини;
- розміри судна та огляд з місця керування;
- конфігурація містка та її вплив такої на спроможність слухового і візуального виявлення членами вахти розвитку навколишнього оточення;
- будь-які інші доречні стандарти, процедури, що відносяться до розстановки вахти і придатності до вахти, які схвалені ІМО.

Очевидно, що плавання в обмежених умовах у порівнянні з іншими основними умовами накладає значне додаткове навантаження на екіпаж цілком та на вахту, зокрема. Тому для таких умов найважливішу роль для забезпечення безпеки судноплавства відіграє чітка організація служби на містку судна («організація містка»). До неї відносяться такі основні елементи:

- посилення вахти на містку за рахунок виклику додаткових судноводіїв;
- чіткий розподіл функціональних обов'язків між судноводіями, що забезпечує паралельне опрацювання навігаційної інформації, подання її в зручному для сприйняття вигляді, що дає змогу капітану сконцентрувати увагу на оцінюванні ситуації та ухваленні оптимальних рішень з управління судном;
- дублювання всіх основних елементів контролю за місцем розташування і рухом судна (різними судноводіями, різними технічними засобами, різними методами);

– самоконтроль і взаємний контроль помічників капітана під час вирішення завдань судноводіння.

4. Процедури несення вахти на містку

У загальному випадку під процедурою мається на увазі взаємопов'язана послідовність дій закінченого характеру будь-де. Виходячи з цього, МКУБ конкретизувала визначення процедури як спеціального документального опису специфічної роботи, відповідальності й очікуваного результату, наведеного у письмовому вигляді.

Раціональна організація несення вахти на містку (ходової навігаційної вахти) у вигляді впровадження логічно закінчених процедур у практику несення ходової навігаційної вахти вважається одним з важливих чинників для успішного виконання багатофункціонального завдання керування судном. Саме Резолюція ІМО А.741(18) від 04.11.1993 р., що вводить у дію МКПЗС, передбачає виготовлення комплексу документів, що розкривають процедури несення ходової навігаційної вахти, а саме її приймання/здачі, спостереження, ведення числення, визначення місця судна, розходження із зустрічним судном. Відмічені процедури для підвищення ефективності дій екіпажу, що сприяє загальному запобіганню аварійності, деталізовані в інструкціях. Вони розглядаються як документ, що чітко регламентує порядок виконання певних норм і правил [1]. При цьому особливий наголос робиться на комплексному, послідовному відпрацюванні процедур всіма посадовими особами екіпажу, аж до повного автоматизму, з обов'язковим глибоким контролем, що дозволяє екіпажу свідоме виконувати свої обов'язки.

Тематична згрупованість вимог і рекомендацій щодо забезпечення безпеки ходової навігаційної вахти, викладених у Конвенції ПДМНВ-78/95, сприяла представленню процедур як способу реалізації цих вимог. Дані вимоги за основними видами діяльності екіпажу згруповані у чотири послідовні частини: дипломованість моряків; планування рейсу; несення вахти в морі і в порту.

Судно й екіпаж виконують свої різноманітні завдання у різних умовах – ясної та обмеженої видимості, темного часу доби, у прибережних водах й ускладнених для плавання районах, а також з лоцманом на борту. Кожний вид плавання відрізняється окремими обов'язковими заходами.

Безпека навігаційної вахти в морі забезпечується виконанням цілого переліку вимог:

1. Капітан судна організує належне несення безпечної навігаційної вахти, керує ВПК і відповідає за загальну безпеку судноводіння.

2. ВПК під час несення своєї вахти відповідає за безпечне плавання і дотримання МППЗС-72.

3. На чисельність ходової навігаційної вахти під час ухвалення рішення впливають:

– необхідність присутності персоналу вахти на ходовому містку на постійній основі, можливість його негайного посилення та несення радіовахти;

– час доби, видимість, стан погоди і моря, наявність навігаційних небезпек, інтенсивність судноплавства;

– необхідність посилення уваги під час маневрування, плавання поблизу навігаційних небезпек;

– досвід і професійні знання кожного ВПК, професійні якості осіб, призначених до складу ходової навігаційної вахти;

– тип судна, особливості обладнання та робочого стану містка й органів управління машинним відділенням, наявність авторульового;

– характер виконуваних у конкретний час на судні робіт.

4. Перед заступленням на вахту ВПК зобов'язаний:

– перевірити здатність персоналу вахти, яка заступає, повністю виконувати обов'язки, особливо в умовах нічного спостереження;

– перевірити дію навігаційних вогнів, сигналів, засобів зв'язку та сигналізації;

– вивчити стан і місце розташування судна, навколишню обстановку, прогноз погоди та

штормових попереджень, розпорядження капітана по вахті;

- проводити зміну вахти лише при нескладній обстановці.

5. Під час заступлення на вахту ВПК повинен:

- перевірити точність місцеположення судна, прокладений курс і відповідність йому показань гіроскопічного і магнітного компасів, затверджену швидкість, осадку, можливі навігаційні небезпеки; показання приладів пульта управління і рульового пристрою; режими роботи головних двигунів; справність суднових технічних засобів навігації; узгодження курсографа за курсом і часом;

- оцінити вплив течій, припливів, гідрометеоумов і навігаційної обстановки на плавання судна;

- після приймання вахти перевірити попередню прокладку і розрахувати місцеположення судна найточнішим у цих умовах способом.

6. Коли видимість є обмеженою ВПК при прийнятті вахти на ходу додатково перевіряє готовність якорів до негайної віддачі і головних двигунів до негайної зміни режиму роботи.

7. При несенні ходової навігаційної вахти ВПК зобов'язаний:

- за жодних обставин не залишати ходовий місток при несенні вахти;

- витримувати задані капітаном курс і режим, шляхом обчислення шляху і контролю за місцеположенням судна, і регулярної перевірки курсу, швидкості та місця судна з допомогою навігаційного обладнання, виконуючи норми і правила безпеки плавання;

- постійно спостерігати за обстановкою за допомогою візуальних, слухових і приладових технічних засобів;

- відповідати за безпеку судноводіння у будь-яких умовах обстановки, особливо у складних для плавання районах, підходах до гідротехнічних споруд, причалів, рейдів, скрутних ділянок шляху, льодових полів, перед входом у порт і виходом з нього, при виконанні швартовних операцій;

- перевіряти технічні засоби навігації, радіоблабднання, ходові і сигнальні вогні, органи управління кермом і машинами;

- контролювати дії персоналу вахти, надавати йому необхідну інформацію, особливо про судна, що наближаються, вживати своєчасних правильних дій для розбіжності відповідно до МППЗС-72;

- у разі погіршення видимості або підходу до району з обмеженою видимістю провести комплекс заходів щодо виконання вимог МППЗС-72 із забезпечення безпеки судноплавства, уточнення координат судна;

- під час плавання в прибережних водах й обмежених умовах використовувати більше одного способу для визначення місцеположення судна при скороченні інтервалу контролю;

- чітко впізнавати всі навігаційні знаки, що зустрічаються;

- підтримувати тісний контакт за присутності лоцмана на борту судна, не зменшуючи уваги за безпекою судна;

- за необхідності без вагань використовувати кермо, машину і звукову сигнальну апаратуру.

8. Під час плавання внутрішніми водними шляхами ВПК додатково до вказаних вище обов'язків повинен:

- забезпечити у своїй смузї руху безпечну швидкість судна, регулюючи яку досягається розбіжність або обгін у найзручнішому місці, крім зон поворотів;

- завчасно узгодити порядок розходження або обгону між суднами і під час виконання маневрів забезпечити впевнене керування судном;

- сповіщати всі зацікавлені сторони про небезпеки для плавання через виявлені зміни умов судноплавства.

9. Під час постановки судна на якір ВПК повинен:

- здійснювати контроль за навколишнім оточенням, швидкістю і шляхом судна до місця якірної стоянки, стежити за зміною контрольних пеленгів, дистанцій, глибин;

– у точці постановки гасити інерцію судна і дати команду на віддачу якоря на необхідну довжину якір-ланцюга для визначення можливого переміщення корми судна шляхом побудови окружності з урахуванням довжини судна і витравленого якір-ланцюга від місця віддачі якоря, переконатися у відсутності дрейфу судна завдяки одержаним відомостям про місцезнаходження судна і контрольні пеленги, глибину, ґрунт, течію, вітер, хвилювання і довжину витравленого якір-ланцюга тощо.

11. Під час несення вахти на якірній стоянці ВПК повинен:

– контролювати стан якір-ланцюга, навігаційних, суднових вогнів і знаків, зміни глибини під кілем і рівня води в місці якірної стоянки, навколишню обстановку, оточуючі судна, попереджати про небезпечне зближення з ними;

– забезпечити безпеку судна у разі дрейфу судна або небезпечного зближення з іншими суднами;

– приготуватися до зйомки з якоря у разі штормового попередження або різкої зміни гідрометеорологічної обстановки;

– спостерігати за навколишнім оточенням, увімкнути РЛС, навігаційні вогні, подавати звукові сигнали при погіршенні видимості.

5. Постійні розпорядження капітана (Masters Standing Orders)

Кожен капітан судна зобов'язаний сформулювати вимоги щодо організації вахтової служби на судні та його забезпечення навігаційної безпеки, враховуючи такі фактори:

- мінімальної дистанції розбіжності;
- складу вахтової служби на містку;
- процедури виклику капітана на місток;
- спостереження та обов'язків спостерігачів;
- використання автоматичного управління судном;
- безпечної швидкості;
- процедури перевірки навігаційного обладнання;
- процедури плавання в умовах обмеженої видимості тощо.

Вимоги капітана в Masters Standing Orders впливають зі специфіки, особливостей судна, обставин та умов плавання. Критерії безпеки мають бути представлені по можливості конкретними, чисельними значеннями. Вахтові помічники зобов'язані ознайомитися і підписати вимоги капітана.

6. Журнал розпоряджень на ніч (Night Order Book).

Капітан судна щоразу ввечері, якщо судно на ходу або на якорі, повинен залишити письмові інструкції вахтовому помічнику. Ці інструкції мають бути записані в «Night Order Book», а вахтові помічники ознайомлені з їхнім змістом, для того щоб капітан був упевнений у тому, що в нічний час буде забезпечена навігаційна безпека судна. В інструкції вахтовим поміщикам, як правило, включаються такі пункти:

а) *коли судно в морі:*

- курс і швидкість судна;
- умови навколишнього середовища;
- важливі навігаційні орієнтири;
- суднопотоки, що перетинаються, скупчення суден, райони передбачуваного лову риби;
- обмеження і будь-яка інша інформація, яка може бути корисною для забезпечення безпечного плавання тощо.

б) *коли судно на якорі:*

- частота і контроль судна на якорі пеленгуванням орієнтирів;
- підтримка радіовахти для зв'язку з берегом, лоцманом;
- готовність двигуна до маневрів;
- заходи з охорони судна тощо.

Кожен вахтовий помічник повинен розписатися в ознайомленні з вказівками капітана в

Night Order Book перед заступленням на вахту.

7. Виклик капітана на місток

Вахтовий помічник капітана повинен НЕГАЙНО сповістити капітана:

- у разі погіршення або очікуваного погіршення видимості;
- у разі складнощів, що можуть виникнути через особливості суднопотоку або переміщення окремих суден, збереження заданого курсу;
- у разі невиявлення (або несподіваного відкриття) берегу, навігаційного знаку або очікуваної (несподіваної зміни) глибини в розрахований час;
- у разі поломки головних двигунів, органів дистанційного керування руховою установкою, рульового пристрою, навігаційного обладнання, аварійно-попереджувальної сигналізації або індикатора;
- у разі відмови радіобладнання;
- у штормову погоду при можливих пошкодженнях;
- у разі зустрічі небезпеки для плавання на шляху судна.

8. Дії вахти при оголошенні тривоги

Розклад по тривогах є основою організації боротьби за живучість судна. Він встановлює обов'язки всіх членів екіпажу і місця їхнього збору за сигналом суднової тривоги.

З оголошенням загальносуднової тривоги вахтові залишаються на місцях вахт доти, доки не прибуде на це місце член екіпажу, який за розкладом заступає на вахту.

За тривоною «Людина за бортом» зміна вахт зазвичай не проводиться.

У загальному випадку за сигналом тривоги вахтові члени екіпажу повинні:

- посилити спостереження за горизонтом, повітрям і водою;
- перевірити стан закриття дверей у водонепроникних переборках;
- визначити місце розташування судна;
- увімкнути і перевірити внутрішньосудновий зв'язок;
- у разі потреби підняти відповідний прапорцевий сигнал за міжнародним зведенням сигналів (МЗС) і зробити первісне оповіщення в ефір;
- увімкнути на містку переносну УКХ-радіостанцію на частоту, зазначену в розкладі по тривогах;
- оповістити людей, зайнятих роботами в місцях, де сигнал тривоги міг бути не почутий;
- забезпечити освітлення судна і збір інформації про аварію.

Вахтовий склад машинної команди під керівництвом старшого механіка забезпечує готовність до дії суднові технічні засоби боротьби за живучість.

Члени екіпажу, які виходять на вахту за сигналом тривоги, повинні мати екіпірування, що забезпечує їхню живучість і дає змогу надійно діяти в аварійній ситуації.

Висновки. Як і сотні років тому, суднова вахта у XXI столітті залишається специфічним видом виконання службових обов'язків, який забезпечує управління та безпеку судна. Від усіх членів вахтової команди вимагається пильність, уважність, спостережливість і безперервне перебування на робочому місці.

Міжнародні та національні керівні документи чітко розподіляють сфери відповідальності посадових осіб за організацію вахти та належне несення її членами суднового екіпажу.

При розгляді принципів забезпечення безпеки мореплавства в судноплавній компанії особливий наголос зроблений на питанні організації вахти.

Виявлені особливості організації навігаційної та машинної вахти ходової та на стоянці та принципи організації ходових вахт на містку. Розглянуті варіанти необхідної кількості судноводіїв та організації ходової навігаційної вахти, відповідно до переважаючих обставин несення вахти.

Підкреслено, що за умови хорошої видимості при низькій інтенсивності руху або його відсутності на відкритих водах на містку знаходиться один вахтовий помічник (Bridge Watch 1). На відкритих водах при погіршенні видимості та/або збільшенні щільності руху застосовується схема Bridge Watch 2 або навіть Bridge Watch 3.

В обмеженому басейні для маневрування, при вході чи виході з порту та у будь-який час, коли існують висока навігаційна інтенсивність і небезпека зіткнення, коли у порівнянні з іншими умовами накладається значне додаткове навантаження на вахту, на містку завжди знаходяться капітан або старший помічник капітана і вахтовий помічник (Bridge Watch 2) чи навіть капітан і два помічники капітана (один з них вахтовий помічник) (Bridge Watch 3). Саме посилення організації служби на містку судна за таких умов забезпечує безпеку судноплавства.

Для підвищення ефективності дій екіпажу судна та запобігання аварійності, згідно з вимогами МКУБ, на суднах вводяться певні процедури. Так, у практику несення ходової навігаційної вахти за Резолюцією ІМО А.741(18) від 04.11.1993 р. впроваджені такі процедури: приймання/здачі вахти; спостереження; ведення числення; визначення місця судна і його розходження із зустрічним судном. Елементи процедури детально прописуються в інструкціях. Контроль правильності виконання процедур здійснюється за чек-листами. Доведений алгоритм дозволяє гарантувати досягнення необхідних якісних та часових показників виконання всіх дій та формувати в екіпажу свідоме ставлення до виконання своїх обов'язків.

Належна організація вахтової служби та забезпечення навігаційної безпеки судна досягаються шляхом урахування низки факторів, що впливають зі специфіки, особливостей судна, обставин та умов плавання та відображаються у вигляді вимог капітана в Masters Standing Orders.

Капітан судна щодобово ввечері за будь-яких умов залишає письмові інструкції вахтовому помічнику щодо забезпечення навігаційної безпеки судна, незалежно від того, знаходиться судно в морі або на якорі.

У будь-яких умовах, коли значно погіршується видимість, на шляху судна зустрічаються небезпеки для плавання, у разі виникнення аварійної ситуації або будь-яких сумнівів ВПК повинен негайно викликати капітана на місток.

Підкреслено, що розклад по тривогах є основою організації боротьби за живучість судна, згідно з яким встановлюються обов'язки всіх членів екіпажу та розписано загальний порядок дії вахти.

ЛІТЕРАТУРА

1. Міжнародна конвенція про підготовку і дипломування моряків та несення вахти 1978 року : Конвенція Міжнар. мор. орг. від 07.07.1978 р. : станом на 25 черв. 2010 р. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/995_053#Text (дата звернення: 15.05.2024).
2. Регламент Європейського Парламенту і Ради (ЄС) № 336/2006 від 15 лютого 2006 року про імплементацію Міжнародного кодексу з управління безпекою в межах Співтовариства та про скасування Регламенту Ради (ЄС) № 3051/95 : Регламент Європ. Союзу від 15.02.2006 р. № 336/2006 : станом на 26 лип. 2019 р. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/984_006-06#Text (дата звернення: 15.05.2024).
3. Побудова онтологічної моделі несення вахти на морському судні / В.М. Іваненко та ін. *Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки*. Том 32(71). № 5. 2021. С. 253–258.
4. Ланчуковский В.И. Безопасное управление судовыми энергетическими установками. Учебник. Одесса : Астропринт, 2004. 232 с.
5. Годованюк С.П. Деятельность экипажа в экстремальных производственных ситуациях на морском судне, профессиональный отбор и подготовка. *Науковий вісник ХДМА: науковий журнал*. Херсон: Херсонська державна морська академія. 2014. Вип. 2 (11). С. 14–21.
6. Топалов В.П., Торский В.Г. Человеческий фактор в судоходстве: учебно-практическое пособие. Одесса: Астропринт, 2015. 244 с.
7. Рижков Ю.В. Сучасні методики вивчення радіотехнічних дисциплін на віртуальному тренажерному обладнанні майбутніми судовими механіками. *Педагогічна освіта: теорія і практика*. 2022. Вип. 32 (1-2022). С. 296–307 DOI: 10.32626/2309-9763.2022-32.
8. Shaul Kimhi. Understanding Good Coping: A Submarine Crew Coping with Extreme

- Environmental Conditions. *Psychology*. 2011. Vol. 2, № 9. P. 961–967. DOI: 10.4236/psych.2011.29145.
9. Tugce M. Prioritization of crew activities to apply autonomous technologies : master's thesis / University of South-Eastern Norway, Faculty of Technology, Natural Sciences and Maritime Sciences. 2021. 109 p.
10. Determining the most influential human factors in maritime accidents: A data-driven approach / A. Coraddu et al. *Ocean Engineering*. 2020. № 211. DOI: 10.1016/j.oceaneng.2020.107588.
11. Perera L.P., Guedes S.C. Collision risk detection and quantification in ship navigation with integrated bridge systems. *Ocean engineering*. 2015. № 109. P. 344–354.

REFERENCES

1. *Mizhnarodna konventsiiia pro pidhotovku i dyplovuvannia moriakiv ta nesennia vakhty 1978 roku* [International Convention on Standards of Training, Certification and Watchkeeping for Seafarers 1978]: Konventsiiia Mizhnar. mor. orh. vid 07.07.1978 r. : stanom na 25 cherv. 2010 r. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/995_053#Text (accessed: 15.05.2024) (in Ukrainian).
2. *Rehlament Yevropejs'koho Parlamentu i Rady (YeS) № 336/2006 vid 15 liutoho 2006 roku pro implementatsiiu Mizhnarodnoho kodeksu z upravlinnia bezpekoiu v mezhakh Spivtovarystva ta pro skasuvannia Rehlementu Rady (YeS) № 3051/95* [Regulation (EC) No 336/2006 of the European Parliament and of the Council of 15 February 2006 on the implementation of the International Safety Management Code within the Community and repealing Council Regulation (EC) No 3051/95]: Rehlament Yevrop. Soiuzu vid 15.02.2006 r. № 336/2006 : stanom na 26 lyp. 2019 r. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/984_006-06#Text (accessed: 15.05.2024) (in Ukrainian).
3. Ivanenko, V.M. et al. (2021). *Pobudova ontolohichnoi modeli nesennia vakhty na morskому sudni* [Building an Ontological Model of Watchkeeping on a Sea-Going Ship]. *Vcheni zapysky TNU imeni V.I. Vernadskoho. Serii: Tekhnichni nauky*, 32(71)(5), 253–258 (in Ukrainian).
4. Lanchukovskij, V.I. (2004). *Bezopasnoe upravlenie sudovymi ehnergeticheskimi ustanovkami. Uchebnik* [Safe Management of Ship Power Plants. Textbook]. Odessa: Astroprint (in Russian).
5. Godovanyuk, S.P. (2014). *Deyatel'nost' ekipazha v ekstremal'nykh proizvodstvennykh situatsiyakh na morskom sudne, professional'nyj othor i podgotovka* [Crew Activities in Extreme Production Situations on a Sea-Going Ship, Professional Selection and Training]. *Naukovyj visnyk KhDMA: naukovyj zhurnal*, 2(11), 14–21. Kherson: Khersons'ka derzhavna mors'ka akademiia (in Russian).
6. Topalov, V.P., & Torskij, V.G. (2015). *Chelovecheskij faktor v sudokhodstve: uchebno-prakticheskoe posobie* [Human Factor in Shipping: Educational and Practical Guide]. Odessa: Astroprint (in Russian).
7. Ryzhkov, Yu.V. (2022). *Suchasni metodyky vyvchennia radiotekhnichnykh dystsyplin na virtual'nomu trenazhernomu obladnanni majbutnimy sudnovymy mekhanikamy* [Modern Methods of Studying Radio Engineering Disciplines on Virtual Simulator Equipment by Future Marine Engineers]. *Pedahohichna osvita: teoriia i praktyka*, 32(1-2022), 296–307. <https://doi.org/10.32626/2309-9763.2022-32> (in Ukrainian).
8. Shaul Kimhi. (2011). *Understanding Good Coping: A Submarine Crew Coping with Extreme Environmental Conditions*. *Psychology*, 2(9), 961–967 <https://doi.org/10.4236/psych.2011.29145>
9. Tugce, M. (2021). *Prioritization of crew activities to apply autonomous technologies: master's thesis*. University of South-Eastern Norway, Faculty of Technology, Natural Sciences and Maritime Sciences.
10. Coraddu, A. et al. (2020). *Determining the most influential human factors in maritime accidents: A data-driven approach*. *Ocean Engineering*, 211. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2020.107588>
11. Perera, L.P., & Guedes, S.C. (2015). *Collision risk detection and quantification in ship navigation with integrated bridge systems*. *Ocean Engineering*, 109, 344–354.

Plita L.L., Shevchenko A.P., Urum N.S., Lisovskyi S.V.

ORGANIZATION OF WATCHKEEPING ON BOARD A SHIP AS AN INTEGRAL PART OF ITS SAFETY

The purpose of the article is to systematise the principles of ensuring safety of navigation, the principles of organisation of the underway navigation watch and the organisation of the bridge watch, the procedure for keeping watch on the bridge, the content of the master's standing orders and the night watch log, and the reasons for calling the master to the bridge. To achieve the aim of the study, the author analysed the relevant literature and identified the objectives and requirements for achieving the goals of the Code for the Management of Safe Operation of Ships. The article clearly shows the distribution of responsibilities of officials for the organisation of watchkeeping and its proper performance by ship's crew members, with special emphasis on the issue of watchkeeping. The article identifies the peculiarities of organising navigational and engine watch on the move and at berth and the principles of organising watch on the bridge. The options for the required number of navigators and the organisation of the underway navigation watch, in accordance with the prevailing circumstances of the watch, are considered. It is revealed that to increase the efficiency of the ship's crew and prevent accidents on ships, a set of officially established special actions of a complete nature (procedures) is introduced. It is revealed that the following procedures have been introduced into the practice of keeping a navigational watch: acceptance/delivery of the watch; observation; keeping track; determination of the vessel's position; divergence from an oncoming vessel. The elements of the procedure are detailed in the instructions. Checklists are used to control the correctness of the procedure. It is proved that this approach allows to guarantee the required quality and time indicators of all actions and to form a conscious attitude of the crew to the performance of their duties. The requirements of the master in the Masters Standing Orders and the content of written instructions to the watch officer to ensure the navigation safety of the vessel at night are briefly explained. The conditions under which the watch officer must immediately call the master to the bridge are identified. It is emphasised that the alarm schedule is the basis for organising the fight for the ship's survivability, according to which the responsibilities of all crew members are established and the general procedure for the watch is described. The main result of the study is a systematic approach and clarity in presenting the main provisions of the Code. Further research is aimed at comparing the measures taken to organise watchkeeping on a particular vessel and the level of safety achieved with the systemic principles set out in international and national documents.

Keywords: watch, captain, watch assistant captain, navigation safety, bridge, procedure, order book.

УДК 629.5.024.13

doi.org/10.33298/2226-8553.2024.2.40.09

Трофименко І.В., Трофименко А.О., Тришин В.В., Дорофєєва З.Я.

РОЗРОБКА ПРОПОЗИЦІЙ ЩОДО ОПТИМІЗАЦІЇ ПРОЦЕСУ ПРОЕКТУВАННЯ СУДНА ШЛЯХОМ ВПРОВАДЖЕННЯ САПР НА РАННІХ СТАДІЯХ ПРОЕКТУВАННЯ

Метою статті є розробка пропозицій щодо оптимізації процесу проектування судна шляхом впровадження системи автоматизованого проектування для створення цифрової моделі на ранніх етапах проектування та виробництва, від концептуального проектування до експлуатації. Поставлена мета досягається шляхом аналізу проблем використання 2D

моделей та напрямків впровадження 3D моделей на всіх етапах проектування судна. У даній статті розглядається можливе рішення проблеми недостатньої ефективності на ранніх стадіях проектування, які до сих пір базуються на 2D кресленнях. Галузь потребує нового 3D-підходу, який включатиме зміну процедур та використання відповідного інструменту систем автоматизованого проектування для створення цифрової моделі на ранніх етапах проектування та виробництва, від концептуального проектування до експлуатації. Запропоновані пропозиції дозволять, наприклад, поліпшити визначення розташування відсіків і позиціонування обладнання за допомогою 3D моделей, удосконалити базовий етап проектування шляхом повторного використання даних, вже розроблених у загальній моделі судна, та визначити моделі у вигляді 3D-структури. Також можна провести ранню оцінку матеріалів, шкел і супутніх процесів і використати топологію для розгляду альтернатив проекту та отримання ранньої інформації про закупівлі та виготовлення матеріалів. Доведено, що для спрощення 3D-моделі можуть бути піддані процедурі ідеалізації всі структурні об'єкти, а саме усунення зазубрин, фасок, макроотворів з профілів; топологічне розширення поверхонь; зшивання поверхонь по лінії стику тощо. Найбільш суттєвим результатом є розробка пропозицій щодо оптимізації процесу проектування судна шляхом впровадження 3D моделей на ранніх етапах проектування і визначення переваг відповідного підходу. Для подальшого розвитку необхідно удосконалити 3D-моделювання в двох напрямках: по-перше, створювати чіткі та якісні моделі з можливістю їх оптимізації та спрощення для максимально ефективного використання; по-друге, розробити просте й адаптивне рішення для проектувальників, які зазвичай користуються 2D-інструментами для концептуального та базового проектування.

Ключові слова: система автоматизованого проектування, модель судна, схема проектування; етапи проектування, 3D модель, 2D модель

Постановка проблеми. Введення заходів щодо зниження витрат і часу, необхідних для створення нових суден, при збереженні або навіть поліпшенні їх якостей привели до змін в суднобудівній галузі, включаючи всі процеси: проектування, будівництво та управління суднобудівними проектами. При цьому саме на процес проектування найбільше впливають інші процеси, хоча всі вони спрямовані на досягнення однієї мети – зробити судно краще, швидше і дешевше. Традиційно безпосередньо процес проектування складається з ряду етапів, включаючи концептуальне (попереднє) проектування, базове проектування і робочий (детальний) проект, які послідовно виконуються в певному порядку, але зображуються у вигляді спіралі. Кожен етап має свої цілі і завдання і починається після затвердження попереднього етапу (рис. 1) [1, 2].

Однак вимоги щодо зниження вартості і часу створення нових суден призводять до того, що послідовне виконання етапів стало або неефективним або неможливим, а деякі етапи можуть починатися ще до завершення або затвердження попередніх. У зв'язку з цим традиційна спіральна схема була змінена на схему у вигляді серії концентричних кілець, де не завжди зрозуміло, де закінчується один етап, а починається наступний.

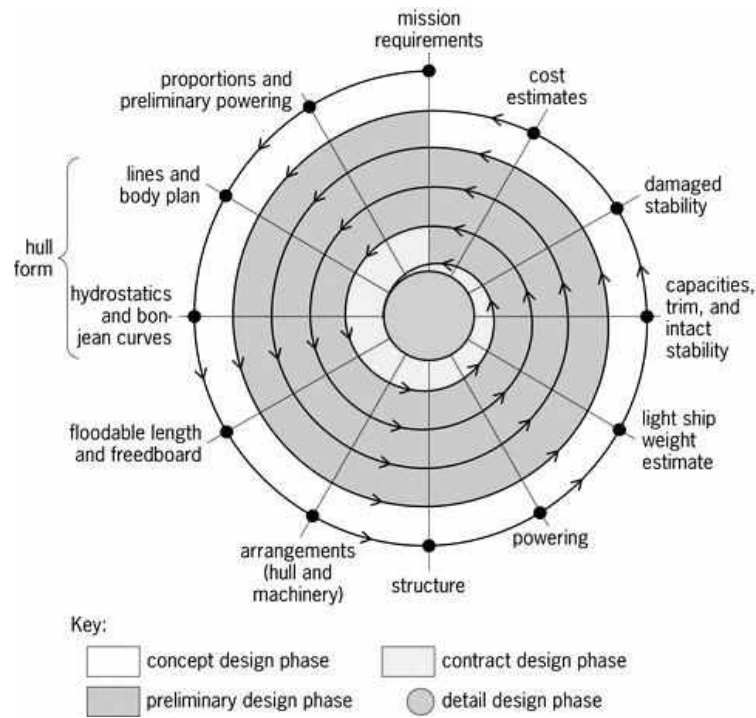


Рисунок 1 – Традиційна схема проектування судна у вигляді спірального процесу

Такий підхід до проектування, називається інтегрованим процесом проектування, він зараз є де-факто стандартом для суднобудування (рис. 2).

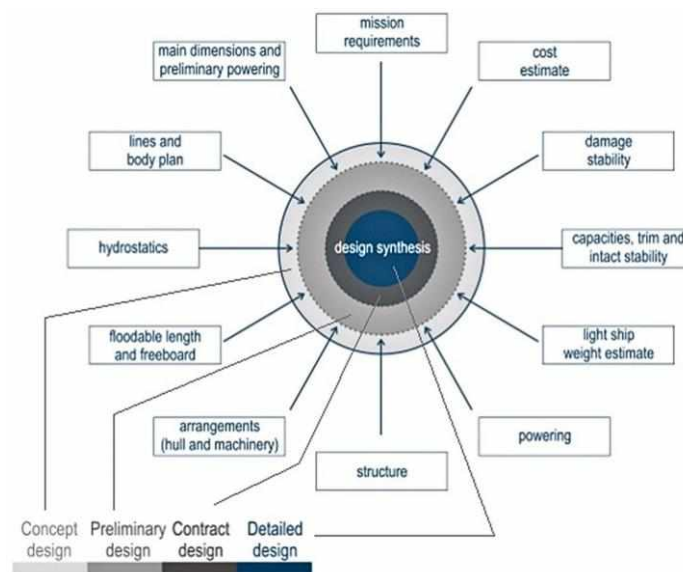


Рисунок 2 –Інтегрована схема проектування судна

Слід зазначити, що ранні рішення мають більш значні впливи, ніж прийняті пізніше, тому є доцільним підхід щодо використання аналогічних інструментів проектування для всіх етапів, щоб правильно та якісно оцінити успішність або неуспішність рішення після кожного з етапів.

Більшість конструкцій суден на теперішній час при концептуальному та базовому проектуванні засновані на 2D-інструментах та моделях. 3D-підхід на цих етапах зазвичай використовується тільки в довгострокових проектах через те, що помилки на етапі проектування можуть коштувати в подальшому дуже дорого. Хоча використання підходу 3D-проектування на ранніх етапах має явні переваги, його практичне впровадження залишається

досить проблематичним. У зв'язку з цим актуальним завданням розглядаються можливості використання САПР, орієнтованих на суднобудування, з урахуванням саме переваг 3D-проекування, включаючи як концептуальне, базове, так і детальне проектування.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідження переваг використання ранніх 3D-моделей в суднобудуванні почалися багато десятиліть тому. На початку це був скоріше перспективний напрям, ніж життєздатна альтернатива, адже інструменти того часу не були достатньо досконалими, щоб гарантувати успіх на початковому етапі проектування [3, 4]. В результаті сьогодні більшість суднобудівників все ще використовують 2D-інструменти на етапі проектування.

Разом з тим, в роботі [1] визначено, що суднобудівний процес є складним, ітераційним та багатограним, залежно від багатьох факторів. З метою задоволення потреб замовника, проектувальник повинен розробити найбільш економічно ефективне судно з врахуванням міжнародних та національних норм та правил. Пошук найкращого компромісу в межах заданих параметрів є викликом для конструктора та системного інтегратора. У морському секторі, правила та норми щодо конструкції суден стають все більш жорсткими, з метою забезпечення безпеки та ефективної експлуатації. Крім того, інтеграція функціональних систем та обладнання на борту судна стає все більш складною. Використання програмного забезпечення для 2D та 3D-проекування, моделювання та розрахунків може значно полегшити процес проектування та зробити його більш успішним.

В роботі [5] розглянуто технологію Internet of Ships (IOS), яка використовується для поліпшення процесу суднобудування в найближчі роки. Визначено, що існує багато переваг використання САПР в суднобудівному середовищі: простота проектування, швидкість будівництва, повторне використання інформації і т. д. Очікується, що в майбутньому інструменти САПР будуть просуватися далі і дозволять розширити управління інформацією та віртуальний доступ через розумні пристрої. Автори цієї роботи говорять про нову концепцію в суднобудуванні IoS, яка мала б глибокий вплив на проектування та виробництво суден, з значною різноманітністю існуючих та потенційних застосувань.

В роботі [6] визначено, що на початковому етапі проектування судна конструктивна модель корпусу, тобто 3D-модель конструкції корпусу, не генерується існуючою системою САПР суднобудування, оскільки вона трудомістка і вимагає великих зусиль. Без конструктивної моделі корпусу конструктор повинен вручну розрахувати інформацію про виробничий матеріал будівельного блоку, використовуючи 2D-креслення, дані базового судна та досвід проектування на початкових етапах планування та проектування. На початковому етапі аналізу конструкції корпусу конструктор вручну формує модель аналізу конструкцій, тобто скінченно-елементну модель конструкції корпусу. Більш того, модель трубопроводів, тобто 3D-модель труб в конструкції корпусу, формується незалежно від конструктивної моделі корпусу на стадії детального проектування. Щоб полегшити навантаження, покладене на проектувальника, запропоновано початкову систему моделювання конструкції корпусу. Використовуючи цю систему, конструктор може швидко і легко згенерувати конструктивну модель корпусу на початковому етапі проектування. У цьому дослідженні розроблені методи генерації інформації виробничого матеріалу будівельного блоку, модель структурного аналізу, модель трубопроводів на основі структурної моделі корпусу.

В роботі [7] розроблена концепція та структура бібліотеки корабельних знань, яка підтримує швидке проектування та моделювання судна, які були висунуті на основі досліджень щодо представлення знань компонентів конструкції корпусу та організаційного механізму в поєднанні з технологією цифрового проектування та підходом до розробки проекту судна. Визначено, що структура знань може бути використана для інкапсуляції функціональності цифрового проектування структури корпусу та управління кореляційною інформацією за допомогою розподіленої бази даних. Потім був розроблений прототип програмного комплексу, що домігся швидкого проектування і модифікації моделі 3D-структури, яка була продемонстрована за допомогою фактичної моделі судна.

Метою статті є розробка пропозицій щодо оптимізації процесу проектування судна

шляхом впровадження САПР для створення цифрової моделі на ранніх етапах проектування та виробництва, від концептуального проектування до експлуатації.

Основні результати дослідження. Спочатку визначимо найважливіші аспекти, які необхідно враховувати для успішного застосування підходу 3D САПР на початкових етапах проектування:

1. База даних: зазвичай 3D САПР базується на електронній базі даних, яка надає єдину версію інформації протягом усього процесу проектування.

2. Топологія: можливість швидкої модифікації моделі досягається завдяки інструментам САПР, орієнтованим на топологію моделі. Це особливо важливо, якщо у ході еволюційної модифікації моделі використовується значний обсяг інформації.

3. Інтеграція: всі підсистеми в САПР повинні бути повністю інтегровані в загальну структуру. Тому, наприклад, перша 3D-модель збирається за допомогою інструменту, аналогічного тому, який використовується для детального етапу. Це дозволяє повторно використовувати дані і значно скорочує час і витрати в цілому на проектування судна.

Таким чином, відповідні розроблені рішення базуються на моделі, яка зберігає як геометрію, так і відповідні атрибути компонентів продукту в 3D-форматі. Цей підхід 3D-моделювання використовується для розробки проектних рішень щодо складових судна і судна в цілому, які є ключовими компонентами подальших інженерних робіт, і можуть бути використані як наочні посібники, так і для отримання даних для закупівлі та виробництва необхідних матеріалів.

Розробка ранньої 3D-моделі з використанням інструментів САПР покращує методи проектування судна і дозволяє швидше розглядати кілька варіантів проектування, що, в свою чергу, дозволяє зменшити пов'язані з цим витрати. Тобто переваги такого підходу можна пояснити скороченням часу проектування з поліпшенням конструктивних рішень зі зниження витрат. Це приносить фінансові переваги, враховуючи, що ранній етап проектування є найбільш витратним, і що оптимізація конструктивних рішень забезпечує високу якість при будівництві та експлуатації судна.

Оптимальне рішення в області систем автоматизованого проектування базується на інтеграції всіх стадій проектування і дисциплін з використанням єдиної бази даних, що забезпечує цілісність даних і можливість спільного інжинірингу. На 20-й Міжнародній конференції з комп'ютерних застосувань у суднобудуванні (ICCAS 2022) та 21-й Міжнародній конференції з комп'ютерних та ІТ-додатків у морській галузі (COMPT'22) було відзначено зростаючий інтерес до співпраці з боку постачальників, суднобудівників, конструкторів та класифікаційних товариств [8 – 10].

Використання топологічної моделі замість геометричної спрощує визначення моделі, дозволяє швидше досліджувати кілька альтернативних конструкцій і спрощує загальні зміни на початку процесу проектування. Перевага онлайн-виявлення топології без зберігання геометричних даних полягає в тому, що, наприклад, зміни основних поверхонь корпусу автоматично відображаються в простій переробці. Топологічні моделі також менші за розміром, ніж геометричні, що зменшує розмір бази даних і зменшує необхідність менш ефективного маніпулювання геометрією при використанні потужних параметрів команд копіювання. При цьому можливе використання віртуальної реальності на ранніх етапах проектування через кількість необхідних деталей. Хоча впровадження системи віртуальної реальності може бути складним завданням, реалізація цієї пропозиції може значно покращити продуктивність та якість суднобудівних процесів.

Визначення одноразової 3D-версії, яка доступна кільком проектувальникам, що працюють одночасно, є ключовим компонентом на всіх рівнях моделей проекту. Використання інноваційного визначення деталізації проекту зверху вниз дозволяє відокремити окремі компоненти моделі. Поділ блоків спрощує прямий перехід від базового до детального проектування і дозволяє в подальшому використовувати атрибути і призначення деталей блокам на етапі виробництва, де використовується конфігурація моделі.

Перші кроки в базовому процесі проектування з використанням САПР включають ідентифікацію файлів форм, виконання гідростатичних обчислень, визначення обсягів, аналіз умов стійкості в неущкоджених і пошкоджених станах, а також розгляд додаткових понять, пов'язаних з архітектурою судна в цілому. У цьому процесі використовуються плити і профілі, зазначені в каталогах матеріалів. Для створення отворів у всіх поверхнях використовується модуль конструкції корпусу, який включає представлення основних поверхонь для плит і профілів. Інші ключові конструктивні елементи визначаються після створення форм корпусу, палуб, перегородок та інших поверхонь, таких як підлоги, полотна, балки, стрингери тощо. Зазвичай визначення ґрунтується на рамах і поздовжніх системах, що дозволяє провести повний перерахунок моделі в разі зміни відстані між елементами. Це можливо завдяки типовому визначенню каркасних і поздовжніх систем. Як правило, пластини та профілі розглядаються як об'єкти, що відображають поверхні, які мають спільні властивості. Через це їх габарити не відповідають виробничій практиці, і вони розглядаються на більш пізніх етапах проектування. Однак інші властивості, такі як безперервність і водостійкість поверхонь, можна визначити в будь-який момент.

З використанням САПР проектувальники мають значну свободу у визначенні моделі і можуть будувати плити і профілі на будь-якому етапі процесу. Однак, як і в 2D-проектванні, вони зазвичай дотримуються рекомендацій, починаючи зі специфікації безперервних елементів для забезпечення їх автоматичного поділу.

Для категоризації деталей, поряд з іншими пов'язаними функціями, використовується додатковий рівень деталізації (наприклад, на рис. 3 наведено повний 3D-вигляд судна з використанням САПР SmartMarine 3D).

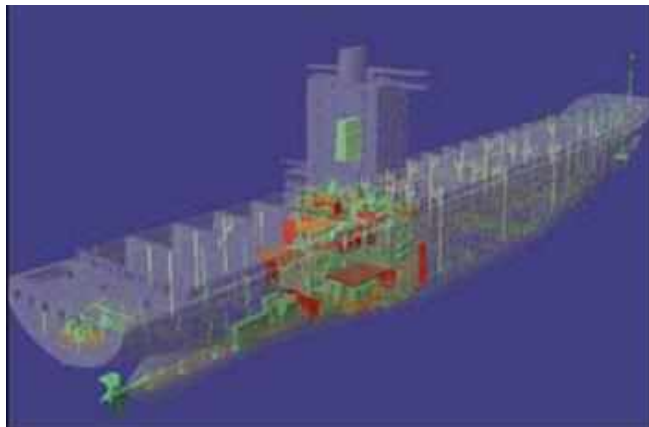


Рисунок 3 – Повний 3D-вигляд судна з використанням інструментів САПР

Одним з ключових етапів базової конструкції будь-якого судна є розрахунок конструкцій. Для перевірки життєздатності і поліпшення конструкції судна проводиться інженерний аналіз з використанням методу скінченних елементів. Створення правильної моделі для розрахунків, застосування навантажень і обмежень, обробка, постобробка й аналіз вихідних даних – все це складні завдання, які необхідно виконувати на практиці.

Хоча моделі 3D зараз включені в стандартні формати для прямого імпорту в більшість програм, вони не можуть бути використані з моделями суден з суднобудівної промисловості через їх складність. Процес аналізу сповільнюється за рахунок використання обчислювально-орієнтованих методів для ефективного відтворення моделі, замість більш трудомісткого ручного спрощення моделі.

Ранні етапи проектування можна оптимізувати за допомогою 3D моделі судна, яка вже була розроблена в САПР для аналізу елементів судна. Це вимагає ефективного зв'язку між програмами, щоб модель судна, яка була спрощена та налаштована для кожного виду обчислень, могла бути експортована безпосередньо із САПР.

На теперішній час вже існують підходи з використанням додатків САПР в суднобудуванні для вирішення проблеми експорту більш простої моделі судна з використанням її топологічних властивостей. Це дозволяє отримати бажані результати. На рис. 4 наочно показаний взаємозв'язок між моделлю і топологічними властивостями. Щоб гарантувати високу якість переданої моделі, функціональні алгоритми в загальній САПР повинні забезпечити розробку базової моделі, оптимізувати її, відфільтрувати і видалити сторонні дані.

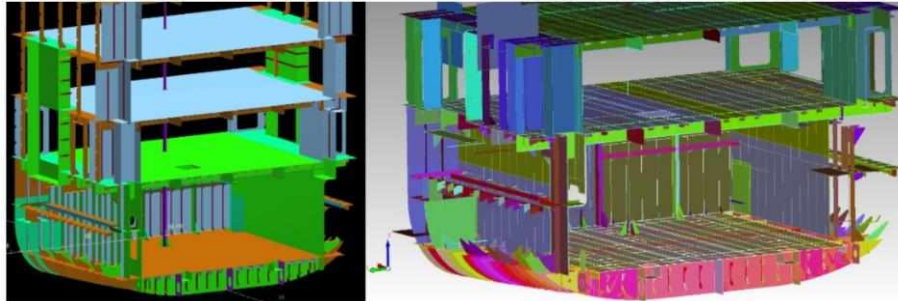


Рисунок 4 – Приклад взаємозв'язку між моделлю і топологічними властивостями в САПР

З практичної точки зору такий підхід повинен надавати багато функцій для проектувальників, включаючи, наприклад:

- 1) автоматичне присвоєння кольорів профілям і матеріалам;
- 2) використання візуальних зображень кривих або поверхонь для профілів і т. д.

Для спрощення 3D-моделі всі структурні об'єкти можуть бути піддані процедурі ідеалізації відповідно, наприклад, до таких критеріїв:

- 1) усунення зазубрин, гребінців, філе і фасок із зовнішнього контуру для пластин;
- 2) усунення профілів розширення, гребінців, насічок, торцевих розрізів і макроотворів з профілів;
- 3) топологічне розширення поверхонь для плит і профілів;
- 4) зшивання поверхонь по лінії стику поверхонь і виділення плоских країв на фланцевих і гофрованих плитах;
- 5) зшиття полотна і фланця, коли поверхня визначає профіль;
- 6) поділ плит за допомогою ліній розмітки на окремих поверхнях тощо.

Крім того, використання єдиної 3D-моделі може спростити й автоматизувати трудомісткі завдання, такі як оцінка міцності і ваги конструкції, що, в свою чергу, може привести до стандартизації та оптимізації процесу планування структурної оптимізації.

Важливою особливістю програмних комплексів, створених для забезпечення комплексного рішення при проектуванні і виготовленні суден, є можливість легкого переходу між різними стадіями проектування, що дозволяє уникнути необхідності переробляти роботу і тим самим знижує ризик затримок. В рамках такого підходу, наприклад, САПР надає інструменти для поділу і з'єднання пластин і профілів як логічне продовження базової конструкції. Крім того, деякі атрибути, такі як визначені деталі, поля будівництва, скіс і коефіцієнт усадки, які не мають відношення до основних етапів проектування, можуть бути включені і будуть необхідні на більш детальному етапі проектування.

Перехід від концептуального (абстрактного) до базового (комплексного) проектування також є переходом до більш конкретного та технологічного проекту. При використанні всіх даних, наданих на концептуальних етапах, більшість концептуальних елементів, такі, наприклад, як структурна поведінка і вага, повинні бути перетворені в технологічні компоненти, додаючи деталі в міру необхідності. У цьому переході важливу роль відіграє поняття поділу, наприклад, технологічні перерізи профілю, отримані шляхом поділу великих поздовжніх планувань, успадковують конструктивні характеристики і мають відповідні

розщеплювальні якості, виходячи з кінцевих секцій. Від форми перегородок до вигнутих плит корпусу використовується ідея поділу для кожного типу елементів.

На рис. 5 наведена деталізація моделі, яка має як атрибути, так і геометрію (приклад наведено на базі моделі, розробленої з використанням САПР SmartMarine 3D). При детальному проектуванні ключовими стають властивості деталей, які не були важливі на концептуальних етапах. Для забезпечення плавного переходу використовуються інструменти для модифікації, перевірки та копіювання властивостей великих груп компонентів.

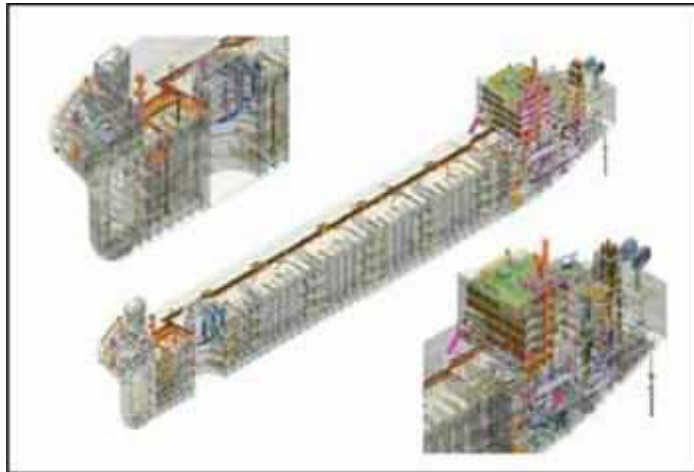


Рисунок 5 – Приклад взаємопов'язаних деталізованих 3D-моделей судна

При цьому, одним з ключових аспектів є поділ блоків судна між різними етапами проектування. Для автоматичного перерахунку деталей при оновленні блокових з'єднань мають бути передбачені спеціальні інструменти САПР. Так, наприклад, за допомогою графічного інструменту виділення компоненти можуть бути призначені відповідним одиницям в будь-який момент. Це важливий етап, на якому завершується детальне проектування, та визначаються розділи, не пов'язані з основним етапом проектування.

До переваг відповідного підходу можна віднести такі моменти:

- 1) швидке оцінювання різних варіантів проекту та автоматичне перерахування при зміні верхнього рівня;
- 2) використання 3D-моделі на початковому етапі проектування дозволяє приймати обґрунтовані рішення, засновані на фактах, а не на припущеннях, наприклад, на ранній оцінці матеріалу та ваги, включаючи фарбування та зварювання;
- 3) у порівнянні з двовимірною методологією меншою є ймовірність розбіжностей, оскільки кожен елемент моделі пов'язаний з іншими за допомогою певних якостей, що призводить до більш високої якості побудови в цілому;
- 4) легка інтеграція з інструментами розрахунку та аналізу завдяки загальній 3D-моделі, що спрощує процедуру проектування в цілому;
- 5) швидке встановлення найважливіших елементів судна, ваги та центрів ваги за рахунок найбільш значущого позиціонування обладнання;
- 6) плавний перехід до детального проектування на основі повторного використання даних, що скорочує час проектування в цілому;
- 7) більш точна конструкція завдяки використанню 3D-інструментів САПР;
- 8) можливість орієнтуватися в ранніх 3D-моделях для поліпшення маркетингових ініціатив або інтуїтивного управління процесом проектування.

Висновки. Таким чином, використання 3D-інструментів САПР підвищує точність проектування і знижує ймовірність помилок, в результаті чого поліпшується загальна якість конструкції. Також вони забезпечують швидке вивчення різних конструкцій і дозволяють заздалегідь визначити вагу, зварні шви, фарбування та інші характеристики матеріалів. Це

спрощує розташування обладнання та покращує дисциплінарну координацію, що, в свою чергу, покращує процеси детального проектування та повторного використання інформації.

Важливим проривом є інтеграція інструментів управління життєвим циклом продукту з різними САПР. Це може допомогти вирішити проблеми, пов'язані з відстеженням та управлінням процесами, конфігурацією, життєвим циклом продукту та контролем випуску. Запропоновані в роботі пропозиції мають істотні переваги тому, що дозволяють скоротити час і вартість проектування, що призводить до зниження вартості судна в цілому. Крім того, оптимізація процесу проектування та використання стійких матеріалів, наприклад, сприятиме оптимізації логістики закупівель та більш ефективному використанню ресурсів. В якості напрямків розвитку можна виділити такі: по-перше, для максимально ефективного використання переваг 3D-моделювання необхідно створювати чіткі, якісні моделі та знайти можливості для їх оптимізації та спрощення; по-друге, рішення повинно бути простим та адаптивним для проектувальників, які переважно використовують 2D-інструменти для концептуального та базового проектування. Тобто важливо мати дійсно корисний інструмент, який легко інтегрується в робочий процес.

ЛІТЕРАТУРА

1. Dipl.-Ing. Ch. V., Kleppe R., M.Sc. Siv Randi Hjørungnes. Ship Design and System Integration. DMK. 2013. P. 13. URL: <https://www.researchgate.net>. (дата звернення: 15.05.2024)
2. Evans J.H. Basic Design Concepts. *A.S.N.E. Journal*. 1959. Vol. 71. P. 671–678. DOI: 10.1111/j.1559-3584.1959.tb01836.x.
3. Aarnio M. Early 3-D Ship Models Enables New Design Principles and Simulations. *COMPIT* : In Proceedings of the 1st International Conference on Computer and IT Applications in the Maritime Industries, Potsdam, Germany, 29 March–2 April 2000. P. 5–17.
4. Garcia L., Fernandez V., Torroja J. The Role of CAD/CAE/CAM in engineering for production. *ICCAS'94* : In Proceedings of the 8th International Conference on Computer Applications in Shipbuilding, Bremen, Germany, 5–9 September 1994.
5. Internet of Ships: The Future Ahead / Guangwu Liu et al. *World Journal of Engineering and Technology*. 2016. Vol. 4, № 3D. DOI: 10.4236/wjet.2016.43D027.
6. Myung-II Roh. Improvement of ship design practice using a 3D CAD model of a hull structure. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*. 2008. Vol. 24, Issue 1. P. 105-124. DOI: 10.1016/j.rcim.2006.07.004.
7. Yiting Zhan, Yujun Liu, Yanping Deng. Research on quick design support system for ship structure modelling. *International Shipbuilding Progress*. 2010. Vol. 57, №1–2. P. 1–13. DOI: 10.3233/ISP-2010-0060.
8. Gaspar H. Open and Collaborative Ship Design. *COMPIT'22* : In Proceedings of the 21st International Conference, Pontignano, Italy, 21–23 June 2022. P. 416–428.
9. Model-Based Approval—The Open Class 3D Exchange (OCX)? / O.C. Astrup et. al. *ICCAS* : In Proceedings of the 19th International conference on computer applications in shipbuilding, The Royal Institution of Naval Architects, Rotterdam, The Netherlands, 24–25 September 2019. P. 27–40.
10. Bitomsky J., Danetzky A. Zerbst C. OCX Revisited: The New Data Exchange Standard? *COMPIT'22* : In Proceedings of the 21st International Conference, Pontignano, Italy, 21–23 June 2022. P. 429–436.

REFERENCES

1. Dipl.-Ing. Ch. V., Kleppe R., M.Sc. Siv Randi Hjørungnes. (2013). *Ship Design and System Integration*. DMK, 13. URL: <https://www.researchgate.net> (accessed: 15.05.2024).
2. Evans, J.H. (1959). *Basic Design Concepts*. A.S.N.E. Journal, 71, 671–678. <https://doi.org/10.1111/j.1559-3584.1959.tb01836.x>

3. Aarnio, M. (2000). *Early 3-D Ship Models Enables New Design Principles and Simulations*. In COMPIT: Proceedings of the 1st International Conference on Computer and IT Applications in the Maritime Industries (pp. 5–17), Potsdam, Germany, 29 March–2 April 2000.
4. Garcia, L., Fernandez, V., & Torroja, J. (1994). *The Role of CAD/CAE/CAM in engineering for production*. In ICCAS'94: Proceedings of the 8th International Conference on Computer Applications in Shipbuilding, Bremen, Germany, 5–9 September 1994.
5. Liu, G. et al. (2016). *Internet of Ships: The Future Ahead*. World Journal of Engineering and Technology, 4(3D). <https://doi.org/10.4236/wjet.2016.43D027>
6. Roh, M.-I. (2008). *Improvement of ship design practice using a 3D CAD model of a hull structure*. Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, 24(1), 105–124. <https://doi.org/10.1016/j.rcim.2006.07.004>
7. Zhan, Y., Liu, Y., & Deng, Y. (2010). *Research on quick design support system for ship structure modelling*. International Shipbuilding Progress, 57(1–2), 1–13. <https://doi.org/10.3233/ISP-2010-0060>
8. Gaspar, H. (2022). *Open and Collaborative Ship Design*. In COMPIT'22: Proceedings of the 21st International Conference (pp. 416–428), Pontignano, Italy, 21–23 June 2022.
9. Astrup, O.C. et al. (2019). *Model-Based Approval—The Open Class 3D Exchange (OCX)?* In ICCAS: Proceedings of the 19th International conference on computer applications in shipbuilding (pp. 27–40), The Royal Institution of Naval Architects, Rotterdam, The Netherlands, 24–25 September 2019.
10. Bitomsky, J., Danetzky, A., & Zerbst, C. (2022). *OCX Revisited: The New Data Exchange Standard?* In COMPIT'22: Proceedings of the 21st International Conference (pp. 429–436), Pontignano, Italy, 21–23 June 2022.

Trofymenko I.V., Trofymenko A.O., Tryshyn V.V., Dorofieieva Z.Ia.

DEVELOPMENT OF PROPOSALS FOR OPTIMIZATION OF THE SHIP DESIGN

PROCESS BY IMPLEMENTING A CAD SYSTEM AT THE EARLY STAGES OF DESIGN

The purpose of the article is to develop proposals for optimising the ship design process by introducing a computer-aided design system for creating a digital model at the early stages of design and production, from conceptual design to operation. This goal is achieved by analysing the problems of using 2D models and the directions of implementing 3D models at all stages of ship design. This article discusses a possible solution to the problem of inefficiency in the early stages of design, which are still based on 2D drawings. The industry needs a new 3D approach, which will include changing procedures and using the appropriate CAD tool to create a digital model in the early stages of design and production, from conceptual design to operation. The proposed proposals will, for example, improve the determination of compartment layout and equipment positioning using 3D models, improve the basic design phase by reusing data already developed in the overall ship model, and define models as a 3D structure. It is also possible to perform an early assessment of materials, scales and related processes and use the topology to consider design alternatives and obtain early information on procurement and fabrication of materials. It is proved that to simplify the 3D model, all structural objects can be subjected to the idealisation procedure, namely the removal of notches, chamfers, macro-holes from profiles; topological expansion of surfaces; stitching of surfaces along the joint line, etc. The most significant result is the development of proposals for optimising the ship design process by introducing 3D models at the early stages of design and determining the benefits of the relevant approach. For further development, it is necessary to improve 3D modelling in two directions: first, to create clear and high-quality models with the possibility of optimising and simplifying them for the most efficient use; second, to develop a simple and adaptive solution for designers who usually use 2D tools for conceptual and basic design.

Keywords: computer-aided design system, ship model, design scheme; design stages, 3D model, 2D model

Дерепа А.В., Лейко О.Г., Стъопченко А.М., Козак Д.А.

АКУСТИЧНІ ПОЛЯ НИЗЬКОЧАСТОТНИХ ЕЛІПТИЧНИХ ВИПРОМІНЮВАЧІВ ПОЗДОВЖНЬО-ЗГИННОГО ТИПУ В ГІДРОАКУСТИЧНИХ НАВІГАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ

Пріоритетним напрямком розвитку гідроакустичних навігаційних систем і засобів підводного спостереження є низькочастотна активна гідролокація. Практична реалізація тенденції зниження робочих частот гідроакустичних станцій потребує пошуку нових електромеханічних коливальних систем, які мали б низькі частоти механічного резонансу і одночасно малі розміри та масу. В якості однієї з таких систем запропоновано еліптичний перетворювач поздовжньо-згинного типу. Він поєднує в собі поздовжні коливання п'єзокерамічного стрижня та згинні коливання металевої еліптичної оболонки, жорстко з'єднаної з торцями стрижня. Встановлено, що поздовжньо-згинний випромінювач має дві особливості. Перша полягає в тому, що в поперечному перерізі поздовжньо-згинний випромінювач має відносно малі розміри, завдяки чому вони є малими порівняно з довжиною робочої хвилі випромінювача. Друга особливість пов'язана з тим, що коливання випромінюючої поверхні випромінювача є неоднорідними. Оскільки коливання еліптичної оболонки є згинними, це обумовлює появу на окремих її ділянках, які прилягають до великої осі еліпсу, протифазних коливань порівняно з іншими ділянками оболонки. Запропонована схема побудови еліптичного поздовжньо-згинного перетворювача. Наведена його фізична модель, яка складається із активного п'єзокерамічного елемента стрижньового типу, що здійснює поздовжні коливання, та металевої еліптичної оболонки, яка перетворює ці поздовжні коливання в згинні коливання оболонки. Розроблена розрахункова модель поздовжньо-згинного випромінювача і на її основі в еліптичній системі координат з використанням кутових і радіальних функцій Мат'є розв'язане рівняння Гельмгольца відносно потенціалу швидкості акустичного поля. На основі отриманих співвідношень для акустичного поля визначені направлені властивості поздовжньо-згинного випромінювача.

Ключові слова: поздовжньо-згинний перетворювач, п'єзокерамічний елемент стрижньового типу, направлені властивості.

Постановка проблеми. умовах широкомасштабної агресії російська федерація здійснює руйнування всієї господарської діяльності України, в тому числі зрив морських перевезень шляхом руйнування портової інфраструктури, мінування акваторій, фарватерів, рекомендованих курсів, спотворення (спуфінг) та глушіння супутникового сигналу. В цих умовах для забезпечення навігаційної безпеки судноплавства являється доцільним більш широке використання гідроакустичних засобів навігації. Гідроакустичні засоби судна призначені для вирішення задач навігації надводних і підводних об'єктів (вимірювання вектору швидкості судна, визначення координат підводного об'єкта, вироблення навігаційних рекомендацій) з метою забезпечення безпеки плавання. Такими гідроакустичними засобами являються навігаційні ехолоти, гідроакустичні лаги, гідроакустичні навігаційні системи з гідроакустичними донними маяками. Гідроакустичні навігаційні засоби комплексуються з іншими навігаційними засобами – гіроскопічними, радіонавігаційними, астрономічними, супутниковими навігаційними системами.

Очевидним достоїнством гідроакустичних навігаційних засобів являється стійкість до можливих спроб порушити їх роботоспроможність, як це має місце сьогодні при використанні супутникової навігації. Гідроакустичний сигнал неможливо спотворити або придушити на

значних морських акваторіях існуючими засобами гідроакустичної протидії. Гідроакустичні навігаційні засоби наряду з обладнанням акваторій, фарватерів, підходів до портів гідроакустичними маяками дозволяють надійно забезпечити навігаційну проводку суден (кораблів) в тому числі в стиснутих акваторіях. Необхідно враховувати, що гідроакустичне озброєння суден являється ефективним засобом виявлення міноподібних об'єктів, що підвищує навігаційну безпеку плавання суден. Гідроакустичні системи також являються неодмінною складовою безекіпажних надводних і підводних апаратів, які використовуються для вирішення розвідувальних, гідрографічних задач і для боротьби з мінною загрозою.

Пріоритетним напрямком розвитку гідроакустичних навігаційних систем і засобів підводного спостереження є низькочастотна активна гідролокація. Явно виражена тенденція зниження значень робочих частот гідроакустичних станцій (ГАС) із зосередженими антенами. За останні роки робочі частоти ГАС із зосередженими антенами знизились в середньому від 9,35 кГц до 5,85 кГц. Однак, зниження робочих частот веде до збільшення масогабаритних характеристик антен. Подальше зниження частот ехопеленгування ГАС надводних кораблів (суден) із підкільовими та буксируваними антенами затруднене в силу наступних причин:

- обмеження можливості розміщення на надводних кораблях (суднах) антенних систем з великими масогабаритними характеристиками;
- діапазон оптимальних частот, з урахуванням вимог по дальності дії та різноманітності умов, у яких передбачається експлуатація ГАС, лежить у межах 3-5 кГц. Таким чином є актуальним проведення досліджень щодо збільшення дальності виявлення підводних об'єктів шляхом зниження частот активної гідролокації.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Розв'язок проблеми збільшення дальності дії гідроакустичних станцій (ГАС) обумовлює необхідність зниження значень їх робочих частот [1, 2]. При цьому вимога наявності максимального коефіцієнта корисної дії перетворювача може бути реалізована тільки при умові випромінювання звуку на частоті механічного резонансу перетворювача [3]. При побудові низькочастотних гідроакустичних перетворювачів ця вимога суттєво обмежує застосування існуючих механічних коливальних систем – циліндричної та стрижневої, на основі яких в теперішній час будуються сучасні гідроакустичні перетворювачі [4-9], і потребує пошуку нових коливальних систем. Дійсно, циліндричний випромінювач з резонансною частотою 510 Гц має діаметр порядку 2000 мм. Досвід свідчить про те, що, наприклад, півхвильовий стрижень із п'єзокераміки ЦТБС-3 при резонансній частоті 500 Гц мав би довжину 3200 мм [4]. Наведені низькочастотні випромінювачі мають неприйнятно великі для виготовлення та експлуатації розміри і масу. Їх механічні коливальні системи, що орієнтовані на використання поздовжніх коливань, відносяться до класичних типів коливальних систем і не забезпечують можливість використання у низькому діапазоні частот. Для низькочастотного діапазону більш доцільним є використання коливальних систем зі згинними модами коливань на основному резонансі. Практична реалізація цієї ідеї дозволяє створити нові типи низькочастотних випромінювачів, які мають еліптичну форму випромінюючої поверхні.

При побудові активної ГАС першочергове значення набуває створення компактного низькочастотного випромінюючого модуля, при чому перевага надається таким випромінювачам, які забезпечують малий лобовий опір (актуально для безекіпажних надводних і підводних апаратів). Реалізація цієї вимоги здійснюється по декільком напрямках. Одним з них є застосування направлених (або кругових) потужних еліптичних перетворювачів аروحного та поздовжньо-згинного типів [5]. Другий напрямок включає в себе застосування кругових потужних водозаповнених циліндричних перетворювачів, розміщуючи їх корпусі судна (апарата) таким чином, щоби їх поздовжні осі співпадали з напрямком діаметральної площини, тим самим суттєво знижуючи переріз по міделю випромінюючого модуля. Третій напрямок створюють низькочастотні біморфні пластинчаті перетворювачі. Маючи малий поперечний і малий хвильовий розмір, вони можуть мати створені на низькі частоти (до 30-50 Гц). Відносно мала випромінююча потужність може бути збільшена шляхом набору таких перетворювачів у вигляді лінійної антенної решітки з гнучкими зв'язками між її елементами.

Метою роботи є визначення акустичних полів, які створюються еліптичними випромінювачами.

Викладення основного матеріалу дослідження. Визначимо звукове поле випромінювача, фізична модель якого наведена на рис. 1 а. Поздовжньо-згинний випромінювач складається із 2 частин – п'єзокерамічного стрижня 1 та металевої еліптичної оболонки 2.

Таким чином в якості розрахункової моделі поздовжньо-згинного випромінювача приймемо нескінченний еліптичний циліндр з заданим розподілом коливальної швидкості вздовж його направляючої та випромінюючої поверхні. При цьому поздовжня вісь випромінювача розміщена вздовж осьової координати z , а велика і мала вісі оболонки співпадають з осями, що відповідають кутовим координатам $\eta = 0$ і $\eta = \frac{\pi}{2}$. Тоді дві ідентичні арки з радіусами r_0 і кутами розкриття θ_0 утворюють контур еліпсу μ_0 . Залежності, які характеризують зв'язок між координатами еліптичного циліндра та параметрами, що визначають геометрію поздовжньо-згинного випромінювача, визначаються виразами:

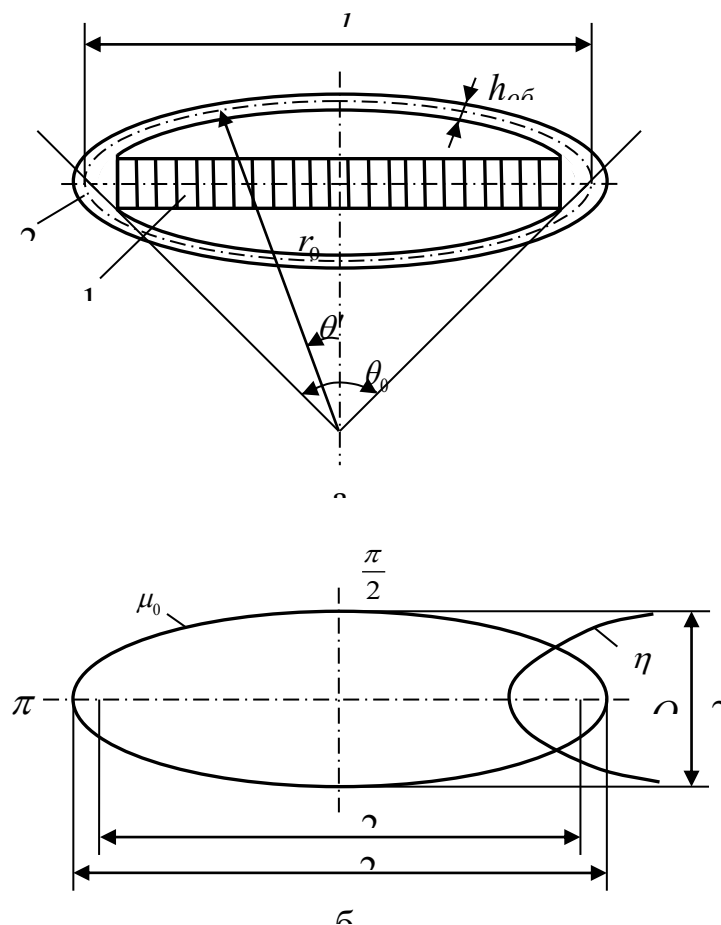


Рисунок 1 – Поперечний переріз коливальної системи поздовжньо-згинного випромінювача (а) та його представлення в системі координат еліптичного циліндра (б)
($2d$ – міжфокусна відстань)

Розрахункова модель, що адекватна фізичній моделі еліптичного перетворювача (рис. 1 а), зображена на рис. 1 б. Вона представлена в системі координат еліптичного циліндра, де $2d$ – міжфокусна відстань; $2a$ і $2b$ – велика і мала вісі еліптичного циліндра; μ і η – радіальна та кутова координати еліптичної системи координат.

$$\eta = \arcsin \left\{ \left[1 - \left(\frac{\operatorname{tg} \theta' / 2}{\operatorname{th} \mu_0} \right)^2 \right] / \left[1 + \left(\frac{\operatorname{tg} \theta' / 2}{\operatorname{th} \mu_0} \right)^2 \right] \right\}; \quad (1)$$

$$\theta' = 2 \operatorname{arctg} \left(\frac{\sin \eta - 1}{\cos \eta} \operatorname{th} \mu_0 \right); \quad (2)$$

$$\mu_0 = \operatorname{Arth} \left(\operatorname{tg} \frac{\theta_0}{4} \right). \quad (3)$$

Для визначення акустичного поля поздовжньо-згинного випромінювача потрібно знайти розв'язок хвильового рівняння Гельмгольца в системі координат еліптичного циліндра:

$$\Delta \Phi + r^2 \Phi = 0, \quad (4)$$

де Δ – оператор Лапласа, Φ – потенціал коливальної швидкості.

Для визначення граничних умов будемо виходити із рівності об'ємних швидкостей $\dot{U}(\theta')$ на поверхні поздовжньо-згинного випромінювача і розрахункової моделі – відповідного еліптичного циліндра з радіальною координатою μ_0 .

$$\dot{U}(\theta') dl_{\text{ц}} = \dot{U}(\eta) dl_{\text{е}} \quad \text{при} \quad \begin{cases} -\frac{\theta'_0}{2} < \theta' < \frac{\theta'_0}{2}; \\ 0 \leq \eta \leq \pi, \end{cases}$$

де $\dot{U}(\theta') = \dot{U}_0 f(\theta')$; $\dot{U}(\eta) = \dot{U}_0 f(\eta)$; $dl_{\text{ц}} = r_0 d\theta'$; $dl_{\text{е}} = h \mu_0 d\eta$; $h \mu_0$ – коефіцієнт Ламе h для поверхні $h \mu_0$; $\theta' = -\frac{\theta'_0}{2}$; $\theta' = 0$; $\theta' = 0$ і $\theta' = \frac{\theta'_0}{2}$ – точки верхньої арки (рис. 1), що суміщаються з точками $\eta = 0$, $r = \frac{\pi}{2}$, $r = \pi$ на поверхні еліпса.

В системі координат еліптичного циліндра рівняння Гельмгольца (4) запишеться у вигляді:

$$\frac{\partial^2 \Phi}{\partial \eta^2} + \frac{\partial^2 \Phi}{\partial \mu^2} + k^2 h^2 \Phi = 0. \quad (5)$$

Для визначення акустичного поля поздовжньо-згинного випромінювача рівняння (5) потрібно розв'язати з урахуванням граничної умови на поверхні $\mu = \mu_0$ еліптичного циліндра та умови випромінювання на безкінечності:

$$\dot{U}(\eta) = -\operatorname{grad} \Phi = -\frac{h \partial \Phi}{\mu_0} \quad \text{при} \quad 0 \leq \eta \leq \pi \quad (6)$$

Оскільки в системі координат еліптичного циліндра можливий розподіл змінних в рівнянні Гельмгольца, розв'язок рівняння (5) набуває вигляду:

$$\Phi(\eta, \mu) = \Phi_1(\eta) \Phi_2(\mu). \quad (7)$$

Після підстановки виразу (7) в рівняння (5) і наступного розділу змінних отримаємо:

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2 \Phi_1}{\eta^2} - [(kd)^2 \cos^2 \eta - c] \Phi_1 &= 0; \\ \frac{d^2 \Phi_2}{d\mu^2} + [(kd)^2 c h^2 \mu - c] \Phi_2 &= 0, \end{aligned} \quad (8)$$

де c – стала розділення.

Із фізичних міркувань зрозуміло, що коливання випромінювача симетричні відносно осей еліпсу. Тому при записі розв'язків рівнянь (8) використаємо парні періодичні (з періодом π)

кутові функції Мат'є першого роду $Sl_{2n}(kd, \eta)$ та відповідні їм радіальні функції Мат'є третього роду $Hl_{2n}^{(1)}(kd, \mu)$:

$$\Phi = \sum_{n=0}^{\infty} A_{2n} Sl_{2n}(kd, \eta) Hl_{2n}^{(1)}(kd, \mu), \quad (9)$$

де A_{2n} – комплексні коефіцієнти, що залежить від граничних умов.

Функція $Hl_{2n}^{(1)}(kd, \mu)$ характеризує хвилю, що розходитьсЯ від випромінювача і задовольняє вимоги випромінювання на нескінченості при великих значеннях аргументу.

Для визначення коефіцієнтів A_{2n} підставимо вираз (9) в граничну умову (6), розкладемо коливальну швидкість $\dot{U}(\eta)$ в ряд по кутовим функціям Мат'є $Sl_{2n}(kd, \eta)$, помножимо обидві частини нового розкладання на функцію $Sl_k(kd, \eta)$ та проінтегруємо по змінній η в межах від 0 до 2π . Тоді на основі властивості ортогональності функцій Мат'є

$$\int_0^{2\pi} Sl_{2n}(kd, \eta) Sl_k(kd, \eta) d\eta = 2\pi$$

отримаємо:

$$A_{2n} = - \frac{\int_0^{2\pi} \dot{U}(\eta) Sl_{2n}(kd, \eta) h\mu_0 d\eta}{Ml_{2n}^l(kd) \frac{dHl_{2n}^{(1)}(kd, \mu)}{d\mu} / \mu_0}. \quad (10)$$

де $Ml_{2n}^l(kd) = \int_0^{2\pi} [Sl_{2n}(kd, \eta)]^2 d\eta$ – нормуюча функція.

Використаємо отримані аналітичні співвідношення для визначення направлених властивостей поздовжньо-згинного випромінювача в поперечній площині. Зауважимо, що в поздовжній площині його направленість визначається як направленість протяжної лінійної антени.

Для визначення акустичного тиску в дальньому полі поздовжньо-згинного випромінювача скористаємось асимптотичним наближенням для радіальної функції Мат'є $Hl_{2n}^{(1)}(kd, \mu)$ при $\mu \rightarrow 0$ [10]:

$$Hl_{2n}^{(1)}(kd, \mu) / \mu \rightarrow 0 \approx \frac{(-1)^n}{\sqrt{kdch\mu}} e^{j(kdch\mu - \frac{\pi}{4})}.$$

Оскільки при $\mu \rightarrow 0$ еліптичний циліндр перетворюється в круговий і $dch\mu \rightarrow r$, то останній вираз набуває вигляду:

$$Hl_{2n}^{(1)}(kd, \mu) / \mu \rightarrow 0 \approx \frac{\sqrt{2}(-1)^n e^{jkr}}{(1-j)\sqrt{kr}}. \quad (11)$$

З урахуванням виразу (11) звуковий тиск в дальньому полі $p = -j\omega\rho_v \Phi$ становить:

$$p(\eta) = -\omega\rho_v \frac{\sqrt{2}e^{jkr}}{(1-j)\sqrt{kr}} \sum_{n=0}^{\infty} (-1)^n A_{2n} Sl_{2n}(kd, \eta),$$

а характеристика направленості $R(\eta)$ поздовжньо-згинного випромінювача в поперечній площині визначається виразом:

$$R(\eta) = \frac{|p(\eta)|}{|p(\eta=0)|} = \frac{\left| \sum_{n=0}^{\infty} (-1)^n A_{2n} Sl_{2n}(kd, \eta) \right|}{\left| \sum_{n=0}^{\infty} (-1)^n A_{2n} \right|}. \quad (12)$$

Розрахунки згідно з виразом (12) були виконані при різних значеннях хвильового розміру ka з переходом до параметру kd з використанням виразів:

$$\frac{l}{2} = r_0; \quad \sin \frac{\theta_0}{2} = dch\mu_0; \quad ka = kdch\mu_0.$$

Аналіз схеми побудови (рис. 1) поздовжньо-згинного випромінювача свідчить про те, що він має дві особливості. Перша полягає в тому, що в поперечному перерізі поздовжньо-згинний випромінювач має відносно малі розміри, завдяки чому вони є малими порівняно з довжиною робочої хвилі випромінювача. Друга особливість пов'язана з тим, що коливання випромінюючої поверхні випромінювача є неоднорідними. Оскільки коливання еліптичної оболонки є згинними, це обумовлює появу на окремих її ділянках, які прилягають до великої осі еліпсу, протифазних коливань порівняно з іншими ділянками оболонки. Фізично наведені особливості дозволяють прогнозувати наступне. Малі хвильові розміри поперекового перерізу поздовжньо-згинного випромінювача є умовою ненаправленості або слабкої направленості його в площині поперекового перерізу. Наявність на випромінюючій поверхні поздовжньо-згинного випромінювача ділянок з протифазними коливаннями свідчить про те, що в площині поперечного перерізу в направлених властивостях перетворювача повинні з'явитись певні провали, кількісні значення яких визначатимуться параметрами коливальної системи випромінювача.

Наведене підтверджується результатами розрахунків, представленими на рис. 2.

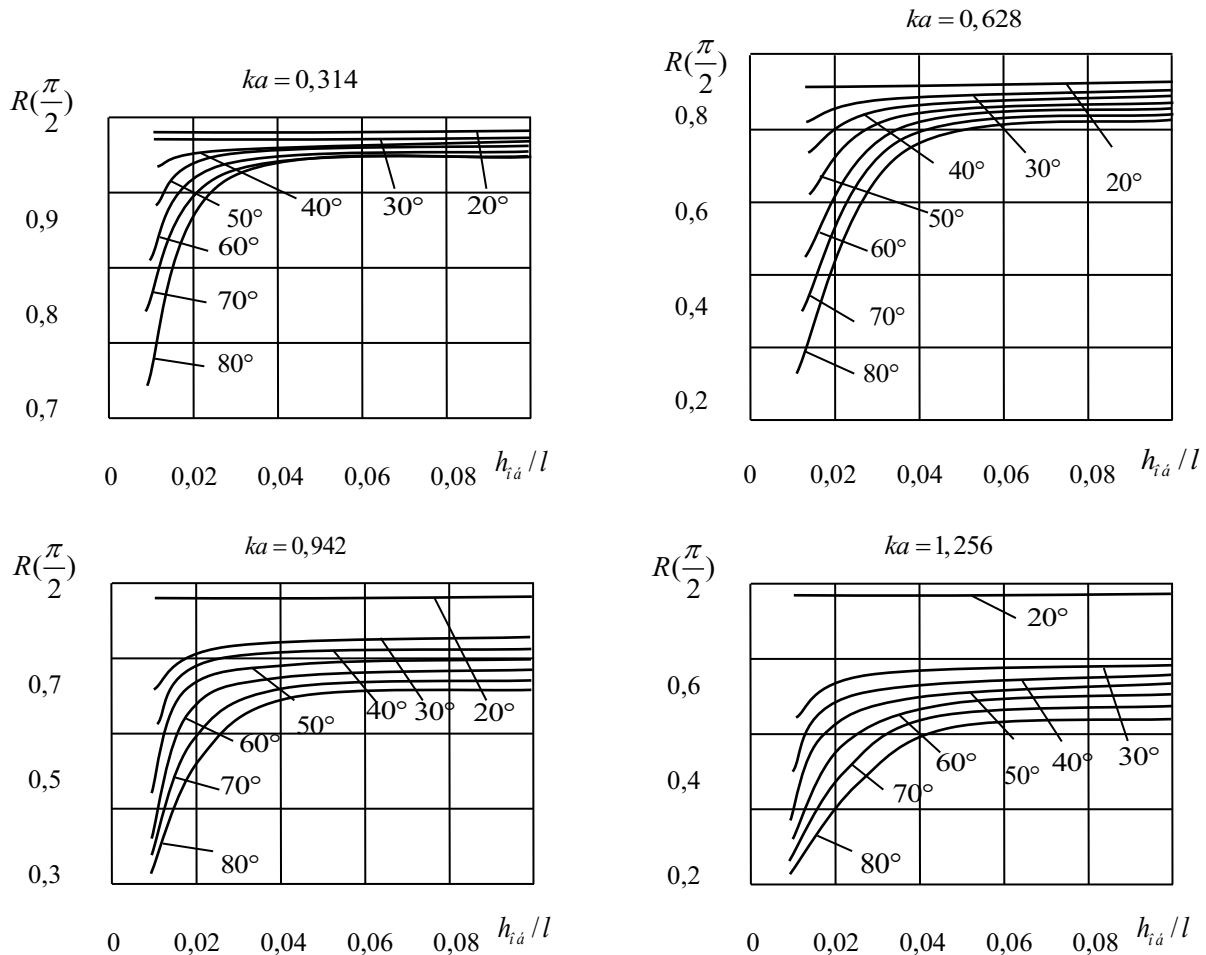


Рисунок 2 – Залежності нерівномірності характеристики направленості в поперечній площині $R(\pi/2)$ від геометричних параметрів коливальної системи при фіксованих значеннях співвідношення механічних параметрів і хвильового розміру поздовжньо-згинного випромінювача

Форми розподілу коливань випромінюючої оболонки визначаються:

- жорстким закріпленням еліптичної оболонки на торцях п'єзокерамічного стрижня;
- діапазоном кутів розкриву θ_0 , що реалізуються відносною товщиною оболонки $h_{об}/l$.

Розрахунки по формулі (12) виконані для різних значень хвильового розміру ka і різних кутів розкриву θ_0 . Їх аналіз показує, що в межах хвильових розмірів, які можливо практично реалізувати в поздовжньо-згинних випромінювачах, цим випромінювачам властива слабка направленість в площині кривизни оболонки. Характеристика направленості має форму овалу з максимумом акустичного тиску вздовж великої осі. Цей тиск монотонно спадає до мінімуму, направлено вздовж малої осі.

Зі збільшенням хвильового розміру та випуклості оболонки направленість стає більш вираженою. Так, при хвильовому розмірі $ka=0,942$ і куті розкриву оболонки $\theta_0=80^\circ$ нерівномірність характеристики направленості при відносній товщині оболонки $\frac{h_{об}}{l} \geq 0,05$ становить близько 4 дБ. Це наглядно демонструють криві рис. 2, які свідчать про провали в характеристиці направленості поздовжньо-згинного перетворювача вздовж малої осі.

Фізичною причиною появи провалів в характеристиці направленості поздовжньо-згинного випромінювача вздовж його малої осі при збільшенні його хвильових розмірів і малих значеннях відношення товщини оболонки $h_{об}$ до її довжини l в поперечному перерізі є значна різниця, близька до протилежної, хвильових розмірів, які проходять звукові хвилі, випромінені ділянками еліптичної оболонки, що лежать по обидві сторони від великої осі еліпсу, до точок, що прилягають до його малої осі. Звідси слідує і технічний шлях зменшення провалів в характеристиці направленості поздовжньо-згинного перетворювача. Він полягає в зменшенні зазначеної різниці в хвильових шляхах названих звукових хвиль. Досягається розміщенням жорстких акустичних екранів, наприклад, у вигляді металевих пластин [4], біля бокових торців поздовжньо-згинного перетворювача.

Завершуючи розгляд направлених властивостей поздовжньо-згинних гідроакустичних перетворювачів, звернемо увагу ще на таку особливість їх застосування в корабельному озброєнні. В останні роки значне поширення знайшли корабельні активно-пасивні ГАС з гнучкими протяжними буксированими антенами, оскільки це низькочастотні ГАС, то в режимі випромінювання звуку на резонансі робочої частоти вони потребують значних розмірів. В той же час існує вимога зменшення габаритів буксированих пристроїв, в яких розміщуються випромінювачі, особливо розміри в горизонтальній площині. Такими особливостями володіють еліптичні перетворювачі. Саме з їх допомогою можливо суттєво зменшити лобовий опір буксируванню антен кораблем [2].

Висновки. Практична реалізація тенденції зниження робочих частот гідроакустичного озброєння потребує пошуку нових електромеханічних коливальних систем, які мали б менші габаритні розміри та масу, ніж існуючі кругові циліндричні та стрижньові системи. Звичайно в таких системах використовують згинні коливання.

Запропонована схема побудови еліптичного поздовжньо-згинного перетворювача. Наведена його фізична модель, яка складається із активного п'єзокерамічного елемента стрижньового типу, що здійснює поздовжні коливання, та металевої еліптичної оболонки, яка перетворює ці поздовжні коливання в згинні коливання оболонки.

Розроблена розрахункова модель поздовжньо-згинного випромінювача і на її основі в еліптичній системі координат з використанням кутових і радіальних функцій Мат'є розв'язане рівняння Гельмгольца відносно потенціалу швидкості акустичного поля.

На основі отриманих співвідношень для акустичного поля визначені направлені властивості поздовжньо-згинного випромінювача. Встановлена доцільність його використання в якості низькочастотного випромінювача в активно-пасивних ГАС з гнучкими протяжними буксированими антенами.

ЛІТЕРАТУРА

1. А.В. Дерепя, А.Г. Лейко, Ю.Я. Меленко. Основы военно-технических исследований. Теория и приложения. Т.7. Комплексная система «гидроакустическое вооружение – надводный корабль». Проблемные аспекты системы «гидроакустическая станция – надводный корабль» с антеннами, размещенными в корпусе корабля, Киев : ИД Д. Бураго, 2014. – 426 с.
2. А.В. Дерепя, А.Г. Лейко, Ю.Я. Меленко Основы военно-технических исследований. Теория и приложения. Т.8. Комплексная система «гидроакустическое вооружение – надводный корабль». Проблемные аспекты системы «гидроакустическая станция – надводный корабль» с антеннами переменной глубины. Киев : ИД Д. Бураго, 2016. – 400 с.
3. Гринченко В. Т., Вовк И. В., Мацыпура В. Т. Основы акустики. Киев : Наук. думка, 2007. – 640с.
4. В.С. Дідковський, С.М. Порошин, О.Г. Лейко, А.О. Лейко, О.І. Дрозденко. Конструювання акустичних приладів і систем для мультимедійних акустичних технологій. Київ : НТУУ «КПІ», 2013. – 390 с.
5. В.С. Дідковський, О.Г. Лейко, В.Г. Савін. Електроакустичні пьезокерамічні перетворювачі. Кіровоград : ІМЕКС-ЛТД., 2013. – 448 с.
6. Гринченко В. Т., Вовк И. В. Волновые задачи рассеяния звука на упругих оболочках. Київ : Наук. думка, 1986. – 240с.
7. Гринченко В. Т., Вовк И. В., Мацыпура В. Т. Волновые задачи акустики. Киев : Интерсервис, 2013. – 572с.
8. V. T. Grinchenko, I. V. Vovk, V. T. Matsypura. Acoustic Wave Problems. – Begell House, 2018. – 439 p.
9. Korzhyk O., Filipova N., Vlasuk A. AFC of a Cylindrical Electroelastic Receiving Multimode Converter. IEEE 36 Conference on ELNANO, 2016. P. 391-394.
10. Мак-Лаклан. Теория и приложения функций Матье. М. : ИЛ, 1953. – 475с.

REFERENCES

1. A.V. Derepa, A.G. Leyko, Yu.Ya. Melenko. Osnovy voenno-tehnicheskikh issledovaniy. Teoriya i prilozheniya. T.7. Kompleksnaya sistema «gidroakusticheskoe vooruzhenie – nadvodnyi korabl». Problemnyie aspektyi sistemyi «gidroakusticheskaya stantsiya – nadvodnyi korabl» s antennami, razmeshchennymi v korpuse korablya, Kiev : ID D. Burago, 2014. – 426 s.
2. A.V. Derepa, A.G. Leyko, Yu.Ya. Melenko Osnovy voenno-tehnicheskikh issledovaniy. Teoriya i prilozheniya. T.8. Kompleksnaya sistema «gidroakusticheskoe vooruzhenie – nadvodnyi korabl». Problemnyie aspektyi sistemyi «gidroakusticheskaya stantsiya – nadvodnyi korabl» s antennami peremennoy glubinyi. Kiev : ID D. Burago, 2016. – 400 s.
3. Grinchenko V. T., Vovk I. V., Matsypura V. T. Osnovy akustiki. Kyiv: Nauk. dumka, 2007. – 640s.
4. V.S. Didkovskiy, S.M. Poroshin, O.G. Leyko, A.O. Leyko, O.I. Drozdenko. Konstruyuvannya akustichnih priladiv i sistem dlya multimedijnyh akustichnih tehnologiy. Kyiv : NTUU «KPI», 2013. – 390 s.
5. V.S. Didkovskiy, O.G. Leyko, V.G. Savin. Elektroakustichni pьezokeramichni peretvoryuvachi. Kirovograd : IMEKS-LTD., 2013. – 448 s.
6. Grinchenko V. T., Vovk I. V. Volnovyie zadachi rasseyaniya zvuka na uprugih obolochkah. Kyiv: Nauk. dumka, 1986. – 240s.
7. Grinchenko V. T., Vovk I. V., Matsypura V. T. Volnovyie zadachi akustiki. Kiev : Interservis, 2013. – 572s.
8. V. T. Grinchenko, I. V. Vovk, V. T. Matsypura. Acoustic Wave Problems. – Begell House, 2018. – 439 p.
9. Korzhyk O., Filipova N., Vlasuk A. AFC of a Cylindrical Electroelastic Receiving Multimode Converter. IEEE 36 Conference on ELNANO, 2016. P. 391-394.
10. Mak-Lahlan. Teoriya i prilozheniya funktsiy Mate. M. : IL, 1973. – 475s.

Трофименко І.В., Пліта Л.Л., Іваненко В.М., Федунів В.М.

ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ АПАРАТУ ФОРМАЛІЗАЦІЇ ЗНАНЬ ДЛЯ СИСТЕМ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ДЛЯ ПОПЕРЕДЖЕННЯ ЗІТКНЕНЬ СУДЕН

Метою роботи є попередження і зниження кількості випадків зіткнень суден на морі шляхом вивчення та аналізу причин виникнення таких подій та обґрунтування вибору апарату формалізації знань на основі відповідних міжнародних правил для систем підтримки прийняття рішень. Поставлена мета досягається шляхом аналізу відкритої статистики щодо зіткнень суден у світі, сукупності причин їх виникнення й обґрунтування вибору апарату формалізації знань для перспективної системи підтримки прийняття рішень судноводієм. Основою Міжнародних правил попередження зіткнень суден у морі 1972 року (МППЗС-72) є безпечне розходження судна з деякою кінцевою кількістю суден на заданій відстані шляхом врахування закономірностей маневрених характеристик суден та їх управляючих впливів. Недотримання стандартних процедур і правил МППЗС-72 є найважливішою причиною виникнення зіткнень суден. Причини невиконання МППЗС-72 згруповано у три класи: помилки судноводіїв при застосуванні міжнародних правил, змушений відступ від МППЗС-72, ігнорування вказаних правил. Стислий аналіз формалізації правил запобігання зіткненню суден, застосовуваних у системах підтримки прийняття рішень судноводія, свідчить, що дані правила описують лише попарну взаємодію суден. Для формування адекватної картинки навігаційної ситуації та, що склалася у реальності, та формування сценаріїв розвитку поточної ситуації запропоновано розглядати повну множину всіх взаємодіючих пар. Значущим науковим результатом для врахування неточності наявної числової і лінгвістичної інформації є висновок щодо застосування інтервальних оцінок у параметри руху суден на основі нечітких множин другого типу як основного апарату формалізації правил попередження зіткнення суден. Для попередження зіткнення суден пропонується двоєдиний підхід, згідно якого, з одного боку, вдосконалюються процедури на містку, забезпечується безперервне вивчення МППСС-72 і правил з експлуатації своїх суден членами екіпажу, а, з іншого, створюється система підтримки прийняття рішень судноводієм, основу якої складають формалізовані правила МППСС-72, що регламентують процеси розбіжності суден.

Ключові слова: судно, попередження зіткнень, розбіжність суден, міжнародні правила, формалізація, система підтримки прийняття рішень.

Постановка проблеми. Забезпечення безпеки на морі, і зокрема, попередження зіткнень суден (ПЗС) є одним з найважливіших завдань у водній галузі. Джерела [1, 2] однозначно визначають, що метою попередження зіткнень суден є виключення ризиків зіткнення суден та забезпечення безпечного плавання в будь-яких умовах. Отже, основний зміст ЗПС складають сукупність взаємодіючих з навколишнім середовищем взаємозалежних елементів, правил та обмежень, які вимагаються як «звичайною, так і ефективною морською практикою» [1, 2].

Зіткнення суден має дуже сумні матеріальні наслідки. Як правило, під час зіткнень відбувається у кращому випадку пошкодження або навіть втрата самих суден або вантажів. Крім того, такі події можуть супроводжуватися розливами нафтопродуктів і забрудненням навколишнього середовища. У такому разі на усунення матеріальних збитків від зіткнення суден витрачаються чималі суми. Якщо такі події супроводжуються травмами або загибеллю пасажирів або членів екіпажу, то суми матеріальних втрат судновласників зростають багатократно. У цьому зв'язку першочерговим завданням є виявлення і вивчення причин зіткнення суден. Основними причинами зіткнення суден на морі, як правило, є неправильне або

неефективне застосування екіпажами суден Міжнародних правил попередження зіткнень суден [1, 2].

З іншого боку, на зменшення кількості зіткнень впливає технічне оснащення сучасних суден. Мова йде як про впровадження передових досягнень науки і техніки при проектуванні суден і їх будівництві, так і про використання новітніх технологій і засобів у процесі судноводіння. Але такі новації докорінним чином не вплинули на зменшення кількості зіткнень суден на морі. Тому створення нових і вдосконалення існуючих технічних засобів автоматизації процесів попередження зіткнень суден на основі Міжнародних правил ПЗС є другим актуальним завданням дослідження.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Вже багато десятиріч автори по всьому світові прискіпливо вивчають питання забезпечення безпеки на морі взагалі й ефективності застосування Міжнародних правил, зокрема. Одне з провідних місць у цьому зв'язку належить дослідженню проблем ПЗС [3 - 6].

Так, у статті [3] розкрито, яким чином розвивалися основні ідеї, що стосуються зменшення аварійності на морі, насамперед, через попередження зіткнень суден на морі. Розглянуто основні етапи, історію розробки та основний зміст Міжнародних правил попередження зіткнень суден на морі. Визначено дієвість даних правил стосовно України. Розглянуто передісторію та порядок приєднання України до Конвенції про Міжнародні правила запобігання зіткненню суден на морі відповідно до однойменної Постанови Верховної Ради України від 17 листопада 1992 року. Положення даного документа є фундаментальними щодо забезпечення безпеки мореплавства в експлуатаційній, технічній та навігаційній сферах і враховані у багатьох нормативних актах України.

Робота [5] у більшому ступені відноситься до юридично-правових. Комплексний характер даної роботи дозволяє на широкому теоретико-правовому полі проводити розслідування й аналіз морських аварій та інцидентів, здійснювати їх міжнародно-правову регламентацію, виявляти особливості юридично-правової природи морських аварій та морських інцидентів. Особлива увага приділена визначенню рівня відповідності законодавства України з морських питань міжнародним стандартам, встановленим Міжнародною морською організацією (ІМО). На цієї базі досліджуються проблеми імплементації міжнародних стандартів з розслідування морських аварій та інцидентів до національного законодавства.

Процеси розходження суден найбільш повно сконцентровані у Міжнародних правилах попередження зіткненню суден на морі (1972 рік). Дані постулати є основоположним нормативним документом, що регламентує розходження. Тому чисельна армія дослідників, які працюють у галузі інтелектуальних й автоматизованих систем управління рухом суден, постійно роблять спроби формалізувати ці правила [7-11].

Так, у статті [11] наведена фреймова модель подання міжнародних правил запобігання зіткненню суден. Запропонований апарат формалізації пропонується застосовувати у системах підтримки прийняття рішень судноводія, а саме, при описі навігаційних ситуацій і в подальшому у процесі логічного виведення можливих рішень системою підтримки прийняття рішень.

Однак, у розглянутих роботах відсутній системний підхід щодо виявлення першопричин виникнення зіткнень суден. Відсутність такого комплексного підходу вносить певні проблеми для систематизації та визначення критеріїв вибору апарату формалізації знань для систем підтримки прийняття рішень попередження зіткнень суден на морі.

Мета дослідження. Попередження і зниження кількості випадків зіткнень суден на морі шляхом вивчення та аналізу причин виникнення таких подій та обґрунтування вибору апарату формалізації знань на основі відповідних міжнародних правил для систем підтримки прийняття рішень.

Основні результати дослідження. Морська практика свідчить, що одним з найважливіших елементів системи безпеки судноводіння у загальному сенсі є попередження зіткнення суден на морі (рис. 1).



Рисунок 1 – Елементи системи безпеки судноводіння

P&I (англ. P&I Club, де Protection and Indemnity, що означає «захист і компенсація») – форма страхування відповідальності судновласника або фрахтувальника за діяльність. Основною метою P&I-страхування є захист інтересів власника судна від претензій третіх осіб й убезпечення його від можливих збитків у разі заподіяння шкоди третій стороні. Даний вид страхування відноситься до основних, експлуатація судна без нього практично неможлива. Так, за даними клубу взаємного страхування P&I, за кількістю лише 3% усіх претензій P&I пов'язані із зіткненнями суден [6] (рис. 2), а за вартістю – вже 12% (рис. 3).

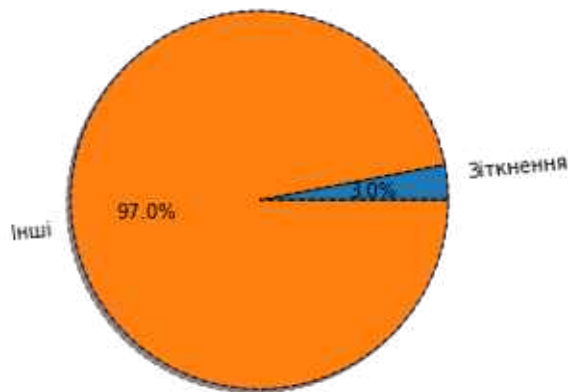


Рисунок 2 – Співвідношення за кількістю претензій P&I, пов'язаних із зіткненнями, до інших претензій

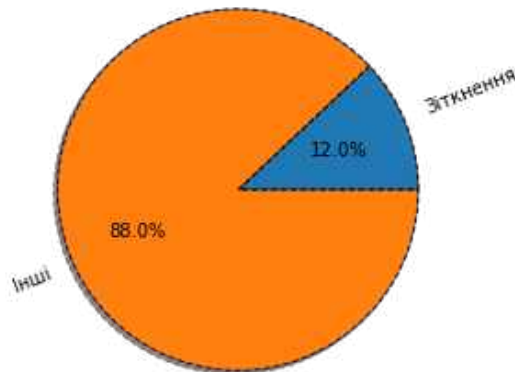


Рисунок 3 – Співвідношення за вартістю претензій P&I, пов'язаних із зіткненнями, до інших претензій

Статистика однозначно свідчить, що переважна більшість зіткнень відбувається в зонах щільного руху у складних умовах, які характеризуються поганою видимістю, відмовою обладнання та ін. Але не все так просто: людський чинник виявився основною причиною щонайменше понад 70% усіх зіткнень. Детальний розгляд конкретних аварійних морських подій показує, що на вказані вище умови накладаються недбалість і невиконання окремими посадовими особами і командою судна цілком основних навігаційних обов'язків. Крім того, з розслідувань виявлені основні причини зіткнень:

- порушення правил і принципів несення вахти;
- брак, надлишок та суперечливість інформації про поточну ситуацію, що складається;
- неграмотність у визначенні пріоритетів з боку командного складу щодо розв'язання складних навігаційних ситуацій;
- пріоритет на виконанні адміністративних завдань;
- порушення або недотримання стандартних процедур і міжнародних правил;
- неможливість ефективно використовувати наявні дані та ресурси;
- недостатня навченість особового складу для організації ефективної взаємодії на судні.

Недотримання стандартних процедур і міжнародних правил фахівці вважають однією з найважливіших причин виникнення зіткнень суден.

До кожної посадової особи на судні, яка відноситься до осіб, що приймають рішення, висуваються певні вимоги. Так, всі судноводії мають твердо знати стандартні процедури і міжнародні правила для ефективного вироблення рішень на основі інтегрованого відображення інформації про судно і зовнішнє середовище. Міжнародні правила з організації та забезпечення безпеки мореплавства (STSW-78/95, МППЗС-72 та ін.) висувають обов'язкові мінімальні вимоги до капітанів, вахтових помічників та осіб рядового складу, що несуть вахту на містку.

Міжнародні правила попередження зіткнень суден у морі (МППЗС-72) дозволили сформувати основні принципи розходження суден. У жовтні 1972 року у Лондоні були прийняті в останній редакції правила, що діють у даний час і обов'язкові для всіх моряків [1, 2]. Базис МППЗС-72 для безпечного розходження з деякою кінцевою кількістю суден на заданій відстані складають закономірності маневрених характеристик суден та їх управляючих впливів.

Алгоритмом попередження зіткнення суден називається суворі логічна послідовність дій судноводіїв щодо недопущення такої ситуації.

Міжнародна морська організація проводить аналіз причин невиконання МППЗС-72. Це дозволяє у процесі поведених розборів роботи наголос на усуненні виявлених причин і підвищувати ефективність професійної діяльності судноводіїв. Разом з тим, аналіз результатів досліджень навігаційних аварій, проведений у UK Marine Accident Reporting Scheme (MARS), показав дуже велику роль суб'єктивного фактору у виникненні навігаційних аварій. За їх даними, до 75% навігаційних аварій відбулися через невиконання судноводіями саме МППЗС-72. При цьому дослідники об'єднали у групи основні причини, що спонукали судноводіїв не виконувати норми МППЗС-72 (рис. 4) [6]:

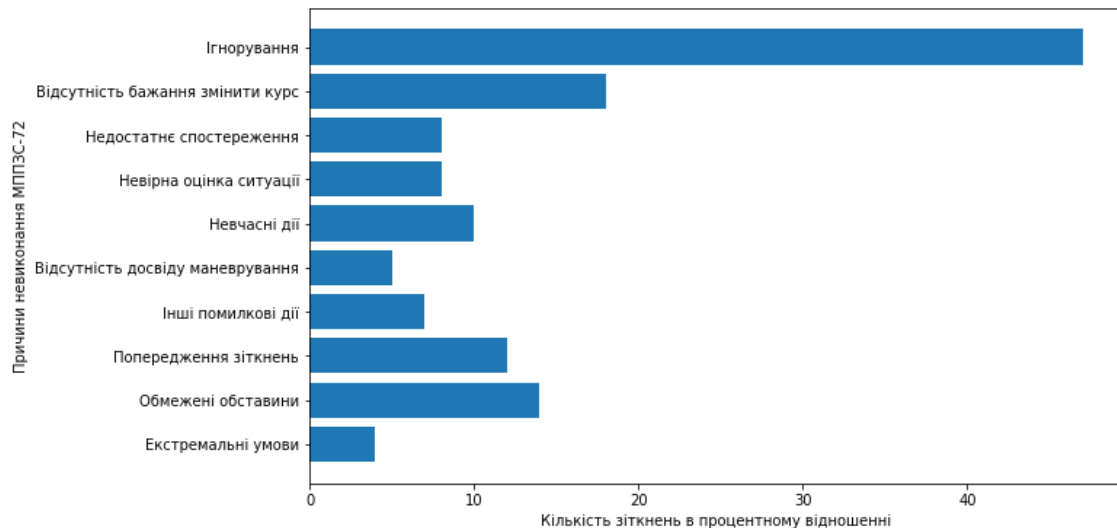


Рисунок 4 – Причини невиконання МППЗС-72

1) До першої групи, яку назвемо «помилки судноводіїв при застосуванні МППЗС-72», відносяться суб'єктивні помилки, що обумовлені систематичними недоліками в навчанні та підготовці судноводіїв, а також його поточним психічним та(або) фізіологічним станом у конкретний момент часу, коли він виконував свої обов'язки на містку. Такий «ланцюг помилок» найчастіше призводить до порушень в існуючих процедурах управління судном.

2) Якщо судноводій не може за будь-яких причин виконати, відповідно до МППЗС-72, процедури (прийняти рішення) щодо попередження зіткнення суден за Правилами, то це утворює другу групу причин – змушений відступ від Правил.

3) Третю групу причин невиконання МППЗС-72 складають навмисні дії судноводіїв за домовленістю, тобто навмисне ігнорування Правил, коли судноводій, намагаючись уникнути зіткнення суден, ігнорує прописані правила, принципи і підходи, замінюючи їх будь-якими миттєвими технологічними, технічними, комерційними або іншими інтересами. Іншими словами, судноводій, відмовляючись виконувати Правила, незаконно домовляється з іншим судноводієм про виконання такого маневру, який не передбачений у МППЗС-72.

Очевидно, що в основі розглянутих причин зіткнень суден, що викликають відмічені помилки, лежить так званий «людський» фактор. У цьому зв'язку напрошується очевидний висновок, що, по меншій мірі, зниження, а, максимум, подолання негативного впливу суб'єктивного фактору, дозволить докорінно вирішити дуже чутливу проблему щодо запобігання зіткненням суден. Одним з генеральних напрямків щодо подолання цієї проблеми фахівці вважають постійну цілеспрямовану роботу щодо удосконалення існуючих і створення нових програмних й апаратних засобів управління судном, підвищення рівня їхньої автоматизації, використання систем підтримки прийняття рішень (СППР) судноводія.

Так, автори роботи [11] у процесі розроблення СППР судноводія зіштовхнулися з проблемою формалізації знань, викладених у МППСС-72. Даний документ має у своєму складі 38 правил, об'єднаних у п'ять частин, і чотири додатки. Декларативний характер відомостей, що містяться в частинах А, С, D, Е правил, дозволяє їх майже безболісно подати у СППР. Інша ситуація складається з правилами, викладеними у частині В «правила плавання і маневрування» МППСС-72 [1]. Їх формалізація викликає певні труднощі, обумовлені попарною взаємодією суден, описаною у МППСС-72. Її саме попарна взаємодія суден розглядається під час формування сценаріїв розвитку поточної ситуації у СППР. Однак на практиці часто мають місце ситуації, коли взаємодіють не два, а більша кількість суден. У цьому випадку при загальній кількості N суден у зоні розбіжності кількість взаємодіючих пар суден дорівнює кількості поєднань C_N^2 , що, як нам відомо з комбінаторики, складає [11]:

$$C_N^2 = \frac{N!}{(N-2)!2!}. \quad (1)$$

Значення, яке можна отримати за виразом (1), на перший погляд представляє собою дуже велику величину. Але на практиці при наявності 20 суден у зоні розбіжності значення C_N^2 складає лише 190. Досвід показує, що у переважній більшості випадків одночасно взаємодіють від 2 до 7 суден. Тому кількість взаємодіючих пар для таких ситуацій складає від 1 до 21. Безумовно, навіть 3-4 можливі варіанти взаємодії судноводіїв самостійно, без допомоги технічних засобів, промоделювати складно. Проте сучасні обчислювальні засоби за умови введення додаткових обмежень, наприклад врахування ступеня небезпеки судна одне для одного і введення на цієї основі відповідної попередньої класифікації суден, дозволяють виконувати такі розрахунки у режимі реального часу.

Відомі різні підходи щодо побудови СППР, ефективність яких багато у чому визначається обраним апаратом формалізації. Так, запропонована у роботі [11] СППР має обмежені можливості щодо вирішення поставлених завдань. Дані обмеження визначені обраним апаратом формалізації правил плавання і маневрування. Якщо декларативні знання для запропонованої системи формалізуються досить легко, то формалізація нечітких оцінок інтервального типу для правил плавання і маневрування має певні труднощі. Крім того, виниклі при обробці кінцевих значень інтервалу суттєві помилки необхідно усереднювати, найчастіше використовуючи апарат традиційної інтервальної математики. Але у більшості випадків даний підхід також має певні обмеження. Тому, на наш погляд, для формалізації правил плавання і маневрування, викладених у МППСС-72, цікавим напрямом проведення досліджень є спроба описати параметри руху суден шляхом введення інтервальних оцінок, використовуючи нечіткі множини другого типу. Головною перевагою нечітких множин другого типу є можливість врахування неточності і числової, і лінгвістичної інформації.

Висновки. Ретельно проведений аналіз аварій і катастроф на морі наочно демонструє, що зберігається стійка тенденція, згідно якої більшість зіткнень суден відбувається через негативний вплив людського фактору, а саме порушення МППСС-72 й усвідомлене (або неусвідомлене) недотримання командою судна основних принципів несення вахти на містку.

Тому необхідно продовжувати роботу над вдосконаленням технологій безпеки і навчання особового складу в рамках різних конвенцій STCW, ISM тощо.

Добре збалансована і навчена команда професіоналів, якісна загальна робота команди судна щодо забезпечення безпеки судноплавства та ефективне управління ресурсами забезпечують безпечне та ефективне використання судна. При цьому судновласники і капітани суден створюють необхідні умови щодо проходження членами екіпажу безперервного навчання і підвищення кваліфікації з експлуатації своїх суден і досконалого вивчення МППСС-72 для закріплення та вдосконалення процедур і стандартів виконання обов'язків на містку. Основною функцією навчання вважається проактивний підхід до безпеки, який спрямований на виявлення, аналіз і зменшення небезпек до того, як вони можуть вплинути на безпечну експлуатацію судна.

Іншим напрямом досліджень щодо забезпечення попередження зіткнення суден вважається розробка відповідних систем підтримки прийняття рішень. Одним з найважливіших завдань у цьому випадку вважається формалізація правил МППСС-72, які є основоположним нормативним документом, що регламентує процеси розбіжності суден. Отже, раціональне поєднання сучасних методів, технологій і методик навчання екіпажу судна, новітніх інформаційних технологій і апаратних засобів забезпечують ефективне вирішення завдань попередження зіткнення суден.

ЛІТЕРАТУРА

1. Конвенція про Міжнародні правила запобігання зіткненню суден на морі 1972 року : Конвенція Міжнар. мор. орг. від 20.10.1972 р. : станом на 17 листоп. 1992 р. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/995_137#Text (дата звернення: 15.05.2024).
2. Про приєднання України до Конвенції про Міжнародні правила запобігання зіткненню суден на морі 1972 року : Постанова Верхов. Ради України від 17.11.1992 р. № 2785-XII. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2785-12#Text> (дата звернення: 15.05.2024).
3. Плачкова Т. М. Міжнародні правила попередження зіткнень суден у системі правового забезпечення безпеки мореплавства. *Правове життя сучасної України : у 2 т. : матер. наук.-практ. конф., м. Одеса, 17 трав. 2019 р. / відп. ред. Г. О. Ульянова. Одеса : ВД «Гельветика», 2019. Т. 1. С. 488–491.*
4. Завітаєв В. Л. Судноводіння на внутрішніх і прибережних морських шляхах : Навчальний посібник. Київ : Видавництво Ліра-К, 2019. 282 с.
5. Вишневський В. Л. Міжнародно-правова регламентація розслідування морських аварій та інцидентів : дис. ... канд. юрид. наук : 12.00.11. Національний університет «Одеська морська академія» ; Інститут держави і права імені В. М. Корецького НАН України. Київ, 2021. 347 с.
6. Collisions – Why do they occur? URL: <https://sailorscove.quora.com/Collisions-Why-do-they-occur-GARD> (дата звернення: 15.05.2024).
7. Цимбал Н. Н., Бужбецкий Р. Ю. Формализация МППСС-72 в части координации взаимодействия судов при расхождении. *Судовождение*. 2006. № 12. С. 124–129.
8. Цимбал Н. Н., Бурмака И. А., Тюпиков Е. Е. Гибкие стратегии расхождения судов. Одесса : КП ОГТ, 2007. 424 с.
9. Цимбал Н. Н., Бужбецкий Р. Ю. Учет ограничений МППСС-72 при выборе маневра расхождения судов. *Судовождение*. 2006. № 11. С. 134–138.
10. Lisowski J. Game control methods in navigator decision support system. *The Archives of Transport*. 2005. № 3–4. Vol. XVII. P. 133–147.
11. Бень А. П. Формализация правил МППСС-72 в системе поддержки принятия решений судоводителя. *Штучний інтелект*. 2011. № 3. С. 327–331 URL: <http://dspace.nbuv.gov.ua/bitstream/handle/123456789/59935/31-Ben.pdf?sequence=1> (дата звернення: 15.05.2024).

REFERENCES

1. *Konventsiiia pro Mizhнародni pravyla zapobihannia zitknenniu suden na mori 1972 roku* (International Regulations for Preventing Collisions at Sea 1972): Convention of the International Maritime Organization dated 20.10.1972: as of November 17, 1992. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/995_137#Text (accessed: 15.05.2024). (in Ukrainian).
2. *Pro pryiednannia Ukrainy do Konventsii pro Mizhнародni pravyla zapobihannia zitknenniu suden na mori 1972 roku* (On Ukraine's Accession to the International Regulations for Preventing Collisions at Sea 1972): Resolution of the Verkhovna Rada of Ukraine dated 17.11.1992 No. 2785-XII. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2785-12#Text> (accessed: 15.05.2024). (in Ukrainian).
3. Plachkova, T.M. (2019). *Mizhнародni pravyla poperedzhennia zitknenn' suden u systemi pravovoho zabezpechennia bezpeky moreplavstva* [International Regulations for Preventing Collisions at Sea in the System of Legal Support for Maritime Safety]. In G.O. Ulyanova (Ed.), *Pravove zhyttia suchasnoi Ukrainy: Proceedings of the Scientific and Practical Conference* (Vol. 1, pp. 488–491). Odesa: Helvetica Publishing House. (in Ukrainian).
4. Zavitaiev, V.L. (2019). *Sudnovodinnia na vnutrishnikh i prybrezhnykh mors'kykh shliakhakh: Navchal'nyj posibnyk* [Navigation on Inland and Coastal Waterways: A Textbook]. Kyiv: Lira-K Publishing House. (in Ukrainian).
5. Vyshnevs'kyj, V.L. (2021). *Mizhнародno-pravova rehlementatsiia rozsliduvannia mors'kykh avarij ta intsydentiv* [International Legal Regulation of the Investigation of Maritime Accidents and

- Incidents] (Doctoral dissertation, National University «Odesa Maritime Academy», V.M. Koretsky Institute of State and Law of the National Academy of Sciences of Ukraine). Kyiv. (in Ukrainian).
6. Collisions – Why do they occur? URL: <https://sailorscove.quora.com/Collisions-Why-do-they-occur-GARD> (accessed: 15.05.2024).
 7. Tsymbal, N.N., & Buzhbetskij, R.Yu. (2006). *Formalizatsiya MPPSS-72 v chasti koordinatsii vzaimodejstviya sudov pri raskhozhdenii* [Formalization of COLREGS-72 in Terms of Coordinating Vessel Interaction during Encounters]. *Sudovozhdenie*, 12, 124–129. (in Russian).
 8. Tsymbal, N.N., Burmaka, I.A., & Tyupikov, E.E. (2007). *Gibkie strategii raskhozhdeniya sudov* [Flexible Vessel Encounter Strategies]. Odessa: KP OGT. (in Russian).
 9. Tsymbal, N.N., & Buzhbetskij, R.Yu. (2006). *Uchet ogranichenij MPPSS-72 pri vybore manevra raskhozhdeniya sudov* [Considering COLREGS-72 Constraints When Choosing a Vessel Encounter Maneuver]. *Sudovozhdenie*, 11, 134–138. (in Russian).
 10. Lisowski, J. (2005). *Game control methods in navigator decision support system*. The Archives of Transport, 3-4(XVII), 133–147.
 11. Ben', A.P. (2011). *Formalizatsiya pravil MPPSS-72 v sisteme podderzhki prinyatiya reshenij sudovoditelya* [Formalization of COLREGS-72 Rules in the Navigator Decision Support System]. *Shtuchnyj intelekt*, 3, 327–331. URL: <http://dspace.nbu.gov.ua> (accessed: 15.05.2024). (in Russian).

Trofymenko I.V., Plyta L.L., Ivanenko V.M., Fedunov V.M.

JUSTIFICATION OF THE CHOICE OF KNOWLEDGE FORMALISATION APPARATUS FOR DECISION SUPPORT SYSTEMS FOR THE PREVENTION OF SHIP COLLISIONS

The aim of the study is to prevent and reduce the number of ship collisions at sea by studying and analysing the causes of such events and justifying the choice of a knowledge formalisation apparatus based on relevant international rules for decision support systems. This goal is achieved by analysing open statistics on ship collisions in the world, the totality of their causes and justifying the choice of a knowledge formalisation apparatus for a promising decision support system for a ship's master. The basis of the International Regulations for the Prevention of Collisions at Sea, 1972 (COLREGs) is the safe separation of a ship from a certain finite number of ships at a given distance by considering the regularities of manoeuvring characteristics of ships and their controlling influences. Failure to comply with the standard procedures and rules of COLREGs is the most important cause of ship collisions. The reasons for non-compliance with COLREGs are grouped into three classes: mistakes made by navigators in applying international rules, forced deviation from COLREGs, and ignoring these rules. A brief analysis of the formalisation of ship collision avoidance rules used in decision support systems for navigators shows that these rules describe only pairwise interaction of ships. To form an adequate picture of the navigation situation and the actual situation, and to create scenarios for the development of the current situation, it is proposed to consider the full set of all interacting pairs. A significant scientific result for considering the inaccuracy of the available numerical and linguistic information is the conclusion that interval estimates of ship movement parameters based on fuzzy sets of the second type should be used as the main apparatus for formalising the rules for preventing ship collisions.

To prevent ship collision, a two-pronged approach is proposed, according to which, on the one hand, procedures on the bridge are improved, continuous study of COLREGs and rules for the operation of their vessels by crew members is ensured, and, on the other hand, a decision support system for the navigator is created, based on formalised COLREGs rules governing the processes of ship divergence.

Keywords: ship, collision prevention, ship separation, international rules, formalisation, decision support system.

Горалік Є.Т., Крюков М.М., Лупіна Т.О.

ВПЛИВ СИЛ ТЕРТЯ НА СХОДЖЕННЯ РЯТУВАЛЬНОЇ ШЛЮПКИ ВІЛЬНОГО ПАДІННЯ З ПОХИЛОЇ РАМПИ

Розглянуто задачу про рух рятувальної шлюпки вільного падіння (РШВП), яка моделюється однорідним стрижнем, при сходженні з похилої рампі протягом першої фази падіння з наростаючим кутом нахилу (фази обертання) з урахуванням впливу сил тертя. Диференціальні рівняння руху РШВП в полярній системі координат з урахуванням сили тертя, рівної половині її максимального значення, складені за допомогою рівнянь Лагранжа другого роду. Отримано розв'язувальну систему звичайних диференціальних рівнянь і сформульовано відповідну задачу Коші.

На основі запропонованого підходу проведено чисельні експерименти для визначення часу скочування РШВП, швидкості її центру мас, кутів повороту та кутової швидкості шлюпки в момент відриву від рампі при значеннях коефіцієнту тертя 0; 0,1 і 0,2, значеннях кута нахилу рампі $\alpha = 35^\circ$ та $\alpha = 25^\circ$, довжині шлюпки 5, 10, 15 м і початковій швидкості її центру мас 6, 8, 10 м/с відповідно.

Також на основі диференціальних рівнянь руху стрижня в декартовій та полярній системах координат отримано вираз для нормальної реакції рампі F_n та розв'язувальну систему диференціальних рівнянь в декартовій системі координат. Сформульовано відповідну задачу Коші, яка розв'язується чисельно за допомогою методу Рунге-Кутта четвертого порядку точності.

Проведено розрахунки залежностей значення відносної динамічної нормальної реакції F_n/m (Н/кг) стрижня при куті нахилу рампі $\alpha = 35^\circ$, різних значеннях довжини стрижня, початкової швидкості його центру мас від часу та відстані центру мас до краю опори в процесі скочування, а також побудовано їх графіки для стрижня довжиною 5 метрів і початковій швидкості 6 м/с. Показано, що робота сил тертя протягом фази обертання не перевищує роботу сили тертя при значенні нормальної реакції, рівному половині значення нормальної реакції на початку фази обертання.

Встановлено, що вплив тертя на параметри руху РШВП протягом фази обертання незначний і залежить від кута нахилу рампі. При зменшенні кута нахилу рампі вплив тертя на кут повороту і кутову швидкість РШВП зростає, а на лінійну швидкість її центру мас навпаки зменшується.

Зроблено висновок про можливість використання запропонованого підходу і чисельних експериментів для врахування сил тертя протягом фази обертання та вибору параметрів руху РШВП.

Ключові слова: рятувальна шлюпка вільного падіння, похила рампі, сила тертя, рівняння Лагранжа другого роду, звичайні диференціальні рівняння, задача Коші, чисельне моделювання, метод Рунге-Кутта.

Мета дослідження полягає в оцінці впливу сил тертя на параметри руху рятувальної шлюпки вільного падіння при сходженні з похилої рампі впродовж етапу обмеженого падіння (фази обертання).

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Задача про рух твердого тіла при сходженні з похилої плоскої опори є актуальною, зокрема, для рятувальних шлюпок вільного падіння, які знаходять широке застосування на морських судах та нафтодобувних платформах [1, 2, 3]. Рух

рятувальної шлюпки вільного падіння при скиданні з судна до контакту з водою розглядався в роботах багатьох вітчизняних та зарубіжних науковців, оскільки небезпечні для пасажирів прискорення під час занурення шлюпки залежать від її положення та швидкості в момент контакту з поверхнею води.

При цьому рух РШВП зазвичай поділяють на три взаємно пов'язані етапи: ковзання по похилій рампи до досягнення її центром мас краю рампи (фаза ковзання), обмежене падіння до відриву від рампи (фаза обертання) і вільне падіння до контакту носової частини шлюпки з водою (фаза вільного падіння) [1, 2, 3]. Найбільш складною для теоретичного дослідження є фаза обертання, коли рух описується диференціальними рівняннями, розв'язування яких потребує застосування чисельних методів.

Зазвичай, рух рятувальної шлюпки під час фази обертання розглядається в декартовій системі координат [2, 4, 5] і описується трьома диференціальними рівняннями, два з яких описують рух її центру мас, а третє – обертальний рух шлюпки, до яких додається рівняння сумісності переміщень.

В роботах [6, 7, 8] запропоновано для складання диференціальних рівнянь і дослідження руху шлюпки, яка моделюється однорідним стрижнем, впродовж фази обертання застосовувати рівняння Лагранжа другого роду і полярну систему координат з початком на краю рампи. Завдяки цьому отримано більш просту систему двох диференціальних рівнянь, на основі результатів чисельних розв'язків яких виконано дослідження впливу різних факторів на параметри руху. Враховуючи малість значень приведених коефіцієнтів тертя для відомих спускних пристроїв ($f = 0,02 \dots 0,05$), силами тертя нехтували.

Враховуючи можливість зростання сил тертя за певних обставин, чисельна оцінка їх впливу на рух РШВП під час фази обертання є актуальною.

Основні матеріали дослідження. При моделюванні твердого тіла однорідним стрижнем масою m довжиною L його рух протягом фази обертання в декартових прямокутних координатах без врахування сил тертя описується системою трьох диференціальних рівнянь другого порядку (1).

$$\begin{aligned} m\ddot{x} &= F_n \sin\varphi, \\ m\ddot{y} &= mg - F_n \cos\varphi, \\ \frac{mL^2}{12} \ddot{\varphi} &= F_n \sqrt{x^2 + y^2} \end{aligned} \quad (1)$$

де x, y – координати центру мас стрижня, φ – кут нахилу стрижня до горизонтальної осі, $\ddot{x}, \ddot{y}$ – проекції прискорення на горизонтальну і вертикальну осі координат, $\ddot{\varphi}$ – кутове прискорення стрижня, g – прискорення вільного падіння.

Значення динамічної нормальної реакції опори $\vec{F}_n$, наперед невідоме, змінюється під час руху стрижня і потребує додаткового визначення.

В узагальнених (полярних) координатах, як було показано в роботі [7], для розв'язання розглядуваної задачі про рух стрижня при його скочуванні з опори без врахування сил тертя достатньо системи двох диференціальних рівнянь (2).

$$\begin{aligned} \ddot{r} - r\dot{\varphi}^2 &= g \sin\varphi; \\ 2r\dot{r}\dot{\varphi} + \left(\frac{L^2}{12} + r^2\right) \ddot{\varphi} &= gr \cos\varphi. \end{aligned} \quad (2)$$

де r – модуль радіуса-вектора центру мас стрижня, $\dot{r}$ – швидкість центру мас в напрямі осі стрижня, $\dot{\varphi}$ – кутове прискорення стрижня.

З останнього рівняння системи (2) після підстановки $r = \sqrt{x^2 + y^2}$ і необхідних перетворень отримаємо (3):

$$\ddot{\varphi} = \frac{g\sqrt{x^2+y^2}\cos\varphi - 2(x\dot{y}+y\dot{x})\dot{\varphi}}{\left(\frac{L^2}{12}+x^2+y^2\right)}. \quad (3)$$

З третього рівняння системи (1), з урахуванням (3) визначаємо F_n (4):

$$F_n = \frac{mL^2}{12} \left(\frac{g\sqrt{x^2+y^2}\cos\varphi - 2(x\dot{y}+y\dot{x})\dot{\varphi}}{\left(\frac{L^2}{12}+x^2+y^2\right)\sqrt{x^2+y^2}} \right) \quad (4)$$

Підставивши знайдений для F_n вираз (4) в (1), отримаємо розв'язувальну систему диференціальних рівнянь в декартових координатах у вигляді (5):

$$\begin{aligned} \ddot{x} &= \frac{L^2 \sin\varphi}{12} \left(\frac{g\sqrt{x^2+y^2}\cos\varphi - 2(x\dot{y}+y\dot{x})\dot{\varphi}}{\left(\frac{L^2}{12}+x^2+y^2\right)\sqrt{x^2+y^2}} \right) \\ \ddot{y} &= g - \frac{L^2 \cos\varphi}{12} \left(\frac{g\sqrt{x^2+y^2}\cos\varphi - 2(x\dot{y}+y\dot{x})\dot{\varphi}}{\left(\frac{L^2}{12}+x^2+y^2\right)\sqrt{x^2+y^2}} \right) \\ \ddot{\varphi} &= \frac{g\sqrt{x^2+y^2}\cos\varphi - 2(x\dot{y}+y\dot{x})\dot{\varphi}}{\left(\frac{L^2}{12}+x^2+y^2\right)} \end{aligned} \quad (5)$$

Рівняння (5) справедливі поки кінець стрижня не досягне кінця опори за умови $F_n > 0$.

Для формулювання задачі Коші для отриманої системи диференціальних рівнянь (5) необхідно додати початкові умови (6)

$$\begin{aligned} x(0) = 0, y(0) = 0, \dot{x}(0) = V_{0x} = V_0 \cos \alpha, \dot{y}(0) = V_{0y} = V_0 \sin \alpha, \\ \varphi(0) = \alpha, \dot{\varphi}(0) = 0. \end{aligned} \quad (6)$$

Поклавши $z_1 = x$, $z_2 = \dot{x}$, $z_3 = y$, $z_4 = \dot{y}$, $z_5 = \varphi$, $z_6 = \dot{\varphi}$, $a = L^2/12$, приведемо отриману систему диференціальних рівнянь (5) до нормальної форми Коші:

$$\begin{aligned} \frac{dz_1}{dt} &= z_2, \quad \frac{dz_1}{dt} = a \sin z_5 \left(\frac{g\sqrt{z_1^2+z_3^2} \cdot \cos z_5 - 2(z_1 z_2 + z_3 z_4) z_6}{(a+z_1^2+z_3^2)\sqrt{z_1^2+z_3^2}} \right), \\ \frac{dz_3}{dt} &= z_4, \quad \frac{dz_5}{dt} = z_6, \\ \frac{dz_6}{dt} &= \frac{g\sqrt{z_1^2+z_3^2} \cdot \cos z_5 - 2(z_1 z_2 + z_3 z_4) z_6}{(a+z_1^2+z_3^2)}. \end{aligned} \quad (7)$$

Початкові умови мають вигляд

$$\begin{aligned} z_1(0) = 0, \quad z_2(0) = V_{0x} = V_0 \cos \alpha, z_3(0) = 0, z_4(0) = V_{0y} = V_0 \sin \alpha, \\ z_5(0) = \alpha, z_6(0) = 0. \end{aligned} \quad (8)$$

Задачу Коші (7), (8) розв'язували за допомогою чисельного методу Рунге-Куты четвертого порядку точності.

На основі запропонованого підходу проведено серію чисельних експериментів для визначення часу скочування стрижня, горизонтальної та вертикальної складової швидкості центру мас, кутів повороту та кутової швидкості стрижня в момент відриву від рампи при куті нахилу рампи $\alpha = 35^\circ$ та різних значеннях початкової швидкості центру мас в діапазоні від 1 до 10 м/с і довжини стрижня в діапазоні від 5 до 15 м. Результати цих розрахунків не відрізнялись від отриманих раніше в роботі [7].

Проведені розрахунки залежності значення відносної динамічної нормальної реакції F_n/m (Н/кг) стрижня при куті нахилу рампи $\alpha = 35^\circ$ та вказаному вище діапазоні змін довжини

стрижня та початкової швидкості центру мас від часу t (с) та відстані центру мас до краю опори в процесі скочування. Представлені на рис. 1 дані для стрижня довжиною 5 м при початковій швидкості 6 м/с, свідчать про справедливість рівнянь (5) в цьому випадку і відрив кінця стрижня від краю опори, оскільки $F_n > 0$ протягом всієї фази обертання.

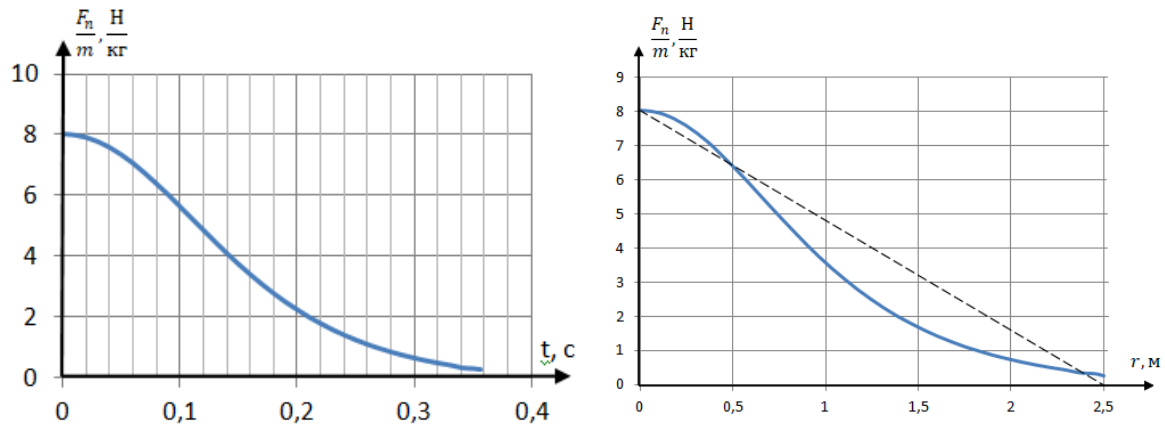


Рисунок 1 – Залежність відносної динамічної реакції F_n/m (Н/кг):
а) – від часу скочування t (с); б) – від відстані центру мас до краю опори r (м)

Оскільки сила тертя між стрижнем і краєм опори $F_T = fF_n$, то робота сили тертя A_T протягом фази скочування, яка пропорційна площі під графіком (рис. 1, б) дещо менша за роботу сили тертя, яка змінюється за лінійним законом від максимального значення F_{Tmax} на початку фази обертання до нуля в момент відриву стрижня від рампи, тобто $A_T < f \frac{F_{nmax}}{2} \cdot \frac{L}{2}$. Отже, поклавши в подальших розрахунках $F_n = \frac{F_{nmax}}{2}$ отримаємо дещо завищені результати щодо впливу тертя протягом фази обертання на рух стрижня при його скочуванні з похилої рампи.

Розрахункова схема сходження стрижня з урахуванням тертя представлена на рис. 2.

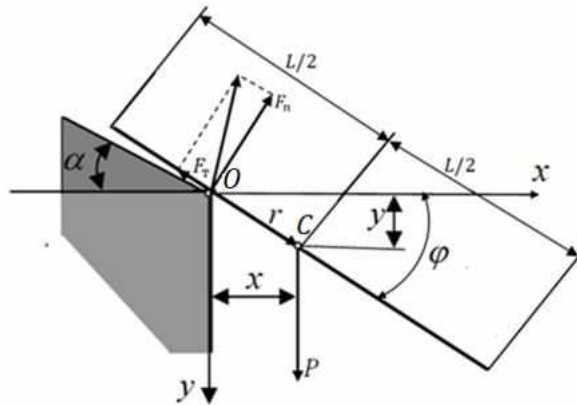


Рисунок 2 – Сходження однорідного стрижня з похилої опори.

В якості узагальнених координат приймемо радіус $r = OC$ – відстань від центру мас стрижня до краю опори і полярний кут φ між горизонтальною віссю x і напрямком OC – віссю стрижня.

В даному випадку рівняння Лагранжа другого роду мають вигляд:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\delta T}{\delta \dot{r}} \right) - \frac{\delta T}{\delta r} = Q_1,$$

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\delta T}{\delta \dot{\varphi}} \right) - \frac{\delta T}{\delta \varphi} = Q_2,$$

де T – кінетична енергія тіла, $\dot{r} = \frac{dr}{dt}$ – модуль радіальної швидкості центру мас, $\dot{\varphi} = \frac{d\varphi}{dt}$ – модуль кутової швидкості стрижня, $\ddot{\varphi} = \frac{d^2\varphi}{dt^2}$ – модуль кутового прискорення стрижня, Q_1 і Q_2 – узагальнені сили.

Кінетична енергія стрижня при його русі визначається з виразу:

$$T = \frac{I_{zc}\dot{\varphi}^2}{2} + \frac{mV_c^2}{2}, \quad I_{zc} = \frac{mL^2}{12}$$

де I_{zc} – момент інерції стрижня відносно центру мас, V_c – модуль вектора швидкості центру мас.

З урахуванням відомих формул для моменту інерції стрижня відносно центру мас $I_{zc} = \frac{mL^2}{12}$ і модуля вектора швидкості точки в полярній системі координат $V = \sqrt{\dot{r}^2 + r^2\dot{\varphi}^2}$ отримаємо наступний вираз для кінетичної енергії стрижня: $T = \frac{mL^2}{12} \cdot \frac{\dot{\varphi}^2}{2} + \frac{m(r^2 + r^2\dot{\varphi}^2)}{2}$.

Знайшовши вирази для похідних, що входять у ліві частини рівнянь Лагранжа, отримаємо:

$$\frac{\delta T}{\delta \dot{r}} = m\dot{r}; \quad \frac{d}{dt} \left(\frac{\delta T}{\delta \dot{r}} \right) = m\ddot{r}; \quad \frac{\delta T}{\delta r} = m\dot{\varphi}^2; \quad \frac{\delta T}{\delta \dot{\varphi}} = \frac{L^2}{12}m\dot{\varphi} + mr^2\dot{\varphi}; \quad \frac{d}{dt} \left(\frac{\delta T}{\delta \dot{\varphi}} \right) = 2mr\dot{r}\dot{\varphi} + \left(\frac{L^2}{12} + r^2 \right) m\ddot{\varphi}; \quad \frac{\delta T}{\delta \varphi} = 0.$$

Визначимо узагальнену силу Q_1 по координаті $q_1 = r$. Для цього розглянемо можливе переміщення системи, зумовлене можливим приростом узагальненої координати $q_1 = r$ (рис. 3). $\delta A = Q_1 \delta q_1 = Q_1 \delta r$.

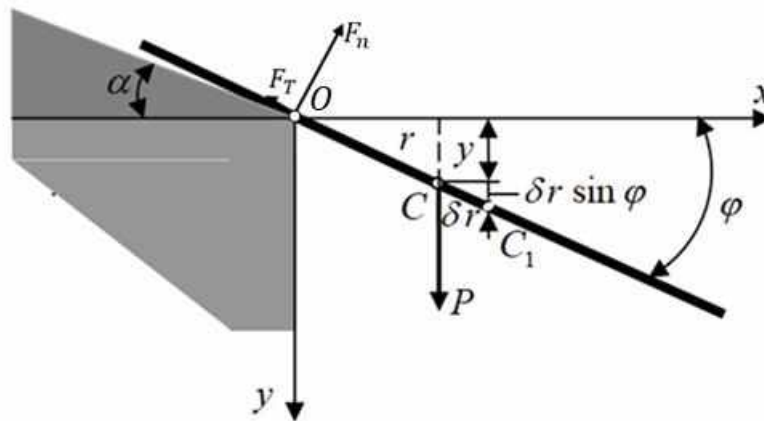


Рисунок 3 – Можливе переміщення системи, зумовлене приростом узагальненої координати δr .

Обертальний момент в початковий момент фази обертання $Prcos\alpha = F_{n\max}r$. Звідси $F_{n\max} = Pcos\alpha$.

Враховуючи, що в кінці фази обертання $F_n \rightarrow 0$, в подальших розрахунках при оцінці роботи сил тертя покладемо $F_n = \frac{1}{2}F_{n\max} = \frac{Pcos\alpha}{2} = 0,5mgcos\alpha$. Тоді середнє значення сили тертя між стрижнем і опорою протягом фази обертання визначатиметься за формулою

$$F_T = 0,5fmgcos\alpha.$$

Визначимо узагальнену силу Q_1 по координаті $q_1 = r$. Для цього розглянемо можливе переміщення системи, зумовлене можливим приростом узагальної координати $q_1 = r$ (рис. 3). $\delta A = Q_1 \delta q_1 = Q_1 \delta r$

Сума елементарних робіт всіх активних сил, прикладених до системи на цьому переміщенні дорівнює:

$$\delta A = P \delta r \sin \varphi - F_T \delta r = mg \delta r \sin \varphi - 0,5 f m g \cos \alpha \delta r = (m g \sin \varphi - 0,5 f m g \cos \alpha) \delta r.$$

З іншого боку, $\delta A = Q_1 \delta q_1 = Q_1 \delta r$. Отже, $Q_1 = m g (\sin \varphi - 0,5 f \cos \alpha)$. Так само визначимо узагальнену силу Q_2 по координаті $q_2 = \varphi$.

Розглянемо можливе переміщення системи, зумовлене можливим приростом узагальної координати $\delta \varphi$ (рис. 4).

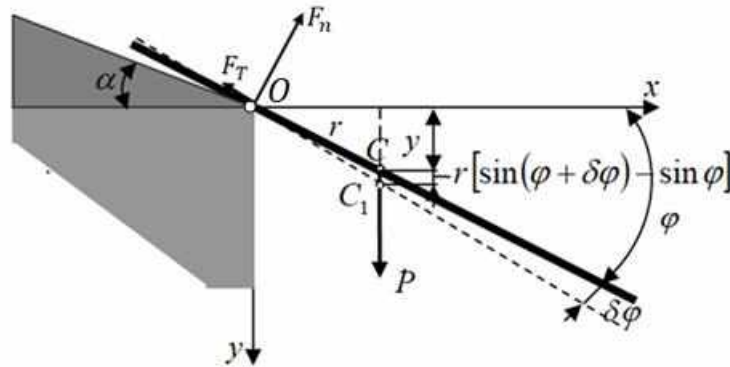


Рисунок 4 – Можливе переміщення системи, зумовлене приростом узагальної координати $\delta \varphi$

Сума елементарних робіт всіх активних сил, прикладених до системи на цьому переміщенні дорівнює $\delta A = P r [\sin(\varphi + \delta \varphi) - \sin \varphi] = m g r [\sin \varphi \cos \delta \varphi + \cos \varphi \sin \delta \varphi - \sin \varphi]$.

Оскільки $\cos \delta \varphi \approx 1$ і $\sin \delta \varphi \approx \delta \varphi$, можна записати $\delta A = m g r \cos \varphi \delta \varphi$. З іншого боку, $\delta A = Q_2 \delta q_2 = Q_2 \delta \varphi$. Отже, $Q_2 = m g r \cos \varphi$.

Підставимо отримані вище вирази у рівняння Лагранжа і отримаємо наступну розв'язувальну систему диференціальних рівнянь другого порядку

$$\begin{aligned} \ddot{r} - r \dot{\varphi}^2 &= g(\sin \varphi - 0,5 f \cos \alpha); \\ 2r \dot{r} \dot{\varphi} + \left(\frac{L^2}{12} + r^2 \right) \ddot{\varphi} &= g r \cos \varphi. \end{aligned} \quad (9)$$

Для формулювання задачі Коші для отриманої системи диференціальних рівнянь (1) додаємо початкові умови

$$r(0) = 0, \dot{r}(0) = V_0, \varphi(0) = \alpha, \dot{\varphi}(0) = 0. \quad (10)$$

Приведемо отриману систему диференціальних рівнянь до нормальної форми Коші

$$\begin{aligned} \frac{dy_1}{dt} &= y_2, \\ \frac{dy_2}{dt} &= y_1 y_4^2 + g(\sin \varphi - 0,5 f \cos \alpha), \end{aligned} \quad (11)$$

$$\frac{dy_3}{dt} = y_4,$$

$$\frac{dy_4}{dt} = \frac{gy_1 \cos y_3 - 2y_1 y_2 y_4}{a + y_1^2}.$$

Тут $y_1 = r$, $y_2 = \dot{r}$, $y_3 = \varphi$, $y_4 = \dot{\varphi}$, $a = L^2/12$.

Початкові умови мають вигляд

$$y_1(0) = 0, y_2(0) = V_0, y_3(0) = \alpha, y_4(0) = 0. \quad (12)$$

Запишемо задачу Коші (11), (12) у векторній формі

$$\frac{d\vec{Y}}{dt} = \vec{F}(t, \vec{Y}), \quad \vec{Y}(0) = \vec{Y}_0, \quad (13)$$

де $\vec{Y} = \{y_1, y_2, y_3, y_4\}^T$. Будемо розв'язувати задачу (13) за допомогою чисельного методу Рунге-Кутта четвертого порядку точності:

$$\vec{Y}_{n+1} = \vec{Y}_n + \vec{\lambda}_n, \quad (n = 0, 1, 2, \dots), \quad \vec{K}_4 = h\vec{F}\left(t_n + \frac{h}{2}, \vec{Y}_n + \vec{K}_3\right)$$

$$\text{де } \vec{\lambda}_n = \frac{1}{6}(\vec{K}_1 + 2\vec{K}_2 + 2\vec{K}_3 + \vec{K}_4), \quad \vec{K}_1 = h\vec{F}(t_n, \vec{Y}_n), \quad \vec{K}_2 = h\vec{F}\left(t_n + \frac{h}{2}, \vec{Y}_n + \frac{\vec{K}_1}{2}\right),$$

$$\vec{K}_3 = h\vec{F}\left(t_n + \frac{h}{2}, \vec{Y}_n + \frac{\vec{K}_2}{2}\right), \quad \vec{K}_4 = h\vec{F}\left(t_n + h, \vec{Y}_n + \vec{K}_3\right), \quad t_n = nh \quad (n = 0, 1, 2, \dots), \quad h > 0 \text{ — крок в часі}$$

$$\Delta t_n = t_{n+1} - t_n.$$

На основі отриманих результатів проведені розрахунки швидкості центру мас стрижня V_c , кута β між вектором швидкості $\vec{V}_c$ і віссю стрижня, горизонтальної та вертикальної складової цієї швидкості за наступними формулами (14):

$$V_c = \sqrt{\dot{r}^2 + (r\dot{\varphi})^2};$$

$$\beta = \arcsin\left(\frac{r\dot{\varphi}}{V_c}\right), \quad (14)$$

$$V_{cx} = V_c \cdot \cos(\alpha + \beta);$$

$$V_{cy} = V_c \cdot \sin(\alpha + \beta);$$

Результати проведених розрахунків параметрів руху для стрижнів довжиною $L = 5, 10$ і 15 метрів при початкових швидкостях $6, 8$ і 10 метрів за секунду відповідно, куті нахилу опорної поверхні $\alpha = 35^\circ$ і $\alpha = 25^\circ$ та значеннях коефіцієнту тертя рівних $0; 0,1$ і $0,2$ представлені в табл. 1, а також на рис. 5 і рис.6. В табл. 1 наведені також відносні прирости $\Delta\%$ параметрів руху стрижня в кінці фази обертання при збільшенні коефіцієнту тертя від 0 до $0,2$.

Таблиця 1 – Результати розрахунків параметрів руху для стрижнів.

L=5 м $\alpha = 35^\circ$	$V_0=6$ м/с	f	t, с	φ°	$\dot{\varphi}$, с ⁻¹	$\dot{r}$, м/с	V_c , м/с	V_{cx} , м/с	V_{cy} , м/с
		0	0,356	39,38	0,396	8,112	8,172	5,644	5,910
		0,1	0,360	39,5	0,402	7,963	8,026	5,508	5,838
		0,2	0,364	39,61	0,407	7,809	7,875	5,369	5,761
		$\Delta\%$	2,25%	0,58%	2,78%	-3,73%	-3,63%	-4,87%	-2,52%

L=10 м α = 35°	V ₀ =8 м/с	0	0,526	39,73	0,291	11,13	11,225	7,633	8,230
		0,1	0,532	39,90	0,295	10,91	11,009	7,427	8,127
		0,2	0,539	40,01	0,299	10,69	10,794	7,229	8,016
		$\Delta\%$	2,47%	0,72%	2,75%	-3,95%	-3,84%	-5,29%	-2,60%
L=15 м α = 35°	V ₀ =10 м/с	0	0,635	39,61	0,234	13,78	13,891	9,501	10,134
		0,1	0,642	39,71	0,238	13,51	13,627	9,253	10,004
		0,2	0,649	39,84	0,241	13,24	13,363	9,012	9,867
		$\Delta\%$	2,20%	0,58%	2,99%	-3,92%	-3,80%	-5,15%	-2,63%
L=5 м α = 25°	V ₀ =6 м/с	0	0,368	30,21	0,460	7,677	7,753	6,046	4,853
		0,2	0,377	30,50	0,474	7,357	7,452	5,736	4,756
		$\Delta\%$	2,45%	0,95%	3,04%	-4,17%	-3,88%	-5,13%	-2,00%
L=10 м α = 25°	V ₀ =8 м/с	0	0,545	30,69	0,3383	10,5	10,635	8,179	6,798
		0,2	0,56	31,05	0,3496	10,04	10,191	7,700	6,676
		$\Delta\%$	2,75%	1,16%	3,34%	-4,38%	-4,17%	-5,86%	-1,79%
L=15 м α = 25°	V ₀ =10 м/с	0	0,657	30,53	0,2726	13,01	13,170	10,168	8,369
		0,2	0,674	30,85	0,2814	12,44	12,618	9,597	8,192
		$\Delta\%$	2,59%	1,07%	3,23%	-4,38%	-4,19%	-5,61%	-2,11%

З табл. 1. видно, що вплив тертя на параметри руху стрижня протягом фази обертання незначний і залежить від кута нахилу рампи. При зменшенні кута нахилу рампи вплив тертя на кут повороту стрижня і його кутову швидкість зростає, а на лінійну швидкість центру мас, навпаки, зменшується.

Так, збільшення значення коефіцієнту тертя від 0 до 0,2 призводить в усіх випадках при $\alpha = 35^\circ$ до збільшення часу фази обертання (на 2,2...2,25%), кута нахилу (на 0,58...0,72%) та кутової швидкості стрижня (на 2,75...2,99%) в момент його відриву від опори. При $\alpha = 25^\circ$ величина зростання часу, кута нахилу та кутової швидкості складає 2,45...2,75%, 0,95...1,16% та 3,04...3,34% відповідно.

Лінійна швидкість центру мас при цьому в усіх випадках при збільшенні коефіцієнту тертя навпаки зменшується. Абсолютна швидкість центру мас стрижня в момент відриву від рампи при $\alpha = 35^\circ$ зменшується на 3,63...3,84%, а її горизонтальна і вертикальна складові на 4,87...5,29% і 2,52...2,63% відповідно. При $\alpha = 25^\circ$ абсолютна швидкість центру мас та її горизонтальна і вертикальна складові зменшуються на 3,88...4,19%, 5,13...5,86% і 1,79...2,11%.

Результати, представлені в табл.1 та на рис.5 і рис.6, показують більш суттєвий вплив тертя на швидкість центру мас стрижня, ніж на кут повороту та кутову швидкість стрижня протягом фази обертання.

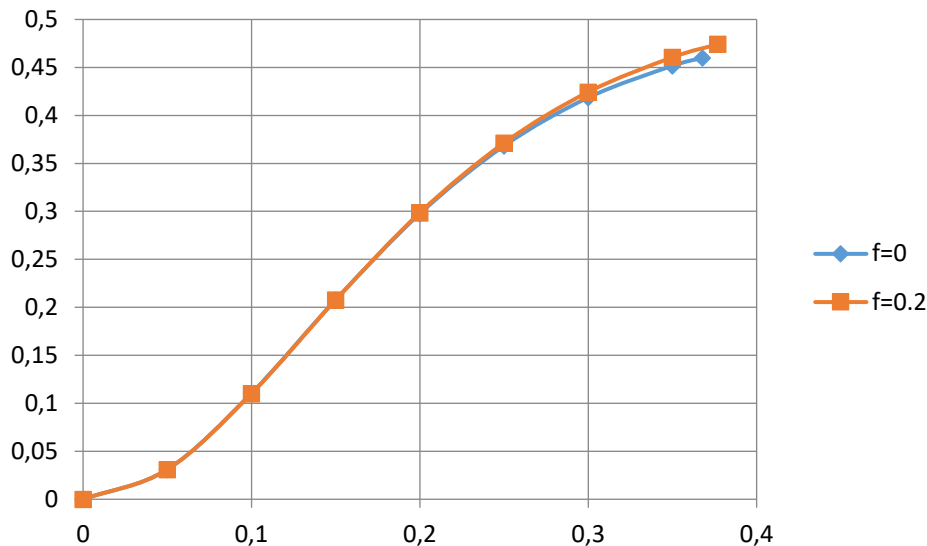


Рисунок 5 – Залежність кутової швидкості обертання стрижня від часу скочування при куті нахилу рампи $\alpha = 25^\circ$ та значеннях коефіцієнту тертя $f=0$ і $f=0,2$

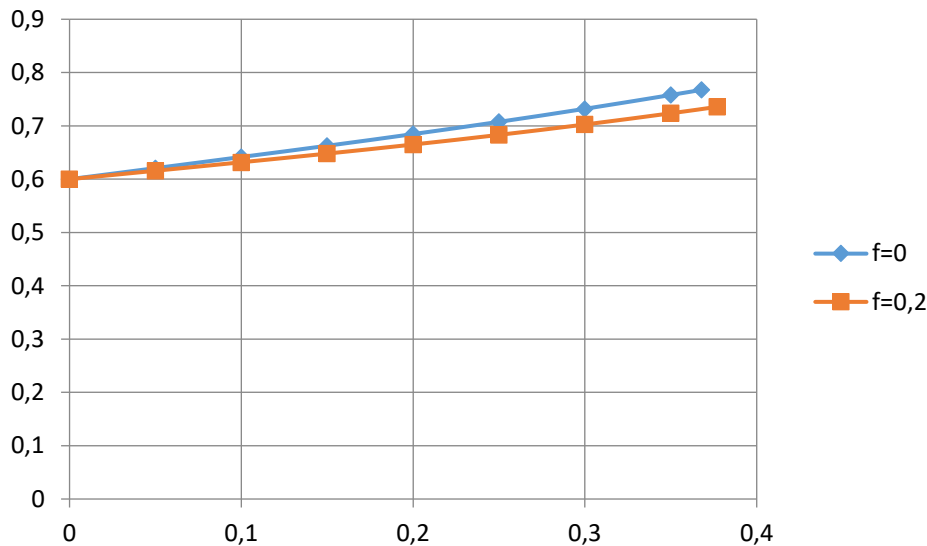


Рисунок 6 – Залежність радіальної швидкості $\dot{r}$, центру мас стрижня від часу скочування при куті нахилу рампи $\alpha = 25^\circ$ та значеннях коефіцієнту тертя $f=0$ і $f=0,2$

Висновки. Запропонований підхід дозволяє за допомогою чисельних експериментів проводити розрахунки параметрів руху РШВП при скиданні з судна з урахуванням сили тертя.

Показано, що вплив тертя на параметри руху РШВП протягом фази обертання незначний і залежить від кута нахилу рампи. При цьому, тертя в більшій мірі впливає на поступальний рух стрижня, ніж на його обертання.

ЛІТЕРАТУРА

1. Бугаенко, Б. А. Принципы проектирования и особенности конструирования судовых устройств и судовой техники морских технологий [Текст] / Б. А. Бугаенко, А. Ф. Галь. Николаев : УГМТУ, 1995. – Ч. 2. – С. 86–101.
2. Tasaki, R., Ogawa Atsushi, Tsukino, Y. Numerical Simulation and its Application on the Falling Motion of Freefall Lifeboats. Journal of The Society of Naval Architects of Japan, Vol. 167, pp. 147-158, 1990.

3. В.Е.Микитюк, Д.А.Миронов. Параметры движения шлюпки свободного падения перед приводнением / Матеріали І Міжнар. наук.-техн. конф. «Інновації в суднобудуванні та океанотехніці» Миколаїв: - НУК, 2010. – С. 84-89.
4. Arai,M., Khondoker, M. R. H., Inoue, Y. Water Entry Simulation of Free-fall Lifeboat First Report : Analysis of Motion and Acceleration. Journal of The Society of Naval Architects of Japan, Vol. 178, pp. 193-201, 1995.
5. Karim, M.M., Iqbal, K.S., Khondoker, M.R.H. and Rahman S.M.H. Influence of Falling Height on the Behavior of Skid-Launching Free-Fall Lifeboat in Regular Waves. Journal of Applied Fluid Mechanics, Vol. 4, No. 1, pp. 77-88, 2011.
6. Goralik J.T., Kryukov M.M., Lupina T.O. Investigation of the rotation phase of a free-fall lifeboat movement. International periodic scientific journal "Modern engineering and innovative technologies". Issue 12/Part2., pp. 65-76, 2020.
7. Є.Т. Горалік, М.М. Крюков. Математическое моделирование фазы вращения движения твердого тела при сходжении с наклонной ramпы. Прикладні питання математичного моделювання. Т.3, № 2.2., 2020. С. 113-122.
8. Є.Т. Горалік, М.М. Крюков, Т.О. Лупіна. Рух рятувальної шлюпки вільного падіння при сходженні з похилої ramпи. Водний транспорт. Збірник наукових праць Державного університету інфраструктури та технологій. – К.: ДУІТ, 2021. – Випуск 2(33). – С.23-35.
9. Є.Т. Горалік, М.М. Крюков, Т.О. Лупіна. Оцінка впливу зміщення центру мас рятувальної шлюпки вільного падіння відносно опорної поверхні на її рух при скиданні з судна. Водний транспорт. Збірник наукових праць Державного університету інфраструктури та технологій. – К.: ДУІТ, 2022. – Випуск 2(33). – С.165-176.

REFERENCES

1. Bugayenko, B. A. (1995) "Printsiipy proyektirovaniya i osobennosti konstruirovaniya sudovykh ustroystv i sudovoy tekhniki morskikh tekhnologiy" [Design principles and design features of ship devices and marine equipment of marine technology] [Tekst] / B. A. Bugayenko, A. F. Gal. Nikolayev: UGMTU, CH. 2, 86–101. [in Russian].
2. Tasaki, R., Ogawa Atsushi, Tsukino, Y.(1990) Numerical Simulation and its Application on the Falling Motion of Freefall Lifeboats. Journal of The Society of Naval Architects of Japan, Vol. 167, 1147-158. [in Japanese].
3. V.E.Mykytyuk, D.A.Myronov. (2010) "Parametry dvyzhenyya shlyupky svobodnoho padenyya pered pryvodnenyem" [Parameters of free fall boat motion before flooding] / Materialy I Mizhnar. nauk.-tekhn. konf. «Innovatsiyi v sudnobuduvanni ta okeanotekhnitsi» Mykolayiv: - NUK, 84-89. [in Russian].
4. Arai,M., Khondoker, M. R. H., Inoue, Y. (1995). Water Entry Simulation of Free-fall Lifeboat First Report : Analysis of Motion and Acceleration. Journal of The Society of Naval Architects of Japan, Vol. 178, 193-201. [in English].
5. Karim, M. M., Iqbal, K. S., Khondoker, M. R. H., Rahman, S. M. H.(2011) Influence of Falling Height on the Behavior of Skid-Launching Free-Fall Lifeboat in Regular Waves. Journal of Applied Fluid Mechanics, Vol. 4, No. 1, 77-88. [in English].
6. Goralik J.T., Kryukov M.M., Lupina T.O. Investigation of the rotation phase of a free-fall lifeboat movement. International periodic scientific journal "Modern engineering and innovative technologies". Issue 12/Part2., pp. 65-76, 2020.
7. Horalik Ye.T., Kriukov M.M. (2020) Matematicheskoe modelirovanie fazyi vrascheniya dvizheniya tverdogo tela pri shozhdenii s naklonnoy rampyi. [Mathematical modeling of the rotation phase of a solid body movement when descending from the inclined ramp] Prikladni pitannya matematichnogo modelyuvannya. 3/2.2, 113-122. [in Russian].
8. Horalik Ye.T., Kriukov M.M., Lupina T.O. (2021). Rukh riatsuvalnoi shliupky vilnoho padinnia pry skhodzhenni z pokhyloi rampy [The movement of the freefall lifeboat when descending from the inclined ramp]. Vodnyi transport [Water transport],no.2, 23-35. [in Ukrainian].

9. Horalik Ye.T., Kriukov M.M., Lupina T.O. Otsinka vplivu zmischennya tsentru mas ryatuvanoi shlyupki vlnogo padinnya vidnosno opornoyi poverhni na yiyi ruh pri skidanni z sudna [Assessment of the impact of the displacement of the center of mass of the free-fall lifeboat relative to the support surface on its motion when dropping from the ship]. Vodnyi transport [Water transport], 2 (33), 165-176. [in Ukrainian].

EFFECT OF FRICTIONAL FORCES ON FREEFALL LIFEBOAT DESCENT FROM INCLINED RAMP

Goralik J.T., Kryukov N.N., Lupina T.O.

The problem of the movement of a free-fall lifeboat, which is modeled by a homogeneous rod, when descending from an inclined ramp during the first phase of a fall with an increasing angle of inclination (rotation phase), taking into account the influence of frictional forces, is considered.

The differential equations of motion of the FFLB in the polar coordinate system, taking into account the frictional force equal to half of its maximum value, are composed using the Lagrange equations of the second kind. A solvable system of ordinary differential equations is obtained and the corresponding Cauchy problem is formulated.

On the basis of the proposed approach, numerous experiments were carried out to determine the rolling time of the FFLB, the speed of its center of mass, the angles of rotation and the angular velocity of the boat at the moment of separation from the ramp at the values of the friction coefficient equal to 0; 0.1 and 0.2, the values of the ramp inclination angle $\alpha=35^\circ$ and $\alpha=25^\circ$, the length of the boat is 5, 10, 15 m and the initial velocity of its center of mass is 6, 8, 10 m/s, respectively.

Also, on the basis of the differential equations of rod motion in the Cartesian and polar coordinate systems, an expression for the normal reaction F_n of the ramp and a solving system of differential equations in the Cartesian coordinate system are obtained. The corresponding Cauchy problem is formulated, which is solved numerically using the Runge-Kutt method of the fourth order of accuracy.

Calculations of the dependencies of the value of the relative dynamic normal reaction F_n/m (N/kg) of the rod at the angle of inclination of the ramp $\alpha=35^\circ$, different values of the length of the rod, the initial velocity of its center of mass on time and the distance of the center of mass to the edge of the support in the process of rolling were carried out, and their graphs were constructed for a rod with a length of 5 meters and an initial velocity of 6 m/s.

It was shown that the work of the frictional forces during the rotation phase does not exceed the work of the frictional force at a normal response value equal to half the value of the normal reaction at the beginning of the rotation phase.

It was found that the effect of friction on the parameters of movement of the FFLB during the rotation phase is insignificant and depends on the angle of inclination of the ramp. With a decrease in the angle of inclination of the ramp, the effect of friction on the angle of rotation and angular velocity of the FFLB increases, and on the linear velocity of its center of mass, on the contrary, decreases.

It is concluded that it is possible to use the proposed approach and numerical experiments to take into account the frictional forces during the rotation phase and select the parameters of the FFLB movement.

Key words: free-fall lifeboat, inclined ramp, frictional force, Lagrange equations of the second kind, ordinary differential equations, Cauchy problem, numerical modeling, Runge-Kutt method.

Сагін С.В., Сагін А.С., Заблоцький Ю.В., Фомін О.В.

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ПІДШИПНИКІВ СУДНОВИХ ДИЗЕЛІВ

Метою дослідження було визначення впливу антифрикційних покриттів на технічний стан підшипників суднових дизелів. Як антифрикційні покриття використовувалися різні епілами, тонкий шар яких наносився на поверхні вкладишів підшипників суднових дизелів 12V32/40 MAN-Diesel&Turbo. Товщина шару епіламу, що адсорбується на металевій поверхні, контролювалася методом еліпсометрії. Було встановлено, що товщина шару епіламу на поверхні вкладишів підшипників суднових дизелів може досягати 11,2...17,4 нм. При цьому час, необхідний для його адсорбції, не перевищує 10 хв. Показано, що наночастинок епіламу, нанесених на металеву поверхню, призводить до підвищення структурних характеристик граничного шару моторного мастила, що використовується в системі мащення дизелів, а саме при цьому збільшується товщина граничного шару (від 12,3 мкм до 15,2...18,3 мкм), та крайові кути змочування мастила (від 10,2° до 15,8...17,4°). Експериментально підтверджено, що епіламування поверхонь вкладишів підшипників дозволяє значною мірою знизити їх зношування. Для суднового дизеля 12V32/40 MAN-Diesel&Turbo експериментально встановлено, що епіламування забезпечує 1,1...1,4 кратне зниження зносу поверхні вкладишів підшипників, а також їх кращий технічний стан.

Ключові слова: антифрикційні покриття, вкладиш підшипника, граничний шар, знос, моторне мастило, система мащення, судновий дизель, підшипник ковзання, технічний стан, епіламування

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями. Технічний стан окремих вузлів або деталей двигунів внутрішнього згоряння (дизелів) відіграє визначальну роль у забезпеченні їхньої надійності та безаварійної роботи. Одними з таких деталей (щодо суднових дизелів) є вкладиші підшипників ковзання, які сприймають нормальні та радіальні навантаження у кривошипно-шатунному механізмі. Тривала та стійка робота підшипників ковзання суднових дизелів неможлива без використання мастильного матеріалу, який є складовою тріади тертя метал (вкладиш підшипника) – мастильний матеріал (мастило) – метал (вал дизеля). При цьому забезпечується гідродинамічний або граничний режим мащення. Короткочасна відсутність мастильного матеріалу в цій тріаді або порушення режиму мащення призводить до стрибкоподібного збільшення зносу вкладишів підшипників і може стати причиною аварії дизеля [1-4].

Крім того, погіршення технічного стану вкладишів підшипників суднових дизелів (пов'язане зі збільшенням зносу їхніх поверхонь) є причиною збільшення зазорів між валом і вкладишем. Це призводить до зростання динамічних навантажень, виникнення биття вала та підвищення зносу вкладишів підшипників. Металеві часточки (які є продуктами зносу вкладишів підшипників) розповсюджуються системою мащення дизеля, збільшуючи механічний вплив на деталі дизеля, насамперед на інші вкладиші, а також втулку циліндра та поршневі кільця [5-7].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Підтримання технічного стану вкладишів підшипників суднових дизелів (як і деяких контактних поверхонь інших машин і механізмів) можливе шляхом спеціальної механічної або фізичної обробки поверхонь, додавання поверхнево активних речовин у мастильний матеріал, а також нанесенням на поверхні спеціальних антифрикційних покриттів [8-10]. У разі спеціальної механічної або фізичної обробки поверхонь змінюється їхня геометрія, при цьому в трибологічній системі метал – мастильний матеріал – метал виникають додаткові пружнодемпфуючі сили, які забезпечують

розклинювальний тиск між поверхнями [11-13]. Поверхнево активні речовини, які додаються в мастильний матеріал, сприяють підвищенню структурної однорідності та збільшенню товщини граничного шару мастила [14-16]. Спеціальні антифрикційні покриття, які наносяться на поверхні тертя, запобігають розтіканню мастильного матеріалу із зони контакту, при цьому забезпечується режим гідродинамічного тертя [17-19].

Формулювання цілей статті. З урахуванням викладеного, метою дослідження було визначення впливу антифрикційних покриттів на технічний стан підшипників суднових дизелів.

Виклад основного матеріалу. Одним із поширених типів антифрикційних покриттів є епілами – полімерні речовини, що містять з'єднання фтору, які наносяться на металеві поверхні. Під час епіламування на поверхні твердого тіла утворюється плівка товщиною до 30 нм, яка не впливає на дислокаційну структуру та твердість металу. Її поверхнева енергія залежить від виду епіламу та не залежить від металу, на який вона наноситься.

Основна функція епіламованого шару полягає в утриманні мастильного матеріалу в зоні тертя енергетичним бар'єром на межі «метал – епілам». Це досягається за рахунок збільшення крайових кутів змочування мастила θ , яке знаходиться у поверхні металу, покритого шаром епіламу (рис. 1), а також за рахунок переспрямовування вектору дії сили поверхневого натягу мастила.

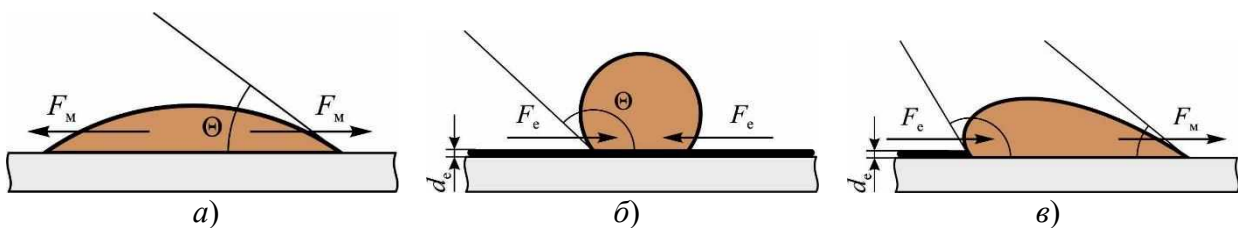


Рисунок 1 – Крайовий кут змочування та напрямки вектора сили поверхневого натягу рідини:

a – мастило на поверхні металу; b – мастило на поверхні епіламу; c – мастило на межі метал – епілам;

θ – крайовий кут змочування; F_m , F_e – сили поверхневого натягу на металевій поверхні та поверхні, що покрита шаром епіламу, відповідно.

Епіламування сприяє утворенню граничних змащувальних шарів підвищеної (порівняно з поверхнею без нанесеного шару епіламу) товщини. Схема утворення граничних шарів під час нанесення епіламів на металеву поверхню показана на рис. 2.

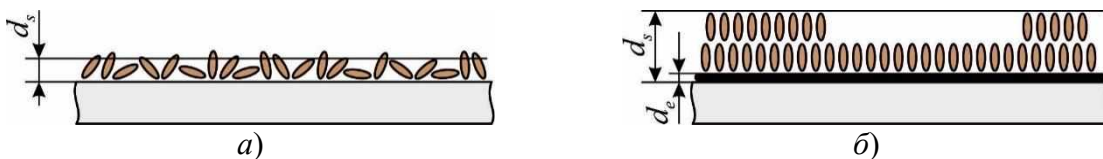


Рисунок 2 – Зміна товщини граничного шару мастила d_s :

a – без нанесення на поверхню шару епіламу; b – з нанесенням шару епіламу

Дослідження з визначення впливу органічних покриттів (епіламів) на технічний стан вкладишів підшипників суднових дизелів виконувалися в такій послідовності:

- розробка технології нанесення епіламу на поверхні вкладишів підшипників;
- визначення товщини нанослою епіламу, адсорбованого на металевій поверхні вкладишів підшипників;
- вивчення впливу нанослою епіламу на утворення граничного шару оливи;
- визначення зміни технічного стану вкладишів підшипників у разі нанесення на їхню поверхню нанослою епіламу.

Під час проведення експериментів використовувалися такі епілами: Aqualin, Efren-K та Polisam-20, що мають максимальну температуру експлуатації 450°C та допускають короточасну експлуатацію до температури 700°C. (Надалі у тексті статті епілами довільно позначені як 1, 2, 3.)

Технологія нанесення епіламу на поверхню вкладишів підшипників складалася з наступного. Експерименти виконувалися для нового комплексу вкладишів. Спочатку проводилося їхнє знежирення в озонобезпечному хладоні-116 (C_2F_6) шляхом об'ємного занурення з подальшим висушуванням. Після цього за температурою навколишнього середовища проводилося безпосереднє епіламування шляхом занурення вкладишів у епікам [20-22].

Для визначення товщини шару епіламу, який адсорбувався на поверхні вкладиша підшипника, і товщини граничного змащувального шару мастила, що утворюється на поверхні епіламу, проводилися попередні лабораторні дослідження. Як аналог поверхні вкладиша підшипника використовувалася відполірована металева поверхня, яка шляхом об'ємного занурення покривалася шаром епіламу. Час перебування металевої поверхні в об'ємі епіламу варіювався в діапазоні 2...10 хв, після чого поверхня висушувалася за температурою 20°C. Товщина шару епіламу, який адсорбувався на металевій поверхні, визначалася на еліпсометричній установці, принципова схема якої показана на рис. 3.

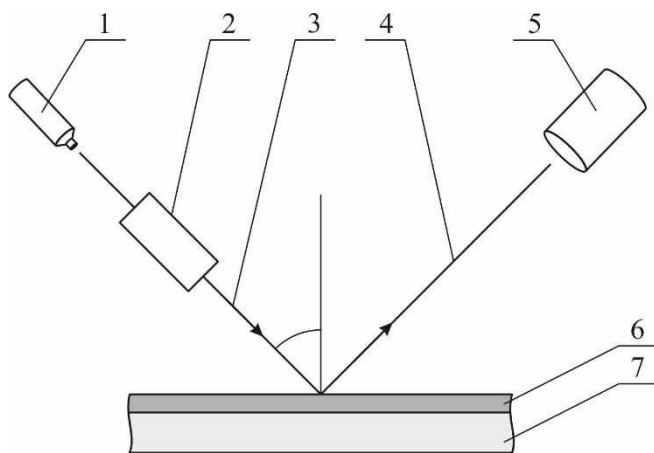


Рисунок 3 – Принципова схема еліпсометричної установки:

1 – джерело світла, 2 – поляризатор; 3 – лінійно поляризоване світло; 4 – еліптично поляризоване світло; 5 – аналізатор; 6 – шар епіламу; 7 – металева поверхня

Еліпсометрія є одним із найпоширеніших методів визначення товщини тонких шарів рідин (прозорих для оптичного вивчення) шляхом аналізу кутів відбиття світла від чистої поверхні та від поверхні з нанесеним покриттям.

Зміна технічного стану вкладишів підшипників у разі нанесення на їхні поверхні шару антифрикційного покриття (епіламу) виконувалася для суднового дизеля 12V32/40 MAN-Diesel&Turbo. Ці дизелі є одними з найпоширеніших моделей фірми MAN-Diesel&Turbo і використовуються як на морському [23-25], так і на залізничному транспорті [26, 27], а також у стаціонарних енергетичних установках (як генератори електростанцій). Два дизелі 12V32/40 MAN-Diesel&Turbo були встановлені на спеціалізованому морському судні, призначеному для перевезення контейнерів. Дизелі передавали свою потужність через редуктор на один гвинт відповідно до схеми, яка показана на рис. 4.

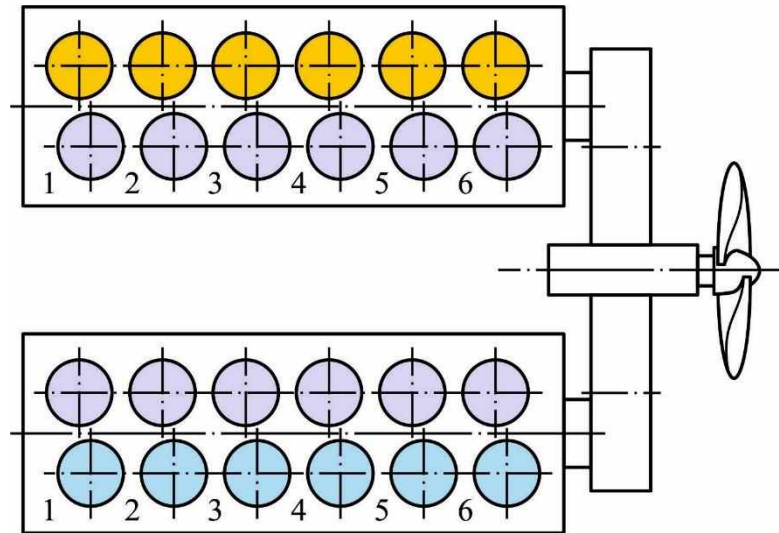


Рисунок 4 – Схема проведення експерименту на судових дизелях 12V32/40 MAN-Diesel&Turbo (жовті та блакитні – такі, вкладиші підшипників яких покривались шаром епіламу; сірі – такі, вкладиші підшипників яких не покривались шаром епіламу)

Дизелі експлуатувалися при однаковому навантаженні, з використанням однакових сортів палива і мастила. Під час експлуатації дизелів поза спеціальними екологічними зонами – Sulfur Emission Control Areas (SECAs) [28, 29] використовувалось паливо RMG380 з вмістом сірки 0,048 %. Під час експлуатації дизелів в SECAs [30, 31] використовувалось паливо DMA з вмістом сірки 0,0076%. Протягом усього часу експерименту використовувалось моторне масло Castrol TLX PLUS 404 [32].

V-подібна компоновка дизеля дозволила обробити вкладиші підшипників одного з рядів циліндрів дизеля антифрикційним покриттям (епіламом). При цьому вкладиші підшипників іншого ряду циліндрів не оброблялися епіламом. Таким чином, для кожного з дизелів вкладиші підшипників одного ряду циліндрів (жовтий і блакитний на рис. 4) оброблялися епіламом, вкладиші іншого ряду циліндрів (сірі на рис. 4) – не оброблялися.

Дослідження проводилися в науковій лабораторії (перший і другий етапи), а також на дизелях спеціалізованого морського судна (третій етап).

Першим етапом досліджень було визначення оптимального часу нанесення епіламів на металеву поверхню, а також вибір епіламів, які забезпечують формування граничних змащувальних шарів з найбільшою товщиною та кутом змочування. Результати, що були отримані під час вимірів, наведені в табл. 1. Номограма, яка характеризує товщину адсорбованого шару різних епіламів в залежності від часу їх нанесення, показана на рис. 5.

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

Час нанесення епіламу, t , хв	Товщина шару епіламу, h , нм		
	1	2	3
2	4,8	7,7	9,1
4	9,3	12,3	13,2
6	10,3	16,6	14,7
8	10,7	17,2	14,9
10	11,2	17,4	15,2

Примітка: нумерація епіламів виконана у довільній формі

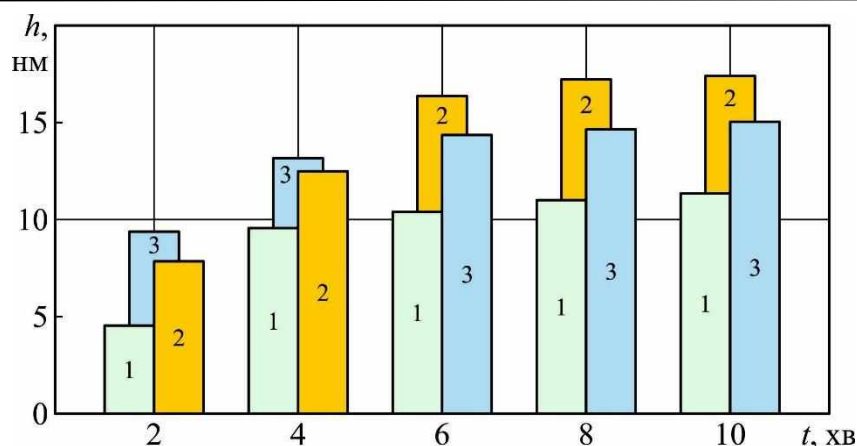


Рисунок 5 – Залежність товщини органічного покриття (епілами Aqualin, Efren-K, Polisam-20) від часу нанесення. Нумерація епіламів виконана у довільній формі

Наведені дані (табл. 1 та рис. 5), свідчать, що після 6...10 хв нанесення товщина адсорбційного шару епіламу на металевій поверхні стабілізується та для різних епіламів знаходиться в діапазоні 11,2...17,4 нм.

Метою другого етапу досліджень було визначення впливу епіламів на структурні характеристики граничних змащувальних шарів. Результати цих експериментів наведені в таблиці 2 і на рис. 6. При цьому під позначенням ММ розуміється безпосередня товщина граничного шару моторного мастила d_s , який утворюється на металевій поверхні, а також значення його кутів змочування θ . Під позначенням 1, 2, 3 розуміється товщина граничного шару масла d_s , який утворюється на тій самій поверхні за умовою її покриття шаром епіламу, а також значення кутів змочування моторного мастила θ .

Таблиця 2 – Результати визначення структурних характеристик граничного моторного шару мастила за умовою нанесенні на металеву поверхню шару епіламів Aqualin, Efren-K, Polisam-20

Тип покриття поверхні	Структурна характеристика граничного шару мастила	
	товщина, мкм	крайовий кут змочування, град
Без покриття	12,3	10,2
1	15,2	15,8
2	18,3	17,4
3	17,2	16,3

Примітка: нумерація епіламів виконана в довільної формі

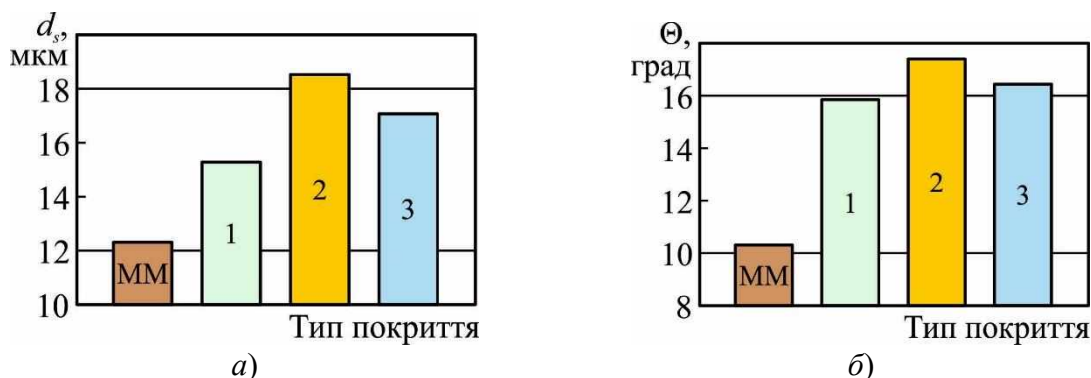


Рисунок 6 – Зміна товщини d_s та кута змочування θ граничного шару мастила за умовою нанесення на металеву поверхню різних епіламів:
ММ – відсутність покриття (товщина граничного шару мастила); 1, 2, 3 – покриття різними епіламами

Наведені результати свідчать, що епіламування забезпечує 1,23...1,40 кратне збільшення товщини граничного шару мастила, а також 1,55...1,60 кратне збільшення кутів змочування.

Враховуючи результати першого і другого етапів досліджень (які представлені в таблицях 1, 2 та на рис. 5, 6), третій етап проводився з використанням епіламів 2 і 3. Саме ці епілами забезпечили утворення на металевій поверхні граничних шарів з найбільшою товщиною та кутами змочування.

Даний етап досліджень виконувався на морських дизелях 12V32/40 MAN-Diesel&Turbo. Вкладиші підшипників одного ряду циліндрів дизеля правого борту були покриті епіламом 2 (жовтий ряд циліндрів на рис. 4). Вкладиші підшипників одного ряду циліндрів дизеля лівого борту були покриті епіламом 3 (синій ряд циліндрів на рис. 4). Кожен з дизелів мав ряд циліндрів, вкладиші яких не були покриті епіламом (сірі ряди циліндрів на рис. 4).

Для визначення впливу антифрикційних покриттів (епіламів) на технічний стан вкладишів підшипників по закінченні регламентного терміну експлуатації підшипникових вузлів проводилась оцінка зносу їх несучих поверхонь. Для цієї мети визначався знос вкладишів підшипників. Стан вкладишів підшипників, які не були покриті епіламом, показано на рис. 7. Стан вкладишів підшипників, які були покриті епіламом, показано на рис. 8.

Ураховуючи нерівномірність навантаження на різні циліндри дизеля, технічний стан підшипникових вузлів відрізняється один від одного. Це особливо проявляється у нерівномірному зносі вкладишів підшипників. При цьому вкладиші циліндрів підшипників, що розташовані ближче до споживача енергії (гвинту або електричному генератору), мають більший знос порівняно з вкладишами, що знаходяться далі від споживача енергії.

Під час експериментів знос вкладиша для «кормового» підшипника (циліндра № 6) приймався за 100 %; знос інших вкладишів вимірювався у відносних одиницях до цього значення. Результати розрахунків наведені в таблиці 3 і на рис. 9.



Циліндр № 1



Циліндр № 2



Циліндр № 5



Циліндр № 6

Рисунок 7 – Стан підшипників дизеля 12V32/40 MAN-Diesel&Turbo, які експлуатувалися без нанесення шару епілама на їхню поверхню



Циліндр № 1



Циліндр № 2



Циліндр № 5



Циліндр № 6

Рисунок 8 – Стан вкладишів підшипників дизеля 12V32/40 MAN-Diesel&Turbo, експлуатація яких проводилася з нанесенням шару епіламу на їхню поверхню

Таблиця 3 – Знос вкладишів підшипників суднових дизелів 12V32/40 MAN-Diesel&Turbo за різних умов експлуатації

№ циліндра	Знос вкладишів підшипників (відносні одиниці)			
	MAN-Diesel&Turbo № 1 (дизель правого борту)		MAN-Diesel&Turbo № 2 (дизель лівого борту)	
	Без покриття поверхні	Покриття епіламом №2	Без покриття поверхні	Покриття епіламом №2
1	73	64	72	68
2	78	66	79	72
5	87	68	92	75
6	100	72	100	77

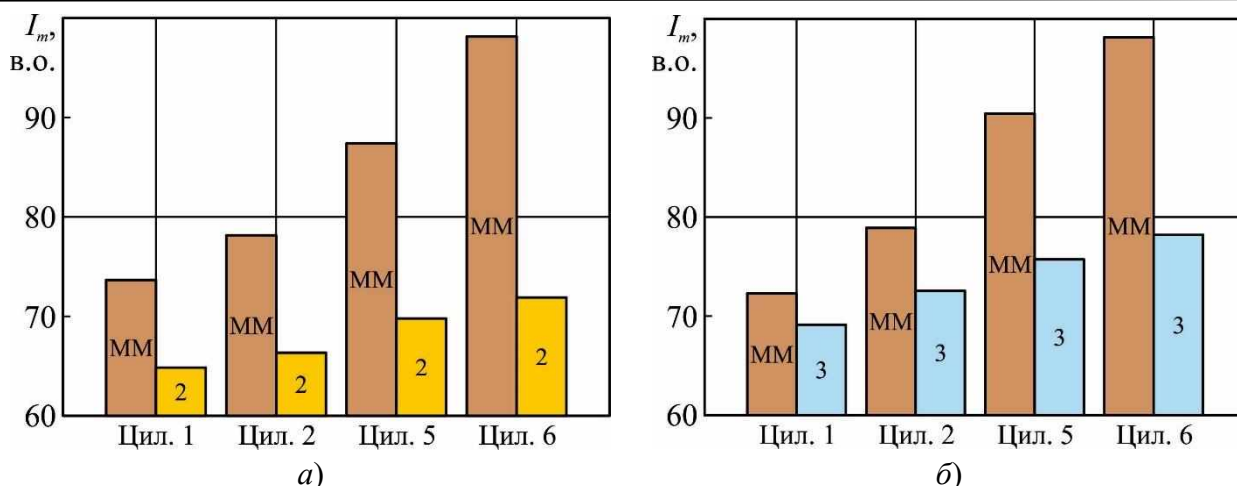


Рисунок 9 – Зношування вкладишів підшипників дизелів 12V32/40 MAN-Diesel&Turbo за різних умов експлуатації: (а) – дизель правого борту, епілам № 2; (б) – дизель лівого борту, епілам № 3

Підкреслимо, що результати з визначення зносу вкладишів підшипників різних дизелів (лівого і правого борту) у разі нанесення на їх поверхню епіламів 2 і 3, а також за умовою експлуатації вкладишів підшипників без нанесення на їх поверхню антифрикційних покриттів мають подібні значення. Це підтверджує правильність теоретичних припущень та коректність вимірювань.

Метод епіламування, що був використаний для нанесення антифрикційних покриттів на поверхні підшипників дизелів суднових енергетичних установок, не знайшов широкого розповсюдження в елементах суднових технічних засобів. Це пов'язано, зокрема, з консервативністю суднової енергетики як науки та прагненням екіпажу судна уникнути додаткових ризиків, що виникають під час впровадження інноваційних ідей. Особливо це стосується таких відповідальних вузлів, як судові дизелі. Однак, за умовою якісних попередніх досліджень та дотримання технології нанесення епіламів на поверхні, можливо забезпечити режими, сприятливі для підвищення їх експлуатаційних характеристик і технічного стану [33].

Усі дослідження виконувались на енергетичних установках, які мають діючі сертифікати класифікаційних товариств (зокрема, міжнародного реєстру Lloyd's Register of Shipping, Англія; Американського Бюро Судноплавства, ABS, США). Під час проведення експериментів експлуатація суден, дизелів та систем, що забезпечують їх функціонування, виконувалась відповідно до вимог Міжнародної Конвенції SOLAS, Міжнародної Конвенції MARPOL, а також інструкцій з експлуатації.

Висновки. Проведені дослідження та отримані результати дозволяють зробити наступні висновки:

1. З метою забезпечення технічного стану вкладишів підшипників суднових дизелів може бути використано метод епіламування їх поверхонь, який сприяє зниженню контактних навантажень.

2. Товщина шару епіламу, що адсорбується на поверхні вкладишів підшипників суднових дизелів, може досягати 11,2...17,4 нм, а час для його адсорбції не перевищує 10 хвилин.

3. Нанослой епіламів, нанесений на металеву поверхню, підвищує структурні характеристики граничного шару мастила. Це виявляється в збільшенні його товщини та кутів змочування – параметрів, що сприяють підвищенню пружно-демпфуючих властивостей мастила та розклинювального тиску в трибологічній системі метал – мастильний шар – метал. У виконаних дослідженнях збільшення цих параметрів становило:

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

- для кута змочування від 10,2° (в разі експлуатації без нанесення епіламів) до 15,8...17,4 (в разі використання різних епіламів).

4. Підвищення структурних характеристик граничного шару мастила за рахунок епіламування поверхонь вкладишів підшипників значно зменшує їх знос. Для суднового дизеля 12V32/40 MAN-Diesel&Turbo експериментально встановлено, що епіламування забезпечує 1,1...1,4-кратне зменшення зносу поверхні вкладишів підшипників, а також поліпшує їхній технічний стан.

5. Епіламування відноситься до категорії сучасних нанотехнологічних методів. Цей метод вимагає попередніх досліджень для визначення оптимальних видів антифрикційних покриттів (епіламів) та часу їх нанесення на поверхні, але при цьому не викликає додаткових трудовитрат під час його використання, а також підвищується енергоефективність трибологічних систем суднових дизелів та суднових технічних засобів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Sagin S., Madey V., Sagin A., Stoliaryk T., Fomin O., Kučera P. Ensuring Reliable and Safe Operation of Trunk Diesel Engines of Marine Transport Vessels // *Journal Marine Science and Engineering*. – 2022. – Vol. 10. – Iss. 10. – P. 1373. <https://doi.org/10.3390/jmse10101373>.
2. Дакі О.А., Пліта Л.Л., Трофименко І.В., Федунів В.М. Особливості та вимоги щодо навігаційного забезпечення безпеки судноводіння на внутрішніх судноплавних шляхах // *Водний транспорт. Збірник наукових праць*. – 2022. – Вип. 2(36). – С. 184-194. doi.org/10.33298/2226-8553.2022.2.36.15.
3. Тимошук О.М., Боріна М.В. Дослідження методів підвищення екологічності суднових енергетичних установок у водному середовищі // *Водний транспорт. Збірник наукових праць*. – 2022. – Вип. 2(36). – С. 240-252. doi.org/10.33298/2226-8553.2022.2.36.21.
4. Сагін С.В., Сагін А.С. Контроль та діагностування надійності та економічності дизелів морських та річкових засобів транспорту // *Суднові енергетичні установки : науково-технічний збірник*. – 2023. – Вип. 46. – С. 118-131. [doi: 10.31653/smf46.2023.118-131](https://doi.org/10.31653/smf46.2023.118-131).
5. Сагін С.В., Заблоцкий Ю.В., Перунов Р.В. Технология использования и результаты испытаний присадок к топливам для судовых дизелей // *Проблеми техніки: наук.-виробн. журнал*. – 2012. – № 3. – Одеса: ОНМУ. – С. 84-103.
6. Lovska A., Fomin O., Pistek V., Kucera P. Dynamic load modelling within combined transport trains during transportation on a railway ferry // *Appl. Sci.* – 2020. – Vol. 10. – P. 5710. <https://doi.org/10.3390/app10165710>.
7. Сагін С. В. Зниження механічних втрат у суднових середньообертових дизелях за рахунок оптимізації роботи циркуляційних систем мащення // *Вісник Одеського національного морського університету : Зб. наук. праць*. – 2020. – Вип. 1(61). – С. 87-96. [doi.org 10.47049/2226-1893-2020-1-87-96](https://doi.org/10.47049/2226-1893-2020-1-87-96).
8. Sagin S.V. Determination of the optimal recovery time of the rheological characteristics of marine diesel engine lubricating oils // *Materials of the International Conference “Process Management and Scientific Developments” (Birmingham, United Kingdom, January 16, 2020. Part 4)*. – P. 195-202. DOI. 10.34660/INF.2020.4.52991.
9. Поповский А.Ю., Сагін С.В. Комплексная оценка эксплуатационных характеристик смазочных углеводородных жидкостей // *Автоматизация судовых технических средств : науч.-техн. сборник*. – 2014. – Вып. 20. – С. 74-83.
10. Тимошук О.М, Мельник О.В. Дослідження безпеки бункерування на водному транспорті // *Водний транспорт. Збірник наукових праць*. – 2020. – Вип. 1(29). – С. 5-13. doi.org/10.33298/2226-8553/2020.1.29.01.

11. Богом'я В.І., Бажак О.В. Методика планування випробувань зразків обладнання засобів водного транспорту на безвідмовність // Водний транспорт. Збірник наукових праць. – 2022. – Вип. 1(35). – С. 25-32. doi.org/10.33298/2226-8553.2022.1.35.03.
12. 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.
13. Fomin O., Lovska A., Kučera P., Pištěk V. Substantiation of Improvements for the Bearing Structure of an Open Car to Provide a Higher Security during Rail/Sea Transportation // J. Mar. Sci. Eng. – 2021. Vol. 9. – P. 873. https://doi.org/10.3390/jmse9080873.
14. Сагін С.В., Сагін С.С. Використання штучного інтелекту в ситуаціях надмірного зближення суден // Водний транспорт. Збірник наукових праць. – 2024. – Вип. 1(39). – С. 215-225. doi.org/10.33298/2226-8553.2024.1.39.22.
15. Мацкевич Д.В., Сагін С.В., Ханмамедов С.А. Изменение реологических характеристик смазочных материалов в циркуляционной масляной системе в процессе эксплуатации среднеоборотного двигателя // Судовые энергетические установки : науч.-техн. сб. – 2010. – Вып. 25. – С.109-118.
16. 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.
17. Сагін С.В. Зниження енергетичних втрат в прецизійних парах паливної апаратури судових дизелів // Суднові енергетичні установки : наук.-техн. зб. – 2018. – Вип. 38. – С. 132-142.
18. Сагін С.В. Определение диапазона стратификации вязкости смазочного материала в трибологических системах судовых дизелей // Вісник Одеськ. нац. мор. ун-ту. – 2019. – Вип. 1(58). – С. 89-101.
19. Sagin S.V., Kuropyatnik A.A. Application of the system of recirculation of exhaust gases for the reduction of the concentration of nitric oxides in the exhaust gases of the ship diesels // American Scientific Journal. – 2017. – № 15. – Iss. 2. – P. 67-71.
20. Сагін С.В., Заблоцкий Ю.В., Перунов Р.В. Технология использования и результаты испытаний присадок к топливам для судовых дизелей // Проблемы техники: наук.-виборн. журнал. – 2012. – № 3. – С. 84-103.
21. Поповский А.Ю., Сагін С.В. Оценка эксплуатационных свойств смазочно-охлаждающих жидкостей судовых технических средств // Автоматизация судовых технических средств: науч.-техн. сборник. – 2016. – Вып. 22. – С. 66-74.
22. Зверьков Д.О., Сагін С.В. Зниження механічних втрат у судових дизелях // Суднові енергетичні установки : наук.-техн. зб. – 2020. – Вип. 40. – С. 20-25. DOI : 10.31653/smf341.2020.20-25.
23. Сагін С.В., Куропятник А.А. Оптимизация режимов работы системы перепуска выпускных газов судовых среднеоборотных дизелей // Автоматизация судовых технических средств : науч.-техн. сб. – 2019. – Вып. 25. – С. 79-89.
24. Kuropyatnyk O.A., Sagin S.V. Exhaust Gas Recirculation as a Major Technique Designed to Reduce NOx Emissions from Marine Diesel Engines // Naše more: International Journal of Maritime Science and Technology. – 2019. – Vol. 66. – Iss. 1. – P. 1-9. https://doi.org/10.17818/NM/2019/1.1.
25. Сагін С.В., Мацкевич Д.В. Оптические характеристики граничных смазочных слоев масел, применяемых в циркуляционных системах судовых дизелей // Судовые энергетические установки: науч.-техн.сб. – 2011. – № 26. – С.116-125.
26. Vatulia G., Gerlici J., Fomin O., Lovska A., Fomina Y., Kravchenko K. Analysis of the Strength of the Supporting Structure of a TwoSection Hopper Wagon under Operating Loading Conditions // Appl. Sci. – 2023. – Vol. 13. – P. 859. https://doi.org/10.3390/app13020859.
27. Rymar T., Tatarchenko H., Fomin O., Pištěk V., Kučera P., Beran M., Burlutskyy O. The Study of Manufacturing Thermal Insulation Materials Based on Inorganic Polymers under Microwave Exposure // Polymers. – 2022. – Vol. 14. – P. 3202. https://doi.org/10.3390/polym14153202.

28. Куропятник А.А., Сагин С.В. Управление выпускными газами судовых дизелей для обеспечения экологических показателей // Автоматизация судовых технических средств : науч.-техн. сборник. – 2018. – Вып. 24. – С. 72-80.
29. Sagin S., Kuropyatnyk O., Sagin A., Tkachenko I., Fomin O., Píšťek V., Kučera P. Ensuring the Environmental Friendliness of Drillships during Their Operation in Special Ecological Regions of Northern Europe // Journal Marine Science and Engineering. – 2022. – Vol. 10(9). – P. 1331. <https://doi.org/10.3390/jmse10091331>.
30. Sagin S.V., Kuropyatnyk O.A., Zablotskyi Yu.V. Gaichenia O.V. Supplying of Marine Diesel Engine Ecological Parameters // Nase More : International Journal of Maritime Science and Technology. – 2022. – Vol. 69(1). – P. 53-61. DOI 10.17818/NM/2022/1.7.
31. Sagin S.V., Sagin S.S., Fomin O., Gaichenia O., Zablotskyi Y., Píšťek V., Kučera P. Use of biofuels in marine diesel engines for sustainable and safe maritime transport // Renewable Energy. – 2024. – P. 120221. doi: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2024.120221>.
32. Sagin S.V. Improving the performance parameters of systems fluids // Austrian Journal of Technical and Natural Sciences, Vienna. – 2018. – № 7-8. – P. 55-59. doi.org/10.29013/AJT-18-7.8-55-59.
33. Тимочко О.І., Тимошук О.М., Руденко В.М., Сітков О.М. Ситуаційна обізнаність операторів берегових центрів управління як основна передумова безпечної експлуатації безпілотних суден. // Водний транспорт. Збірник наукових праць. – 2024. – Вип. 1(39). – С. 49-58. doi.org/10.33298/2226-8553.2024.1.39.05.

REFERENCES

1. Sagin S., Madey V., Sagin A., Stoliaryk T., Fomin O., Kučera P. Ensuring Reliable and Safe Operation of Trunk Diesel Engines of Marine Transport Vessels // Journal Marine Science and Engineering. – 2022. – Vol. 10. – Iss. 10. – P. 1373. <https://doi.org/10.3390/jmse10101373>.
2. Daki O.A., Plita L.L., Trofymenko I.V., Fedunov V.M. Feature and requirements for navigational safety of navigation on inland waterways // Water transport. – 2022. – Vol. 2(36). – P. 184-194. doi.org/10.33298/2226-8553.2022.2.36.15.
3. Tymoshchuk O., Borina M. Research of methods of enhancing the environmental facility of ship power plants in the aquatic environment // Water transport. – 2022. – Vol. 2(36). – P. 240-252. doi.org/10.33298/2226-8553.2022.2.36.21.
4. Sagin S.V., Sagin A.S. Control and diagnosis of reliability and economy of diesel engines of sea and river means of transport // Ship power plants. – 2023. – Vol. 46. – P. 118-131. doi: 10.31653/smf46.2023.118-131.
5. Sagin S.V., Zablotsky Yu. V., Perunov R.V. Technology of use and test results of fuel additives for marine diesel engines // Problems of technical. – 2012. – Vol. 3. – P. 84-103.
6. Lovska A., Fomin O., Pistek V., Kucera P. Dynamic load modelling within combined transport trains during transportation on a railway ferry // Applied Science. – 2020. – Vol. 10. – P. 5710. <https://doi.org/10.3390/app10165710>.
7. Sagin S.V. Reduction of mechanical losses in marine medium-speed diesel engines due to optimization of lubrication circulation systems // Herald of the Odessa National Maritime University. – 2020. – Vol. 1(61). – P. 87 -96. doi.org 10.47049/2226-1893-2020-1-87-96.
8. Sagin S.V. Determination of the optimal recovery time of the rheological characteristics of marine diesel engine lubricating oils // Materials of the International Conference “Process Management and Scientific Developments” (Birmingham, United Kingdom, January 16, 2020. Part 4). – P. 195-202. DOI. 10.34660/INF.2020.4.52991.
9. Popovskii A.Y., Sagin S.V. Complex assessment of operational characteristics of lubricating hydrocarbon liquids // Automation of ship facilities. – 2014. – №20. – P. 74-83.
10. Timoshchuk O.M., Melnik O.V. Research of safety of bunking on maritime transport // Water transport. – 2020. – Vol. 1(29). – P. 5-13. doi.org/10.33298/2226-8553/2020.1.29.01.

11. Bohomia V., Bazhak O. // Water transport – 2022. – Vol. 1(35). – P. 25-32. doi.org/10.33298/2226-8553.2022.1.35.03.
12. Sagin S.V., Bondar S.A., Stoliaryk T.O. Assessment of the reliability of marine diesel engines according to the technical condition of engine oil of circulating lubrication systems // Water transport. – 2023. – Vol. 1(37). – P. 59-70. doi.org/10.33298/2226-8553.2023.1.37.06.
13. Fomin O., Lovska A., Kučera P., Píštěk V. Substantiation of Improvements for the Bearing Structure of an Open Car to Provide a Higher Security during Rail/Sea Transportation // Journal Marine Science and Engineering. – 2021. Vol. 9. – P. 873. https://doi.org/10.3390/jmse9080873.
14. Sagin S.S., Sagin S.V., Use of artificial intelligence in the situations of excessive vessel // Water transport. – 2024. – Vol. 1(39). – P. 215-225. doi.org/10.33298/2226-8553.2024.1.39.22.
15. Matskevych D.V., Sagin S.V., Hanmamedov S.A. Changes in the rheological characteristics of lubricants in the circulating oil system during operation of a medium-speed engine // Ship power plants. – 2010. – Vol. 25. – P. 109-118.
16. Sagin S.V. Increasing the reliability of precision pairs of marine diesel fuel equipment through the use of organic coatings // Herald of the Odessa National Maritime University. – 2018. – Vol. 4(57). – P. 109-120.
17. Sagin S.V. Reduction of energy losses in precision steam fuel equipment of marine diesel engines // Ship power plants. – 2018. – Vol. 38. – P. 132-142.
18. Sagin S.V. Determination of the range of lubricant viscosity stratification in tribological systems of marine diesel engines // Herald of the Odessa National Maritime University. – 2019. – Vol. 1(58). – P. 89-100.
19. Sagin S.V., Kuropyatnyk A.A. Application of the system of recirculation of exhaust gases for the reduction of the concentration of nitric oxides in the exhaust gases of the ship diesels // American Scientific Journal. – 2017. – № 15. – Iss. 2. – P. 67-71.
20. Sagin S.V., Zablotsky Yu.V., Perunov R.V. Technology of use and test results of fuel additives for marine diesel engines // Problems of technical. – 2012. – Vol. 3. – P. 84-103.
21. Popovskii A.Y., Sagin S.V. Evaluation of operational properties of lubricating and cooling liquids of marine technical equipment // Automation of ship technical facilities. – 2016. – Vol. 22. – P. 66-74.
22. Zverkov D.O., Sagin S.V. Reduction of mechanical losses in marine diesel engines // Ship power plants. – 2020. – Vol. 40. – P. 20-25. DOI : 10.31653/smf341.2020.20-25.
23. Sagin S.V., Kuropyatnyk O.A. Optimization of operating modes of the exhaust gas bypass system of marine medium-speed diesel engines // Automation of ship technical facilities. – 2019. – Vol. 25. – P. 79-89.
24. Kuropyatnyk O.A., Sagin S.V. Exhaust Gas Recirculation as a Major Technique Designed to Reduce NOx Emissions from Marine Diesel Engines // Naše more: International Journal of Maritime Science and Technology. – 2019. – Vol. 66. – Iss. 1. – P. 1-9. https://doi.org/10.17818/NM/2019/1.1.
25. Sagin S.V., Matskevych D.V. Optical characteristics of boundary lubricating layers of oils used in circulation systems of marine diesel engines // Ship power plants. – 2011. – Vol. 26. – P. 116-125.
26. Vatulia G., Gerlici J., Fomin O., Lovska A., Fomina Y., Kravchenko K. Analysis of the Strength of the Supporting Structure of a TwoSection Hopper Wagon under Operating Loading Conditions // Applied Science. – 2023. – Vol. 13. – P. 859. https://doi.org/10.3390/app13020859.
27. Rymar T., Tatarchenko H., Fomin O., Píštěk V., Kučera P., Beran M., Burlutskyy O. The Study of Manufacturing Thermal Insulation Materials Based on Inorganic Polymers under Microwave Exposure // Polymers. – 2022. – Vol. 14. – P. 3202. https://doi.org/10.3390/polym14153202.
28. Kuropyatnyk O.A., Sagin S.V. Marine diesel exhaust gas management to ensure environmental performance // Automation of ship technical facilities. – 2018. – № 24. – P.72-80.
29. Sagin S., Kuropyatnyk O., Sagin A., Tkachenko I., Fomin O., Píštěk V., Kučera P. Ensuring the Environmental Friendliness of Drillships during Their Operation in Special Ecological Regions of Northern Europe // Journal Marine Science and Engineering. – 2022. – Vol. 10(9). – P. 1331. https://doi.org/10.3390/jmse10091331.

30. Sagin S.V., Kuropyatnyk O.A., Zablotskyi Yu.V. Gaichenia O.V. Supplying of Marine Diesel Engine Ecological Parameters // Nase More : International Journal of Maritime Science and Technology. – 2022. – Vol. 69(1). – P. 53-61. DOI 10.17818/NM/2022/1.7.
31. Sagin S.V., Sagin S.S., Fomin O., Gaichenia O., Zablotskyi Y., Pí'st'ek V., Kučera P. Use of biofuels in marine diesel engines for sustainable and safe maritime transport // Renewable Energy. – 2024. – P. 120221. doi: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2024.120221>.
32. Sagin S.V. Improving the performance parameters of systems fluids // Austrian Journal of Technical and Natural Sciences, Vienna. – 2018. – № 7-8. – P. 55-59. doi.org/10.29013/AJT-18-7.8-55-59.
33. Tymochko O.I., Tymoshchuk O.M., Rudenko V.M., Sitkov O.M. Situational awareness of operators of coastal control centers as a basic prerequisite for the safe operation of autonomous unmanned vessels // Water transport. – 2024. – Vol. 1(39). – C. 49-58. doi.org/10.33298/2226-8553.2024.1.39.05.

Sergii Sagin, Arsenii Sagin, Yurii Zablotskyi, Oleksij Fomin

ENSURING THE TECHNICAL CONDITION OF THE BEARINGS OF MARINE DIESEL ENGINES

The purpose of the investigation was to identify the influx of antifriction coatings into the technical mill of marine diesel bearings. In the antifriction coatings, various saws were applied, a thin ball of which was applied to the surface of the bearing shells of marine diesel engines 12V32/40 MAN-Diesel&Turbo. The thickness of the epilam ball, which is adsorbed on the metal surface, was controlled by ellipsometry. It was found that the thickness of the epilamium ball on the surface of the bearing shells of marine diesel engines can reach 11.2-17.4 nm. In this case, the hour required for its adsorption does not exceed 10 minutes. It has been shown that nanoballs of epilamics, applied on a metal surface, lead to an increase in the structural characteristics of the boundary ball of the olive: thickness (from 12.3 μm to 15.2-18.3 μm), marginal cutives of moisture (from 10.2° to 15.8-17.4°). It has been experimentally confirmed that waxing the surface of bearing shells can significantly reduce their wear. For the marine diesel engine 12V32/40 MAN-Diesel&Turbo, it was experimentally established that epilamination will provide a 1.1-1.4-fold reduction in wear on the surface of the bearing shells, as well as their shorter technical production.

Key words: anti-friction coatings, bearing liner, boundary layer, engine oil, epilam, lubrication system, marine diesel, sliding bearing, technical condition, wear.

УДК 656.61:341.1

doi.org/10.33298/2226-8553.2023.2.40.14

Даниленко О.Б., Дуков Д.Ф., Коротченков М.П., Малєва В.С.

ВПЛИВ ФАКТОРІВ ОРГАНІЗАЦІЙНО-ПРАВОВОГО ХАРАКТЕРУ НА РІВЕНЬ БЕЗПЕКИ СУДНОПЛАВСТВА: ДОСВІД КРАЇН З РОЗВИНЕНОЮ МОРСЬКОЮ ГАЛУЗЗЮ

Проблема забезпечення безпеки мореплавання є однією з найважливіших на морському транспорті, оскільки від її успішного вирішення залежить охорона життя та здоров'я членів екіпажів, суден і пасажирів, збереження транспортних засобів та вантажів, що перевозяться. Ця проблема давно перетворилася з вузькогалузевої на міжнародну і

потребує значних зусиль і коштів для її реалізації. У статті проводиться огляд стану безпеки судноплавства за останній рік, причини, та наслідки аварій світового морського флоту, а також дій і регуляторні механізми спрямовані на міжнародну безпеку морської галузі. Предметом дослідження є конкретні заходи з вдосконалення правових механізмів у сфері безпеки міжнародного мореплавства, дослідження сучасних інструментів реалізації методів охорони та безпеки судноплавства. Також здійснено аналіз тенденцій та змін у галузі втрат при транспортуванні, ризиків та безпеці при плаванні в особливих умовах і районах бойових дій. У роботі проаналізовано процедури і механізми, що діють у рамках ІМО, спрямовані на забезпечення більш ефективного використання їх у сфері безпеки мореплавства. Особа увага приділяється досвіду країн з розвинутою морською галуззю у забезпеченні безпеки судноплавства у прибережних водах, розглянуто використання нових технологій в провадженні регулювання судноходства країн Європи, США та інших, а також принципи ефективного виконання міжнародних та регіональних документів і стандартів в галузі судноплавства. У статті наведена стратегія підтримки та дотримання регуляторних стандартів, системи управління, відповідальності, а також сучасна концепція безпеки судноплавства на основі міжнародно-правової регламентації. Мета статті полягає в аналізі впливу факторів організаційно-правового характеру на рівень безпеки судноплавства, на прикладі досвіду країн з високорозвиненим водним транспортом.

Ключові слова: безпека судноплавства, аварії світового флоту, мореплавство, системи управління рухом суден, ризики судноплавства, міжнародні і регіональні документи, стандарти безпеки.

Постановка проблеми. Існування людства в сучасних умовах немислимо без постійного і багатогранного використання морів і океанів. Найважливішу роль в такому використанні відіграє світовий торговий флот, що налічує безліч суден різних класів. Морські судна перевозять щорічно десятки мільйонів пасажирів, до 90% зовнішньоторговельних вантажів світу, видобувають понад 80% споживаної людством риби, морепродуктів, морського звіра, здійснюють масовий видобуток нафти, газу та інших корисних копалин, проводять важливі наукові дослідження, у тому числі щодо прогнозування погоди та виникнення аномальних природних явищ, забезпечують проведення морських буксирувань, криголамних та лоцманських провідок, морського туризму, спорту та інших видів діяльності у світовому океані. Морські судна також є основним засобом боротьби із забрудненням морського середовища. Функціонування світового флоту забезпечується роботою багатьох тисяч морських портів, суднобудівних заводів, маячних служб, класифікаційних товариств, науково-дослідних установ, міжнародних організацій. На морських судах у світовому океані в кожний момент часу знаходяться кілька десятків мільйонів людей.

Як показує статистика аварійності, функціонування такого складного і різноманітного міжнародного механізму, яким є світовий флот, відбувається далеко не безхмарно, бо щороку приблизно кожне третє судно з тих, що плаває в морі потрапляє в ту чи іншу аварію, а самі аварії щороку забирають тисячі людських життів. Причини аварій дуже різноманітні. Крім впливу стихії та інших зовнішніх факторів, на частку яких припадає 20-25% аварій [1], вирішальну роль грає діяльність самої людини, яка в силу своїх професійних, психофізичних та біологічних якостей сприяє аваріям або не може їх запобігти.

Необхідно відзначити, що під впливом науково-технічного прогресу відбувається якісне вдосконалення морських суден, оснащення їх новою апаратурою, приладами, системами, обладнанням, які підвищують живучість суден, зменшують ризик випадкових помилок та знижують обсяг негативних наслідків впливу будь-якої морської небезпеки

Наслідком таких якісних змін суден є зниження відносної аварійності, однак швидке кількісне зростання світового флоту призводить до того, що абсолютна кількість втрат морських суден та людських життів внаслідок аварій продовжує зростати. Варто згадати, що поряд із постійним зростанням інтенсивності судноплавства, збільшенням розмірів та швидкості суден, рівня автоматизації все ще залишається значним субстандартне

судноплавство (кораблі старше 30 років становлять понад 20% світового торгового флоту, їх експлуатаційні характеристики безнадійно застаріли) [1]. Усе це істотно впливає на показники аварійності, тому у зв'язку з цим особливу актуальність теоретичного та практичного значення має проблема забезпечення безпеки міжнародного мореплавання. Морська безпека визначається як сукупність її видів: технічної, технологічної, телекомунікаційної, економічної.

Правове регулювання безпеки мореплавства характеризується нормами, які призначені для визначення прав і обов'язків їх учасників спеціальними положеннями щодо протидії правопорушенням в цій сфері, а саме міжнародно-правовими нормами щодо безпеки мореплавства які містяться в морських конвенціях та нормативних актах морських держав [2].

До теперішнього часу міжнародно-правова практика накопичила достатню кількість нормативних актів, що регламентують питання безпеки мореплавства. Правовою основою спільних дій держав слугує велика кількість міжнародних угод у сфері забезпечення безпеки мореплавства. Отже, ефективність забезпечення безпеки мореплавства вимагає: по-перше, постійного удосконалення правових норм та по-друге, підготовки працівників морського судноплавства щодо їх застосування. Тому дослідження реалізації правових і нормативних актів країнами морської галузі є актуальними для вивчення проблем забезпечення безпеки всесвітнього судноплавства.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У своїх працях діяльність Міжнародної морської організації з нормативного забезпечення судноплавства в області безпеки, охорони на морі, сприяння міжнародному морському судноплавству в більшій чи меншій мірі висвітлювали такі автори: В.П. Топалов, В.Г. Торський, Л.А. Позолотін, В.І. Любченко, К.Л. Білляр.

Окремими аспектами правового регулювання забезпечення безпеки судноплавства переймаються наші вчені, серед яких варто визначити таких як Кузнецов С.О. та Аверочкина Т.В, Плачкова Т.М., Махмурова-Дишлюк О.П., Качинський А.Б., Дмитрієв В.І. та Каретников В.В. У працях вище згаданих вчених основна увага приділена дослідженню питань, пов'язаних з подальшим розробленням загальних міжнародно-правових стандартів у сфері забезпечення свободи судноплавства і безпеки руху. В сучасності важливого значення набули проблеми, пов'язані з підвищенням ефективності процедур та механізмів, що діють у рамках міжнародних структур як універсального, так і регіонального характеру. Тому міжнародна інституційна система все більш переймає на себе функції контролю за дотриманням державами своїх міжнародних зобов'язань у забезпеченні безпеки мореплавства та пошук нових діючих важелів для їх виконання [3]. Це свідчить про те що в правовій науці ще недостатньо досліджень, в яких була би сформульована цілісна концепція організаційно-правового забезпечення безпеки мореплавства, яка базується на використанні засобів загальноновизнаних міжнародних норм та стандартів.

Мета статті полягає в аналізі впливу факторів організаційно-правового характеру на рівень безпеки судноплавства, на прикладі досвіду країн з високорозвиненим водним транспортом.

Основні результати дослідження. Безпека морського судноплавства в глобальному масштабі залежить від ряду факторів і викликів, які впливають на роботу суден, таких як добробут екіпажу, безпека пасажирів і захист навколишнього середовища [1]. До них належать людські помилки, несприятливі погодні умови, конструкція та технічне обслуговування суден, навігаційні небезпеки, дотримання нормативних вимог, піратство та загрози безпеці, технологічні складності, екологічні проблеми, готовність до реагування на надзвичайні ситуації, а також вплив глобальної торгівлі. Усунення цих факторів потребує цілісного підходу, який поєднує міжнародні правила, технологічні інновації, ефективне навчання та спільні зусилля між зацікавленими сторонами галузі для забезпечення безпечної та надійної морської діяльності в усьому світі.

Розглядання проблеми необхідно почати з огляду безпеки судноплавства за 2022 рік, за який у всьому світі загинуло 54 великих кораблів. Загальні втрати знизилися на 57% протягом

останнього десятиліття. Південний Китай, Індокитай, Індонезія та Філіппіни – найпрограшніші регіони. На Британських островах відбувається найбільше інцидентів із доставкою вантажів [1].

Повномаштабне Вторгнення Росії в Україну має безліч наслідків: загибель людей/суден, загострення кризи з екіпажем, збої в торгівлі, тягар санкцій, вартість та доступність бункерного палива.

У щорічному дослідженні морського страховика Allianz Global Corporate & Specialty SE's (AGCS) [1] повідомляється про судноплавні втрати та нещасні випадки (інциденти), так у 2022 році в усьому світі було зареєстровано 54 повні загибелі суден порівняно з 65 роком раніше. Це є зниженням на 57% за 10 років (127 у 2012 р.), тоді як на початку 1990-х років світовий флот втрачав понад 200 суден на рік. Однак, на думку (AGCS), приводів для самозаспокоєності немає, тому що загальні втрати у 2022 році стають ще більш вражаючими через те, що на сьогодні у світовому флоті налічується близько 130 000 суден порівняно з приблизно 80 000 суден 30 років тому. Такий прогрес відображає підвищену увагу до заходів безпеки з часом через програми навчання та безпеки, поліпшення конструкції суден, технологій та виконання правових документів і норм, а також організаційних факторів.

Аналіз аварійних інцидентів свідчить про те, що в більшості випадків, першопричинами є невиконання працівниками морської галузі, повною мірою, вимог міжнародних, національно-правових документів і норм у галузі забезпечення безпеки судноплавства. Отже до основних факторів забезпечення безаварійної роботи флоту належать виконання міжнародних стандартів і правил, але недостатній контроль та нагляд з боку морських організацій та регулюючих органів за їх виконанням, може привести до порушень безпеки та підвищення ризику негативних подій [4].

Морська галузь працює в рамках міжнародних і національних правил, спрямованих на забезпечення безпеки суден, захист навколишнього середовища, захист добробуту екіпажу та підтримку експлуатаційних стандартів. Основні міжнародні конвенції та правила, такі як, конвенції Міжнародної морської організації (IMO), SOLAS (Безпека життя на морі), MARPOL (Міжнародна конвенція про запобігання забрудненню з суден) і STCW (Стандарти підготовки, сертифікації та несення вахти)), закладають основу для дотримання нормативних вимог в управлінні судном.

Судноплавні компанії повинні дотримуватися широкого спектру правил і стандартів. До них належать системи управління безпекою, процедури реагування на надзвичайні ситуації, навігаційна безпека, навчання та сертифікація екіпажу, заходи щодо захисту навколишнього середовища та вимоги до документації. Відповідність не обмежується міжнародними правилами, але також поширюється на національні закони та вимоги державного портового контролю [5].

Забезпечення дотримання регулятивних стандартів ставить перед судноплавними компаніями кілька проблем. Ці виклики включають в себе орієнтування в складності багатьох правил, постійне оновлення вимог, що розвиваються, управління різноманітними методами роботи на різних судах і вирішення культурних і мовних бар'єрів під час роботи в міжнародних водах. Крім того, відсутність стандартизованих процесів і різні тлумачення нормативних актів різними органами влади можуть зробити виконання вимог складним завданням.

Так ефективним засобом забезпечення безпеки судноплавства у портових та прибережних водах зарекомендували себе системи управління рухом суден (СУРС), або Vessel Traffic Services (VTS) в англійській термінології, які почали успішно розвиватися з середини минулого століття. Визначення VTS, наведене у Резолюції А.857 Міжнародної морської організації (IMO), свідчить: «VTS – служба, заснована компетентним органом прибережної держави з метою підвищення безпеки та ефективності руху суден та захисту довкілля»[6]. Ці служби представляють собою складні організаційно-технічні системи з кількома об'єктами та чисельним персоналом. У більш широкому розумінні до складу такої системи включаються не тільки об'єкти, обладнання та персонал, а й зона (акваторія) дії з установленими фарватерами, схемами поділу руху, правила плавання та процедури взаємодії з суднами.

Об'єктом діяльності VTS є трафік, що чітко пояснюється в Резолюції А.857: «VTS має бути здатною взаємодіяти з трафіком та реагувати на ситуації, пов'язані з трафіком, у своєму районі дії». Управління ж індивідуальним рухом судна не може бути об'єктом діяльності СУРС, що цілком виразно впливає з Резолюції А.857 та Керівництва Міжнародною Асоціацією маячних служб (МАМС). Водночас не можна ігнорувати проблему портів з малим суднообігом, де все ж таки необхідні елементи контролю руху суден, незважаючи на його низьку інтенсивність і практичну відсутність «трафіку». Тут слід зазначити ініціативу Великобританії, де значна чисельність малих портів призвела до необхідності відокремити служби контролю судноплавства від повнофункціональних і дорогих VTS/СУРС, які є у значних портах, де є обґрунтована потреба [4]. Пізніше ця ініціатива знайшла відображення у керівних вказівках МАМС G1142. Було розроблено критерії, що дозволяють відрізнити VTS від так званих Local Port Services (LPS) у малих портах. Так, LPS можуть не мати радіолокаційного контролю, використовуючи АІС та відеоспостереження, персонал LPS, на відміну від персоналу СУРС, не зобов'язаний відповідати стандартам та рекомендаціям МАМС.

Розглянемо коротко, як функції СУРС формуються у нормативних актах деяких країн. У «Національних стандартних експлуатаційних процедурах VTS», виданих Береговою охороною США як законодавчо уповноваженою Адміністрацією VTS, декларуються чотири основні функції VTS: спостереження, інформування, видача рекомендацій та видача вказівок, що у сукупності утворюють «континуум управління рухом» [8]. У «Правилах плавання у морських водах Німеччини» на центри VTS покладаються такі функції: надання інформації про рух суден (traffic information); сприяння/допомога руху суден у Кільському каналі [7].

Протягом останніх років організаціями та фахівцями різних країн висловлювалися думки про старіння чинної резолюції та необхідність її оновлення. Проект нової резолюції ІМО замість чинної Резолюції А.857 підготовлений Комітетом МАМС з VTS, розглянутий Підкомітетом ІМО з судноводіння, зв'язку, пошуку та порятунку в січні 2020 р., схвалений Комітетом ІМО з безпеки на морі в листопаді 2020 р. і представлений для прийняття 3-й Асамблеєю ІМО наприкінці 2021 р. Що ж нового у проекті нової резолюції? Основне нововведення полягає у відмові від концепції, що втратила практичний зміст, трьох основних служб, декларованих у Резолюції А.857. Як наслідок, виключаються штучний підрозділ VTS на портові та прибережні та згадки про три види послуг VTS. Натомість визначається, що цілі діяльності VTS досягаються «зменшенням ризику розвитку небезпечних ситуацій» за допомогою здійснення дій (функцій), що зводяться до трьох груп: надання інформації, що впливає на безпеку плавання, – моніторинг та управління (management) суднопотоком (ship traffic); – реагування на небезпечні ситуації. Серед інших новацій відзначимо можливість створення VTS за межами територіального моря прибережної держави та разом із прийнятими ІМО системою маршрутизації суден (схемою поділу руху) або обов'язковою системою судових повідомлень. Крім того, уточнено деякі базові визначення. Так, VTS має тепер створювати уряд, а не компетентний орган, на який уряд покладає юридичну відповідальність за VTS. Поняття «Адміністрація VTS» замінено поняттям «Провайдер VTS», який зобов'язаний, зокрема, забезпечити, щоб інформація про вимоги та процедури VTS та категорії суден, зобов'язаних взаємодіяти з VTS, була опублікована у відповідних морських виданнях. Слід очікувати, що після ухвалення нової резолюції Асамблеєю ІМО буде належним чином оновлено рекомендації та керівництва МАМС для VTS/СУРС та внесено необхідні коректури до національних нормативних документів.

Безпека судноплавства є станом захищеності людського здоров'я і життя, довкілля та майна на морі й на внутрішніх водних шляхах та залежить не тільки від ступеню надійності судна та кваліфікації персоналу, а також від рівня забезпечення безпеки судноплавства та пошуково-рятувальних операцій з боку адміністрацій морських держав.

Прикладом однієї з найбільш ефективної організації рятувальних операцій є берегова охорона США (US Coast Guard).

До діяльності берегової охорони США належать обов'язки щодо управління службами регулювання руху суден у прибережних та обмежених зонах, управління та забезпечення

пошуково-рятувальних операцій, управління системами збору інформації про рух суден, отримання та розповсюдження океанографічних і метеорологічних спостережень. Що до пошуково-рятувальної служби (SAR), то вона є однією з найстаріших місій берегової охорони. Зведення до мінімуму людських втрат, поранень, пошкодження майна допомоги особам, які зазнали лиха в морському середовищі завжди було пріоритетом берегової охорони. SAR берегової охорони включає багатофункціональні станції, катери, літаки та човни, з'єднані мережами зв'язку. Національний план SAR розділяє територію США на міжнародно визнані внутрішні та морські SAR регіони. Берегова охорона є морським координатором SAR. Для виконання покладених завдань, берегова охорона тримає свої засоби SAR на східному, західному узбережжі та узбережжі Перської затоки; на Алясці, Гаваях, Гуамі та Пуерто-Ріко, а також на Великих озерах і внутрішніх водних шляхах США. Берегова охорона визнана в усьому світі лідером у сфері пошуку та порятунку.

Управління пошуку і рятування берегової охорони США (CG-SAR) складається з декілька відділів, головні з них це координаційний відділ та відділ політики [9]. Координаційний відділ Управління пошуково-рятувальних робіт (CG-SAR-2) відповідає за координацію берегової охорони, національних і міжнародних питань, пов'язаних із пошуково-рятувальною службою. Відділ координації працює з багатьма різними міжнародними, національними, державними, територіальними/острівними органами влади та місцевими SAR-органами. На міжнародному рівні Координаційний відділ надає підтримку пошуково-рятувальної служби США та спеціалізується на питаннях пошуково-рятувальної техніки, які обговорюються в Міжнародній морській організації (IMO), Міжнародній організації цивільної авіації (ICAO), Міжнародному союзу електрозв'язку (ITU), Морській радіотехнічній комісії (RTCA) та підтримує інші регіональні ініціативи SAR по всьому світу. Крім того, координаційний відділ забезпечує програмне управління та нагляд за автоматизованою системою порятунку суден (AMVER), комп'ютерною системою добровільного сповіщення про судно, яка використовується в усьому світі органами SAR для надання допомоги особам, які зазнають лиха на морі та бере участь в управлінні та експлуатації Програми США з пошуково-рятувального супутникового спостереження (SARSAT), а також керує програмою готовності берегової охорони до масових рятувальних заходів [9].

Відділ політики управління пошуково-рятувальних робіт відповідає за розробку, координацію, адміністрування та оцінку політики, процедур, планів, угод і вимог щодо реалізації програми SAR. Надає на вимоги SAR, вказівки та інформацію для тих, хто керує програмою SAR, надає підтримку або приміщення та обладнання, а також тісно співпрацює з ними для забезпечення досягнення цілей програми. Нарешті, політичний відділ бере активну участь у розробці політики, плануванні та розробці засобів зв'язку та можливостей SAR.

Берегова охорона США керує всесвітньою системою добровільного сповіщення суден (AMVER) з метою забезпечення безпеки життя та майна на морі. Ця місія полягає в тому, щоб швидко надавати на вимогу пошуково-рятувальним органам точну інформацію про положення та характеристики суден поблизу повідомленого місця лиха. Друга система AMVERSEAS — це операційна система реального часу для отримання та розповсюдження океанографічних і метеорологічних спостережень. Система також створює звіти для Автоматизованої системи рятувальних суден берегової охорони США для допомоги в пошуково-рятувальних місіях на морі [9].

10 жовтня 2023 року Берегова охорона США оголосила про випуск нової програми Плану конфіденційності території (ACP), що охоплює прибережні зони Сполучених Штатів і їх територій. ACP — нормативні вимоги щодо запобігання забруднення довкілля та є критично важливим компонентом багаторівневої системи планування та реагування, відомої як Національна система реагування (NRS). ACP охоплює планування реагування на інциденти, пов'язані з нафтою та небезпечними речовинами і керується та затверджується Береговою охороною США для прибережних зон. Загальна мета Берегової охорони США в цьому контексті полягає в модернізації прибережних ACP, покращенні зручності використання, функціонування та досягнення національної узгодженості в умовах ризиків у системі морського транспорту

(MTS). Берегова охорона США продовжить розробляти додаткові, більш детальні вказівки щодо політики, яка підтримує цю нову програму АСР, що зараз є областю найбільшої потреби для забезпечення безаварійного судноплавства.

Безпека на морі найкраще досягається шляхом об'єднання державних і приватних заходів з безпеки на морі в глобальному масштабі в інтегровані зусилля, спрямовані на вирішення всіх морських загроз. Національна стратегія США безпеки на морі об'єднує всі програми та ініціативи федерального уряду з безпеки на морі в комплексі та злагоджені національні зусилля, в яких беруть участь відповідальні федеральні, державні, місцеві та приватні організації [10]. На додаток до цієї стратегії міністерства розробили допоміжні плани для прийняття конкретних загроз і викликів морського середовища. сподіваються на те, що плани стосуються різних аспектів безпеки на морі, вони взаємопов'язані та підсилюють один одного. Допоміжні плани включають:

- Глобальний план інтеграції морської розвідки.
- Проміжний морський оперативний план реагування на загрози.
- Стратегія міжнародної взаємодії та координації.
- План відновлення морської інфраструктури.
- План безпеки системи морського транспорту.
- План безпеки морської торгівлі.
- План роботи з місцевими жителями.

Розробка цих планів керувалася принципами безпеки, викладеними в зазначеній Національній стратегії безпеки на морі. Ці плани послідовно оновлювалися у відповідь на зміни морської загрози, світового середовища та політики національної безпеки. Разом національна стратегія безпеки на морі та вісім допоміжних планів представляє комплексні національні зусилля щодо сприяння глобальній економічній стабільності та захисту законної сили, одночасно запобігаючи ворожим чи незаконним діям у морській зоні.

Складність і неоднозначність є ознаками безпеки сучасного середовища, особливо у морській сфері. Потенціал для великих бойових операцій на морі, тероризм значно посилив характер невійськових, транснаціональних та асиметричних загроз у морській сфері, яким Сполучені Штати, їхні союзники та стратегічні партнери повинні бути готові протистояти. На відміну від традиційних військових сценаріїв, у яких супротивники та театри дій чітко визначені, ці невійськові, транснаціональні загрози часто вимагають більшого, ніж суто військові заходи. Безпрецедентний прогрес у телекомунікаціях, прийняття міжнародних актів, суттєве вдосконалення міжнародної комерційної логістики в поєднанні збільшеної сфери і дослідження терористичної діяльності, забезпечують фізичні засоби подолання терористичних загроз.

Сучасні транснаціональні загрози можуть завдати великої шкоди багатьом націям. Таким чином, безпека морського простору вимагає комплексних і згуртованих зусиль між Сполученими Штатами та багатьма державами, які співпрацюють, для захисту спільних інтересів у глобальній морській безпеці. У цій стратегії описано, як уряд Сполучених Штатів намагається досягти міжнародних зусиль з безпеки на морі, які ефективно та результативно підвищують безпеку морської території, зберігаючи при цьому свободу для законних морських перевезень.

Безпека на морі найкраще досягається шляхом поєднання державних і приватних заходів з безпеки на морі в глобальному масштабі в комплексні зусилля, спрямовані на вирішення всіх морських загроз. Сполучені Штати підтримують тісну співпрацю між державами та міжнародними організаціями, які виділяють спільні інтереси щодо безпеки морської території та судноплавства. Нові ініціативи проводяться дипломатично через міжнародні організації, такі як, Міжнародна морська організація, Всесвітня митна організація та Міжнародна організація стандартів, які вже передбачають активну участь промисловості. У відповідних випадках ці ініціативи спираються на існуючі зусилля, а саме, Конвенції про боротьбу з незаконними актами, спрямовані проти безпеки морського судноплавства, та Міжнародний кодекс з охорони здоров'я і портових засобів (Кодекс ISPS) і поправки 2002 року до Міжнародної конвенції з

охорони людського життя на морі 1974 року. Ініціативи координуються Державним департаментом і включають такі положення, як[10]:

- запровадження стандартизованої міжнародної безпеки та рамок Всесвітньої митної організації для митної практики та стандартів, щоб гарантувати, що товари та люди, які приїжджають до країни, не становлять загрози;

- розширення використання модернізованих і автоматизованих систем, процесів і інформації про торговельні дані, щоб зробити реєстрацію суден, право власності та експлуатацію, а також ідентифікацію екіпажу та завантаження більш прозорими та доступними вчасно;

- розробка та розширення засобів швидкого обміну між урядами відповідно до розвідувальної та правоохоронної інформації щодо підозрюваної терористичної чи злочинної діяльності в морській зоні;

- прийняття процедур примусових дій проти суден, які входять або виходять з національних портів, внутрішніх вод або територіальних морів, якщо вони обґрунтовано були визнані в перевезенні терористів або злочинців або підтримців терористичної чи злочинної діяльності;

- запровадження спрощених процедур перевірки суден, які обґрунтовано виникли у проведених перевірках вантажів, і конфіскації такого вантажу, якщо визначено як такий, що підлягає конфіскації.

Регіональні режими морської безпеки є основним міжнародним компонентом цієї стратегії та мають важливе значення для забезпечення ефективної безпеки регіональних морів. Сполучені Штати також тісно співпрацюють з іншими урядами, міжнародними та регіональними організаціями для посилення можливостей морської безпеки інших ключових країн у наступному плані:

- пропонування допомоги з безпеки на морі та в портах, навчання та консультації;

- координація та визначення пріоритетів допомоги з безпеки на морі та зв'язку в регіонах;

- сприяння виконання Конвенції про боротьбу з незаконними актами, спрямованими проти безпеки морського судноплавства, та поправок до неї та інших міжнародних угод;

- розширення програми безпеки міжнародних портів. [10]

Так у [законі США про оборонний бюджет](#) на 2024 фінансовий рік, у розділі 1247 «Стратегія безпеки та розвитку Чорного моря», йдеться про необхідність того, що Рада національної безпеки США має розробити стратегію щодо Чорноморського регіону та її держав, поглиблення економічних зв'язків, енергетичної безпеки, підтримки зусиль щодо зміцнення демократичної стійкості країн Чорноморського регіону, посилення координації з НАТО та Європейського Союзу, а також розширення допомоги у сфері безпеки з регіональними партнерами відповідно до цінностей та інтересів США [11]. Як повідомляється, стратегія США, що стосується безпеки та розвитку Чорноморського регіону, має включати низку пунктів серед яких є план координації та синхронізації безпеки, допомога чорноморським державам, орієнтована на Україну, Румунію, Болгарію, Молдову та Грузію з метою збільшення регіонального співробітництва та безпеки судноплавства в Чорному морі. [11]

Таким чином стратегія міжнародної взаємодії та координації США забезпечує основу для координації всіх ініціатив щодо безпеки на морі, які повідомляються іноземними урядами та міжнародними організаціями, і вимагає міжнародної підтримки зміцнення безпеки на морі.

Для економіки Європейського Союзу (ЄС) і зв'язків між державами-членами та всередині них морський транспорт має стратегічне значення, з огляду на те, що 75% зовнішньої торгівлі ЄС здійснюється морським транспортом. Продуктивний, безпечний і більш стійкий морський сектор має важливе значення для конкурентоспроможності торгівлі та для поставок товарів і матеріалів на єдиний ринок. [12]

Нові геополітичні обставини, спричинені російською війною проти України, і викликані нею зміни в торгових та енергетичних моделях підкреслили необхідність зміцнення стратегічної автономії ЄС, включаючи його морський сектор. Рівень морської безпеки у водах ЄС наразі дуже високий, з невеликою кількістю смертельних випадків. Проте щорічно

повідомляється про понад 2000 морських аварій та інцидентів. Безпека судноплавства, навігаційна безпека та екологічна стійкість транспортної системи є першочерговими і не повинні ставитися під загрозу. ЄС має розробити проактивну та превентивну політику та залишатися світовим лідером у цій сфері на основі постійних зусиль з міжнародними, національними та місцевими органами влади та зацікавленими сторонами, включаючи громадянське суспільство.

Європейська Комісія пропонує переглянути п'ять законодавчих актів, щоб модернізувати правила ЄС щодо морської безпеки та стійкості, та надати ЄС інструменти для підтримки чистого та сучасного судноплавства. У сукупності ці пропозиції є основою зусиль із забезпечення ефективного, стійкого та безпечного морського руху та транспорту у водах ЄС і за його межами. Паралельно з цією надійною законодавчою базою ЄС прагне працювати в рамках Міжнародної морської організації (ІМО), щоб встановити високу планку в питаннях безпеки, цифровізації, а також екологізації та декарбонізації судноплавства. Співіснування таких європейських правил і дій ЄС в рамках ІМО гарантують підтримку рівних умов гри як на єдиному ринку, так і в усьому світі, уникаючи ризиків відмов і втрати європейських інтересів.

Цей морський пакет складається з п'яти пропозицій щодо перегляду, що стосуються [11]:

- Директива 2009/21/ЄС щодо дотримання вимог держави прапора;
- Директива 2009/16/ЄС про державний портовий контроль;
- Директива 2009/18/ЄС про розслідування аварій на морському транспорті;
- Директива 2005/35/ЄС про забруднення з суден і запровадження штрафів;
- Регламент (ЄС) №1406/2002 про заснування Європейського агентства з безпеки на морі (EMSA) [12].

Одним із головних мотивів перегляду п'яти законодавчих текстів є необхідність і переваги узгодження з оновленими міжнародними правилами. Співіснування неузгоджених стандартів і правил створює тягар і правову невизначеність для галузі та національних адміністрацій і підриває рівні умови і конкурентоспроможність судноплавства ЄС. Включення міжнародних правил до законодавства ЄС має здійснюватися таким чином, щоб забезпечити ефективне застосування уніфікованість та належне їх виконання. Діяльність ЄС у сфері морської безпеки одночасно доповнює та реалізує міжнародну правову базу, зокрема детальні правила та стандарти, викладені в основних Конвенціях ІМО. Включення таких правил і стандартів у правову систему ЄС робить ці положення придатними для розгляду в Європейському суді, забезпечуючи таким чином їх однакове застосування в ЄС і забезпечуючи рівні умови для держав-членів ЄС.

Європейське агентство з морської безпеки (EMSA) відіграє ключову роль у структурі ЄС щодо морської безпеки та внесла значний внесок у обнадійливі результати, досягнуті в ЄС щодо забезпечення якості судноплавства та культури безпеки. Агентство було створено в 2002 році з конкретною метою підтримки Європейської Комісії та держав-членів у застосуванні та моніторингу законодавства ЄС щодо безпеки на морі. Агентство є основою доданої цінності ЄС щодо морської безпеки завдяки своїй допомозі у забезпеченні виконання та сприянні ефективному та результативному виконанню правил. EMSA також пропонує технічну, наукову, нормативно-правову та операційну допомогу в широкому діапазоні сфер, пов'язаних з морським транспортом і безпекою судноплавства, зокрема у зв'язку з переходом на зелені та цифрові технології.

Одним із таких прикладів є те, як надійна система контролю державою порту, розроблена в ЄС, стала еталонною у всьому світі. Розвинулася співпраця між EMSA та іншими регіональними меморандумами про взаєморозуміння щодо державного портового контролю, такими як Токійський меморандум про взаєморозуміння та Середземноморський меморандум, відповідно до яких дані про перевірки обмінюються між меморандумами про взаєморозуміння. На додаток до роботи з Паризьким Меморандумом про взаєморозуміння, EMSA керує базою даних звітів про орієнтування та інспекцію для Середземноморського Меморандуму про взаєморозуміння.

Незважаючи на досягнуті зусилля та успіхи у світовому процесі забезпечення безпеки мореплавства та судноплавства, на сьогоднішній день існує реальна загроза безпеці в районах дії піратських та терористичних угруповань. Тисячі суден ходять морями та океанами доставляючи вантажи по всьому світу і постійно стикаються з ризиком нападу з боку піратів і терористів. Так намагання, як на міжнародному і регіональному рівнях по боротьбі з морським піратством, наприклад, через Конституцію для океанів (UNCLOS), Конвенцію про боротьбу з незаконними актами, спрямованими проти безпеки морського судноплавства і Угоду про регіональну співпрацю в боротьбі з піратством і збройним розбоєм проти суден в Азії (ReCAAP), в деяких випадках, спроможні діяти тільки з використанням силових методів підтримки таких правових рішень.

Але війна на Близькому Сході набирає обертів і загрожує одному з найбільш жвавих торговельних коридорів світу. З жовтня 2023 року воєнізоване угруповання "Ансар Аллах", більш відоме як хусити, здійснили атаки проти цивільних суден із застосуванням бойових дронів та балістичних ракет. Біля західного берега Ємену, який контролюють підтримувані Іраном бойовики, проходять 15% світової морської торгівлі, зокрема 8% морських перевезень зерна, 12% – нафти та 8% – зрідженого природного газу.

У грудні США спільно з дев'ятьма країнами-союзниками організували в Червоному морі [спільну військову місію](#), метою якої було відбиття атак та захист цивільного судноплавства. 10 січня 2024 року, Рада Безпеки ООН прийняла Резолюцію, вимагаючи, щоб хусити негайно припинили напади на судна в Червоному морі, наголосивши на праві країн-членів ООН захищати свої кораблі. За резолюцію проголосували одинадцять країн; Росія, Китай, Мозамбик і Алжир утрималися. Аби не допустити блокування світової торгівлі, у ситуацію втрутилася коаліція країн, зокрема США та Британія у ніч на 12 січня 2024 року і наступного дня ці держави завдали ударів по військових об'єктах хуситів на території Ємену. Ця подія змусила хвилюватися не лише судновласників, а й світових виробників та ритейлерів, які змушені в авральному режимі змінювати маршрути та сплачувати додаткові мільйони.

Політика США та ЄС щодо морської безпеки завжди спиралася на посилену співпрацю між усіма залученими учасниками державами-членами ЄС та зацікавленими сторонами. Згодом це також було поширено на забезпечення виконання екологічного законодавства. Дійсно, довіра до морського сектору має важливе значення, оскільки без неї неможливе безпечне та якісне судноплавство, і, відповідно, безпечне перевезення вантажів морем [12].

Висновки. Отже, проведений аналіз свідчить про те, що в країн з розвиненою морською галуззю питанню організаційно-правового забезпечення безпеки судноплавства приділяється велика увага. Досвід цих країн знайшов відображення у міжнародних конвенціях, також у національному праві інших морських держав. Нормативно-правова база та міжнародні конвенції є основою для підтримки стандартів безпеки на морі. Завдяки міжнародному співробітництву та забезпеченню виконання ці рамки забезпечують узгодженість, підзвітність і відповідність у всій галузі та становлять механізми контролю та відповідальності. Практична значимість результатів дослідження полягає в тому, що його положення та висновки, можуть мати як загально-теоретичне, так і спеціально призначення, оскільки розширюють і поглиблюють знання про безпеку мореплавства зокрема з огляду на досвід провідних морських країн. Аналіз процедур і механізмів, що діють у рамках ІМО, спрямований на забезпечення більш ефективного використання їх у сфері безпеки мореплавства може використовуватися для подальших наукових досліджень.

Зростаюче значення міжнародного морського судноплавства, ускладнення умов його експлуатації у сучасних умовах, викликає необхідність дослідження питань, удосконалення його правового регулювання з суворим дотриманням законності в контексті протидії негативним проявам у сфері безпеки мореплавства.

ЛІТЕРАТУРА

1. Safety and Shipping Review 2023. An annual review of trends and developments in shipping losses and safety.
URL: <https://commercial.allianz.com/news-and-insights/news/safety-shipping-review-2023.html>
2. Чернявська О.В. Забезпечення безпеки мореплавства в аспекті правового регулювання. Юридичний науковий електронний журнал. 2021. № 5.
3. Махмурова-Дишлюк О.П., Безпека судноплавства як важлива умова охорони людського життя. Водний транспорт № 1 (37) 2023.
4. Мельник О.М. Актуальні проблеми безпеки морського транспорту. тенденції, ризики та стратегії врегулювання. Водний транспорт № 1 (37) 2023.
5. The importance of compliance and regulatory standards in ship management //2023 nozzle software inc.
URL: <https://www.nozzlesoft.com/the-importance-of-compliance-and-regulatory-standards-in-ship-management>
6. Резолюція ІМО А.857(20) від 27.11.1997 - Керівництво для служб руху суден. URL: <http://rise.odessa.ua>
7. Maritime Navigation and Information Services. URL: <https://trimis.ec.europa.eu/project/maritime-navigation-and-information-services>
8. United States Coast Guard Vessel Traffic Services URL: <https://www.navcen.uscg.gov/vessel-traffic-services>
9. United States Coast Guard Offices. URL: <http://surl.li/pzqcl>
10. National Strategy for Maritime Security. URL: <http://surl.li/pzpvvi>
11. О.Юрченко. Чорне море та стратегія США. Крим.Реалії, 2024
URL: <https://ua.krymr.com/a/chorne-more-stratehia-ssha-ukraina-chornomorskyi-rehion-zahroza-rosii/32742028.html>
12. European Commission Brussels, 1.6.2023 .com (2023) 268 final. Maritime safety: at the heart of clean and modern shipping.
URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/HTML/?uri=CELEX%3A52023DC0268>
13. Я.Вінокуров, Д.Гордійчук. Єменські хусити вбивають торгівлю. Чим загрожує конфлікт у Червоному морі? URL: <https://www.epravda.com.ua/publications/2024/01/15/708730/>

REFERENCES

1. Safety and Shipping Review 2023. An annual review of trends and developments in shipping losses and safety.
URL: <https://commercial.allianz.com/news-and-insights/news/safety-shipping-review-2023.html>
2. Chernyavs'ka O.V. Zabezpechennya bezpeky moreplavstva v aspekti pravovoho rehulyuvannya. Yurydychnyy naukovy elektronnyy zhurnal. 2021. No 5.
3. Makhmurova-Dyshlyuk O.P., Bezpeka sudnoplavstva yak vazhlyva umova okhorony lyuds'koho zhyttya. Vodnyy transport № 1 (37) 2023.
4. Mel'nyk O.M. Aktual'ni problemy bezpeky mors'koho transportu. tendentsiyi, ryzyky ta stratehiyi vrehulyuvannya. Vodnyy transport № 1 (37) 2023.
5. The importance of compliance and regulatory standards in ship management //2023 nozzle software inc.
URL: <https://www.nozzlesoft.com/the-importance-of-compliance-and-regulatory-standards-in-ship-management>
6. Rezolyutsiya IMO A.857(20) vid 27.11.1997 - Kerivnytstvo dlya sluzhb rukhu suden. URL: <http://rise.odessa.ua>
7. Maritime Navigation and Information Services. URL: <https://trimis.ec.europa.eu/project/maritime-navigation-and-information-services>

8. United States Coast Guard Vessel Traffic Services. URL: <https://www.navcen.uscg.gov/vessel-traffic-services>
9. United States Coast Guard Offices. URL: <http://surl.li/pzqcl>
10. National Strategy for Maritime Security. URL: <http://surl.li/pzpvvi>
11. O. Yurchenko. Chorne more ta stratehiya SSHA. Krym.Realiyi, 2024.
URL: <http://ua.krymr.com/a/chorne-more-stratehiya-ssha-ukraina-chornomorskyi-rehion-zahroza-rosii/32742028.html>
11. O. Yurchenko. Chorne more ta stratehiya SSHA. Krym.Realiyi, 2024.
URL: <http://ua.krymr.com/a/chorne-more-stratehiya-ssha-ukraina-chornomorskyi-rehion-zahroza-rosii/32742028.html>
12. European Commission Brussels, 1.6.2023 com (2023) 268 final. Maritime safety: at the heart of clean and modern shipping.
URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/HTML/?uri=CELEX%3A52023DC0268>
13. Y. Vinokurov, D. Hordiychuk. Yemens'ki khusyty vbyvayut' torhivlyu. Chym zahrozhuye konflik u Chervonomu mori? URL: <https://www.epravda.com.ua/publications/2024/01/15/708730/>

Danilenko O.B., Dukov D.F., Korotchenkov M.P., Malieva V.S.

INFLUENCE OF ORGANIZATIONAL AND LEGAL FACTORS ON THE LEVEL OF SAFETY OF NAVIGATION: EXPERIENCE OF COUNTRIES WITH DEVELOPED MARITIME INDUSTRY

The problem of ensuring maritime safety is one of the most important in maritime transport, as its successful solution affects the protection of life and health of crew members, vessels and passengers, as well as the safety of vehicles and cargoes. This problem has long since turned from a narrow national to an international one and requires significant efforts and funds to implement. The article provides an overview of safety and shipping over the past year, the causes and consequences of accidents in the world's maritime fleet, as well as actions and regulatory mechanisms aimed at international maritime safety. The subject of the study is specific measures to improve the legal mechanisms in the field of international shipping safety, and the study of modern tools for implementing methods of shipping safety and security. The author also analyzes the trends and changes in the field of transportation losses, risks and safety when navigating in special conditions and areas of hostilities. The paper analyzes the procedures and mechanisms operating within the IMO aimed at ensuring their more effective use in the field of maritime safety. The article pays special attention to the experience of countries with developed maritime industries in ensuring safety of navigation in coastal waters, considers the use of new technologies in the regulation of navigation in Europe, the United States and other countries, as well as the principles of effective implementation of international and regional documents and standards in the field of navigation. The article presents a strategy for maintaining and complying with regulatory standards, management systems, liability, and a modern concept of shipping safety based on international legal regulation. The purpose of the article is to investigate how the implementation and enforcement of the regulatory framework and international conventions in some maritime countries are the most important factors in maintaining maritime safety standards.

Keywords: shipping safety, world fleet accidents, ship safety, ship traffic control systems, shipping risks, international and regional documents, safety standards.

Березовська В.В.

АВТОНОМНЕ СУДНОПЛАВСТВО МОРСЬКОЇ ГАЛУЗІ: НОРМАТИВНА СКЛАДОВА

Статтю присвячено питанням формування уніфікованої нормативної бази сфери автономного судноплавства морської галузі у XXI ст. Важливість постановки цієї проблеми обумовлена потребами сучасної світової економічної, політичної та соціальної складових, де учасники могли б вільно взаємодіяти та співпрацювати в єдиному морському просторі на рівних нормативних засадах у сфері автономного судноплавства. На підставі аналізу відомостей та матеріалів фахово-орієнтованих джерел проаналізовано особливості технологічних інновацій в морській галузі, активне впровадження світовими компаніями автономного судноплавства, створення нормативної бази та її активну інтеграцію до єдиної уніфікованої світової нормативної бази. Окрім цього розглянуто проблеми безпеки та захищеності автономного судноплавства, питання його впливу на навколишнє середовище; спрощення процедур міжнародної торгівлі; потенційні витрати для галузі та їх вплив на морський персонал як на борту, так і на березі. Підкреслено необхідність створення єдиної загальносвітової уніфікованої нормативної бази для автономного судноплавства, при обов'язковому залученні спеціалістів з різних країн, зацікавлених у подальшому розвитку галузі. Детально проаналізовано кроки Міжнародної морської організації (ІМО) з підготовки Міжнародного кодексу по морським автономним надводним суднам. Завершення роботи над документом планується до кінця 2025 р., а вже 2028 р. документ стане обов'язковим до виконання світовим співтовариством.

Ключові слова: Міжнародна морська організація (ІМО), фахівці морської галузі, морські автономні надводні кораблі (MASS), Комітет з безпеки на морі (MSC), інформаційні технології, нормативна база, технологічні інновації.

Постановка проблеми. Автономне судноплавство є невід'ємною частиною сучасної морської індустрії, яка значно впливає на безпеку, ефективність і стійкість морських перевезень. Впровадження автономних систем судноплавства призводить до революційних змін у галузі транспортування вантажів, пасажирських перевезень та військово-морської оборони. Одним із ключових аспектів значущості автономного судноплавства є підвищення безпеки на морі. Автоматизовані системи та штучний інтелект дозволяють запобігати зіткненням суден, визначати їх оптимальні маршрути, а також швидко реагувати на надзвичайні ситуації, мінімізуючи ризики для екіпажу та навколишнього середовища.

Окрім цього, автономне судноплавство сприяє підвищенню ефективності морських перевезень. Оптимізація маршрутів, більш точне управління витратами палива та оптимізація часу в порту знижують операційні витрати та покращують конкурентоспроможність компаній у міжнародній торгівлі.

Екологічні переваги є важливим аспектом автономного судноплавства. Завдяки оптимізації маршрутів та більш ефективному використанню палива, автономні судна можуть знизити викиди забруднюючих речовин та зменшити негативний вплив на навколишнє середовище, що стає все більш актуальним у контексті глобальної боротьби зі зміною клімату.

Таким чином, автономне судноплавство є ключовою технологією, здатною трансформувати морську індустрію та забезпечити її сталий розвиток у сучасному світі.

Використання автономного судноплавства потребує нормативного регулювання, що допоможе забезпечити безперешкодне та ефективне використання автономних суден у морській сфері, враховуючи різні аспекти та інтереси заінтересованих сторін. Міжнародна морська організація (ІМО) докладає неабияких зусиль для уніфікації національних нормативів та

створення єдиної міжнародної нормативної бази для морських автономних надводних кораблів (MASS), яка б відповідала технологічним розробкам сучасності, що швидко впроваджуються у морську галузь світовими компаніями.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблема створення єдиної уніфікованої нормативної складової у сфері автономного судноплавства виникла в той час, як перші автономні судна з'явилися у морському просторі. Саме тоді й з'явилися перші наукові дослідження, в яких автори намагалися проаналізувати перспективи та можливості використання автономних морських суден. Одним з перших, хто акцентував увагу громадськості на ролі автономних надводних кораблів та безпеці морських перевезень, був Генеральний секретар ІМО Кітак Лім. Він стверджує, що завдяки непохитному прагненню щодо скорочення кількості морських аварій та інцидентів, а також унікальному духу співпраці ІМО з національними морськими організаціями, було створено нормативну базу із запровадження безпечної та надійної роботи з міжнародних перевезень у морській галузі. Окрім цього автор значну увагу приділяє правовим питанням, а саме: відповідальності судновласників у разі аварій; судовим позовам та роботі діспашерів (*фізична або юридична особа, до послуг якої вдаються страховики для захисту своїх інтересів при настанні страхового випадку – авт.*) [2].

Серед зарубіжних фахівців, що досліджують питання автономного судноплавства ми можемо назвати Шанкар Нішанта, який представляє компанію Next Move Strategy Consulting. Автор значну увагу приділяє аналізу нових технологій у сфері автономного судноплавства з точки зору зацікавленості світових морських компаній у цьому продукті. В полі зору Шанкар Нішанта також діяльність великих корпорації з усього світу, що знаходить відбиток у численних звітах про ринок автономного морського судноплавства [3].

Окрім суто технологічних питань, пов'язаних з автономними надводними кораблями, в полі зору дослідників чільне місце займають різноманітні юридичні проблеми. В цьому контексті ми можемо назвати цілу низку юристів-дослідників, що спеціалізуються на питаннях морського права, морських перевезень та безпеки на морі тощо.

Пауль Дин (Paul Dean) – керівник відділу судноплавства у HFW, що об'єднує в глобальній мережі 20 офісів з понад 200-ми фахівцями-юристами в галузі судноплавства; науковий співробітник Інституту міжнародного судноплавства та торговельного права (IISTL); визнаний «Lloyd's List» (*один з найстаріших постійно діючих часописів світу, що публікував щотижневі новини судноплавства в Лондоні ще з 1734 р. – авт.*) у 2019 та 2020 роках одним із 100 найвпливовіших людей морської галузі та одним з 10 найкращих юристів ринку. Науково-аналітичні праці присвячені морським операціям, з особливим акцентом на безпечному автономному судноплавстві [4].

Том Уолтерс (Tom Walters) – член команди HFW, спеціалізується на питаннях кіберризиків; надійності морських автономних надводних кораблів (MASS) та автономних підводних апаратів (AUV); новітніх морських технологій та інновацій [5].

Джонатан Гоулдінг (Jonathan Goulding) юрист та моряк у відділі Адміралтейства та кризового управління компанії Shipping Group. Консультує з судових розглядів, що виникають внаслідок аварій на морських об'єктах енергетики, включаючи зіткнення, посадки на міліну, евакуацію/видалення затонулих суден та ін. [6].

Генрі Клак (Henry Clack) – досвідчений фахівець з вирішення міжнародних комерційних спорів в арбітражному суді за правилами LMAA та LCIA. Має досвід представлення інтересів судновласників, клубів P&I, товарних трейдерів, брокерів та логістичних компаній. Значну увагу приділяє питанням автономного судноплавства [7].

Питанням впровадження технологій автономного судноводіння, принципам функціонування бортових систем керування автономним судном, проблемам правового регулювання присвячені праці українських вчених. Це роботи О. Савич, О. Мельник, Г. Мошак, С. Толстова, В. Ястребного та інших.

Так, у статті Олександра Лапкіна проаналізовано сучасні тенденції застосування технологій автономного судноплавства та перспектив їх використання для вантажних та

пасажирських перевезень [8]. Питання менеджменту функціональної стабільності глобальної морської торгівлі оцінює Арсеній Стахов [9]. Проблемам правового регулювання безпеки автономного судноплавства присвячено дослідження Тетяни Плачикової [10].

Незважаючи на численні публікації з проблем окремих аспектів правового забезпечення автономного судноплавства, питання нормативної складової означеної галузі потребують додаткової актуалізації та практичного вирішення.

Мета дослідження полягає у визначенні сучасного стану та проблем нормативного регулювання забезпечення безпеки автономного судноплавства, а також аналізі можливостей вирішення означених проблем на підставі міжнародних угод у морській галузі, з урахуванням потреб сучасної світової економічної складової.

Специфіка дослідження визначила необхідність використання наступних методів дослідження: аналіз та синтез, абстрагування, порівняння та зіставлення, а також інтерпретації, узагальнення та концептуалізації. В основу дослідження покладено принципи об'єктивності та цілісності, історизму та розвитку, системності та багатовекторності.

Основні результати дослідження. Ідея автономного судноплавства виникла ще в давнину, проте активний розвиток цієї концепції почався з розвитком передових технологій наприкінці XX - на початку XXI століть. Перші кроки у розвитку автономного судноплавства були зроблені в галузі досліджень та розробок військового призначення. У середині XX ст. з'явилися перші прототипи безпілотних підводних апаратів (БПЛА), які використовувалися для виконання розвідувальних та військових завдань.

З розвитком комп'ютерних технологій та штучного інтелекту в останні десятиліття посилюється інтерес до автономного судноплавства у цивільній сфері. Наприкінці XX - на початку XXI ст. почалися активні дослідження та експерименти щодо створення автономних суден, здатних виконувати різні функції без прямого людського управління. Серед компаній, що активно займаються розробкою автономних суден, варто назвати такі, як Rolls-Royce, Kongsberg Maritime, і BAE Systems. У різних країнах – США, Норвегія, Японія та Німеччина, проводяться чисельні дослідження та робляться значні інвестиції в автономне судноплавство.

Перші успішні випробування автономних суден у морській сфері розпочалися у 2010-х роках. Великі компанії та стартапи по всьому світу приступили до розробки й тестування автономних кораблів для комерційного використання в різних галузях, включаючи транспорт вантажів, дослідження океану, морські патрулювання та багато іншого. З появою перших прототипів та успішних експериментальних варіантів автономного судноплавства стало ясно, що це технологія з великим потенціалом, здатна значно змінити ландшафт морської індустрії протягом найближчих десятиліть.

На сьогоднішній день автономне судноплавство стоїть на порозі нової ери, і багато компаній та організацій активно працюють над створенням більш складних та ефективних автономних кораблів. Очікується, що найближчими роками автономне судноплавство продовжуватиме розвиватися та розширювати свої можливості у різних галузях морської діяльності.

Для вдалої імплементації автономного судноплавства у світову морську галузь потрібна чітка юридична (нормативна) регламентація всього процесу. Міжнародна морська організація (ІМО), як глобальний регулюючий орган міжнародного судноплавства, приступила до розробки нормативних документів з вивчення безпечності, надійності та екологічності операцій морських автономних надводних кораблів (MASS) у аспектах їх подальшого використання для відповідних документів ІМО.

Комітет з безпеки на морі (MSC), як вищий технічний орган ІМО затвердив рамки для нормативного огляду, включаючи попереднє визначення MASS та ступенів їх автономії, а також методологію проведення навчань та план роботи. «Морський автономний надводний корабель (MASS)» визначається як судно, що тією чи іншою мірою може діяти незалежно від людського фактору. В документі наведено нормативні вимоги щодо ступеня автономії MASS:

- судно з автоматизованими процесами та підтримкою прийняття рішень: моряки знаходяться на борту, щоб керувати та контролювати суднові системи та функції. Деякі операції можуть бути автоматизовані.
- судно з дистанційним керуванням та моряками на борту: корабель керується з іншого місця, але на борту знаходяться моряки.
- судно з дистанційним керуванням без моряків на борту: судно керується повністю з іншого місця. Моряків на борту немає.
- повністю автономний корабель: операційна система корабля здатна самостійно приймати рішення та визначати дії [11].

Документ передбачає два основних алгоритми: по-перше, необхідність визначити поточні положення в узгодженому списку інструментів ІМО та оцінити, наскільки вони можуть/не можуть бути застосовні до суден з різним ступенем автономії та/або можуть вони перешкоджати операціям MASS. По-друге, необхідність проведення аналізу для визначення найбільш відповідного способу здійснення операцій MASS, беручи до уваги, серед іншого, людський фактор, технології та оперативні фактори [1].

Під окремою увагою знаходяться також питання, пов'язані з унормуванням застосування MASS. В першу чергу це стосується термінології та окремих рішень MSC. Такі загальноприйняті терміни, як «капітан», «екіпаж» або «відповідальна особа», набувають абсолютно нового значення для суден Третього (дистанційно кероване судно) або Четвертого рівня (повністю автономне судно). Окрім цього низка питань постала з необхідністю забезпечення функціональних та експлуатаційних вимог станції/центру дистанційного керування та можливе призначення віддаленого оператора [11]. Також до категорії потенційно загрозливих та потребуючих унормування було віднесено положення про ручне управління та сигналізацію на капітанському містку; положення, пов'язані з діями персоналу (наприклад, гасіння пожежі, розміщення та кріплення вантажів, технічне обслуговування); несення вахти; наслідки для пошуково-рятувальних операцій; та інформація, необхідна для безпечної експлуатації на борту.

16-25 травня 2018 р. відбулася 99-та сесія MSC, під час роботи якої було засновано кореспондентську групу MASS для перевірки структури нормативного огляду. Це рішення, зокрема в розділах методології та результативності, було погоджено на наступній сесії MSC (3–7 грудня 2018 р.).

Провівши початкову оцінку правила III/17-1 SOLAS (Підбір людей із води), яке вимагало, щоб усі судна мали спеціальні суднові плани та процедури з підйому людей із води; правило V/19.2 SOLAS (Вимоги до перевезення суднового навігаційного обладнання та систем); правило про вантажну марку (Інформація має бути надана капітану), кореспондентська група перевірила та затвердила методологію нормативних підходів. Наступним кроком стала рекомендація від комітету зацікавленим державам-членам та міжнародним організаціям подати до наступної сесії MSC пропозиції щодо розробки тимчасових керівних принципів випробувань для MASS [2].

Перелік документів, що опинилися в зоні уваги MSC для MASS включав інструменти безпеки (SOLAS); правила зіткнень (COLREG); навантаження та стійкість (Load Lines); підготовку моряків та рибалок (ПДНВ, ПДНВ-Ф); пошуково-рятувальні роботи (SAR); вимірювання тоннажу (Тоннажна конвенція); безпечні контейнери (CSC); спеціальні торгові пасажирські суднові прилади (SPACE STP, STP) [12].

Роком раніше (2017 р.) ІМО прийняла Стратегічні напрями, у тому числі з інтеграції нових та передових технологій до нормативно-правової бази, які базувалися на принципах: балансування між вигодами, що отримуються від нових та передових технологій, з проблемами безпеки та захищеності, впливом на навколишнє середовище та спрощенням процедур міжнародної торгівлі, потенційні витрати для галузі та їх вплив на персонал як на борту, так і на березі. Крім того, Лім – генеральний секретар ІМВ, виступаючи на відкритті засідання MSC підкреслив важливість збереження гнучкості для впровадження нових технологій, а відтак підвищення ефективності судноплавства, «при цьому пам'ятаючи про роль людського фактору та необхідність підтримки безпечного судноплавства, подальшого скорочення кількості

морських аварій та пригод» [2]. Це стосується як технологічного оснащення суден, конфігурації портової інфраструктури та технологій обробки вантажів, так і профілю компетенції фахівців у цих областях. Існуючі бази – нормативна, стандартизація, технічного регулювання, суднобудівних технологій та освітні програми на жаль, не встигають реагувати та відповідати глобальним викликам у сфері безпілотної навігації.

Комітет безпеки на морі ІМО провів спеціальну сесію, присвячену автономним суднам з дистанційним управлінням, на якій було наголошено, що нові судна проходять випробування, але моряки поки залишаються на них для безпечного судноплавства. На сесії виступали керівники провідних компаній з автономного судноплавства. Так, Кевін Даффі (директор з корабельної розвідки, проектування та технологій комерційного флоту компанії Rolls-Royce plc) представив випробування повністю автономного порому під час рейсу між Парайненом та Науво Фінляндія. Пором рухався в повністю автономному режимі та під дистанційним керуванням. За словами доповідача, на борту багатьох кораблів, як і раніше, будуть знаходитися люди, але морські інженери активно шукають можливості, щоб зробити ці кораблі більш ефективними та дієвими [3].

Тімо Копонен (віце-президент з технологічних рішень компанії Wärtsilä Marine Business) у серпні 2017 р. продемонстрував дистанційне керування морським судном. OSV, що ходить біля узбережжя Абердіна (Шотландія), управлялося дистанційно з Сан-Дієго, що знаходиться на відстані 8 000 км, за допомогою стандартної смуги пропускання. У 2018 р. норвезький автомобільний пором з гібридним двигуном Folgefonn пройшов успішні випробування на автоматичну стиковку/розстиківку/стиківку до стикування. За словами Т. Копонена, автоматизація, інтелектуальна маршрутизація, оптимізація рейсів і робота «точно в термін» можуть забезпечити значну економію палива та сприяти поліпшенню екологічних показників.

У ході дебатів, що послідували за доповіддю, делегати порушили питання про пошуково-рятувальні операції, в яких можуть брати участь автономні або дистанційно керовані кораблі, а також про те, як дотримуватимуться правил зіткнень. Більшість вважала, що судна з дистанційним управлінням або автономні судна спочатку працюватимуть поблизу берегів. MSC проводить нормативне дослідження, щоб подивитися, як безпечна, надійна та екологічно обґрунтована експлуатація морських автономних надводних кораблів (MASS) може бути включена до документів ІМО [3].

Закриваючи спеціальну сесію, колишній голова MSC Том Аллан нагадав делегатам про їхню відповідальність як людей, які беруть участь у «ймовірно, найважливішому комітеті з безпеки у світі», коли йдеться про безпеку людського життя на морі. Автоматична система керування судном дозволить підвищити рівень безпеки судноплавства, навігації, інтегрувати дані навігаційних, технічних систем, постійно виявляти навігаційні небезпеки, звести до мінімуму «людський фактор». Саме останній стає причиною більше 80% інцидентів на морі, призводячи до збитків у 1 млрд. доларів щорічно. Нові технології також знизять витрати на екіпаж, які досягають 30-40% від загальних операційних витрат. Все це є яскравим підтвердженням того, що розвиток автономного судноводіння буде здійснюватиметься максимально швидко. Моряки, звичайно, професію не втратять: вони просто перейдуть до складу груп з обслуговування автономних суден [4].

На 101-й сесії (червень 2019 р.) Комітету з безпеки на морі (MSC) було затверджено тимчасові інструкції з випробувань морських автономних надводних кораблів (MASS) (MSC.1-Circ.1604). Серед іншого, у керівних принципах йдеться про те, що випробування повинні проводитися таким чином, щоб забезпечити, як мінімум, той ступінь безпеки, захищеності та захисту навоколишнього середовища, який передбачений відповідними документами. Ризики, пов'язані з випробуваннями, повинні бути належним чином ідентифіковані. Окрім цього потрібно вжити заходи для зниження ймовірних ризиків.

Будь-який персонал, що бере участь у випробуваннях MASS (віддалені оператори або бортові оператори) повинен мати відповідну кваліфікацію та досвід для безпечного проведення випробувань. В документі зазначалося, що необхідно зробити відповідні кроки для

забезпечення достатнього управління кіберризиками систем та інфраструктури, з числа тих, що використовуються під час проведення випробувань MASS [13].

Як серйозна міжнародна організація ІМО діяло у відповідності до Стратегічного плану (2018-2023 рр.), що включав серед іншого розділ «Інтеграція нових та передових технологій у нормативно-правову базу». Три комітети ІМО беруть безпосередню участь у роботі із новими технологіями. Це Комітет з безпеки на морі, Юридичний комітет та Комітет зі спрощення формальностей. Саме на їх плечах лежить відповідальність за досягнення поставленої мети з урахуванням прискорених технологічних темпів.

У 2021 р. ІМО, з метою оцінки існуючих інструментів та перспектив їх застосування до суден різного ступеня автоматизації, провела оглядове дослідження, яке повинно було допомогти у з'ясуванні перспектив напрямку автоматизації. Дослідження нормативного характеру (RSE) для договорів безпеки було завершено на 103 сесії MSC (травень 2021 р.); для договорів, які перебувають у компетенції Юридичного комітету на 108 сесії (липень 2021 р.). Комітет FAL затвердив результати RSE договорів, що входять до його компетенції, на своїй 46-й сесії (травень 2022 р.) [14].

Подальші кроки щодо розробки цільових інструментів регуляції експлуатації морських автономних надводних кораблів було зроблено під час наступних (105-ї та 106-ї) сесій Комітету FAL (листопад 2022 р.). Їх мета – прийняття цільового Кодексу MASS, що на початковому етапі матиме необов'язковий характер. В перспективі, після погоджень та досліджень, планується поступовий перехід та затвердження (з 1 січня 2028 р.) обов'язкового цільового Кодексу MASS. Для вдалої імплементації кодексу відбулося створення об'єднаної робочої групи в складі MSC, LEG, FAL, головним призначенням якої є відбудова наскрізного механізму для вирішення спільних питань, виявлених у ході нормативно-оглядових заходів щодо використання MASS. Для зазначеної об'єднаної робочої групи (MSC, LEG, FAL) було схвалено план роботи та призначено проведення наступних засідань на 2022 та 2023 рр. [14].

На сьогодні, для розробки нормативної бази для автономного морського судноплавства використовуються положення, які були затверджені ІМО раніше, а саме: Конвенція про вантажну марку (1966 р.); Міжнародна конвенція щодо обміру суден (КОС-69) (1969 р.); Угода про пасажирські судна, що здійснюють спеціальні перевезення (1971 р.); Міжнародна конвенція щодо безпечних контейнерів з поправками (1972 р.); Міжнародні правила попередження зіткнень суден у морі з поправками (1972 р.); Міжнародна конвенція з охорони людського життя на морі з поправками (SOLAS -74) (1974 р.); Міжнародна конвенція про підготовку та надання дипломів морякам (1978 р.); Міжнародна конвенція з пошуку та рятування (1979 р.) та інші [4].

ІМО прагне інтегрувати нові та передові технології до загальносвітової нормативної баз, балансуючи між прибутками та вигодами, які можна отримати від нових та передових технологій, з одного боку, та з іншого боку – це проблемами безпеки й захищеності, впливи на навколишнє середовище та спрощення процедур міжнародної торгівлі, потенційні витрати для галузі та їх вплив на персонал як на борту, так і на березі. ІМО хоче забезпечити, щоб нормативна база для морських автономних надводних кораблів (MASS) йшла в ногу з технологічними розробками, які швидко розвиваються.

В якості додаткового важеля демонстрації привабливості та перспектив використання автономних надводних кораблів з 2021 р. було започатковано проведення виставки «Europort» - нового простору, орієнтованого на розробників, виробників та постачальників у таких галузях, як автоматизація, автономна доставка, дистанційний контроль, дистанційний моніторинг та контроль, робототехніка та безпілотні системи у морській сфері. На Europort-2023 було представлено спеціальну «Зону цифровізації», де піонери цифрової трансформації та інтелектуальних підключень змогли підключитися, співпрацювати та ділитися своїми рішеннями з глобальною морською аудиторією. Таким чином, виставка «Europort» зарекомендувала себе як демонстраційний центр розробки автономних судових технологій після Нідерландського форуму з інтелектуального судноплавства – SMASH [15].

В наш час дослідження в галузі автономного мореплавства мають не лише теоретичне, а й практичне застосування. Прикладом цього стане проведення у березні 2024 р. конференції та виставки Asia Pacific Maritime (APM), що стануть найбільшою платформою Південно-Східній Азії для створення глобального морського ланцюжка в Marina Bay Sands. Очікується, що під час головної виставки та конференції цього року зберуться понад 14 000 судовласників, верфей, судових менеджерів та технічних постачальників для зустрічі з більш ніж 1400 постачальниками рішень.

Тема APM 2024 «Майбутнє суден – рішення для завтрашнього дня» має стати платформою для обміну знаннями та інформацією. Конференція та виставка будуть зосереджені на презентації інтелектуальних рішень для досягнення цілей нульового рівня викидів, забезпечення кібербезпеки, підвищення мобільності супутникового зв'язку та впровадженні цифровізації. За планами організаторів, у конференції мають взяти участь понад 80 доповідачів, які проведуть наукові платформи з шести тем конференції, розподілених протягом трьох днів: сталий розвиток, інновації та цифровізація, кадри та навчання, морська кібербезпека, порти, термінали та страхування [16].

Сучасні світові компанії, що спеціалізуються на просуванні автономізації в морській сфері, беруть активну участь не лише у виставках та презентаціях, а й продовжують розробки автономних кораблів. Глобальна боротьба за лідерство в автономній навігації набуває подальшого розвитку. До неї залучені уряди та найбільші технологічні компанії провідних морських держав (Rolls-Royce (Великобританія), Kongsberg Gruppe (Норвегія), ABB (Швеція), Sea Machines Robotics, IBM (США) та інші. За загальними прогнозами, за рахунок зменшення впливу людського фактору при експлуатації суден, передбачається зниження на 70-80% аварійності. Загальні підходи до безпілотної навігації змінюють уявлення про організацію перевезень водним транспортом [2].

Стисло проаналізуємо діяльність деяких відомих компаній, які беруть активну участь у інноваційних змінах автономній морській сфері, впроваджують новітні технології за допомогою автономних суден.

Rolls-Royce, англійська компанія, останнім часом активно працює над розробкою технології автономної доставки. Компанія розробила низку систем та технологій, включаючи автономну навігацію. У вересні 2021 р. Rolls-Royce оголосив про партнерство з Sea Machines. Відповідно до цього партнерства, обидві компанії працюватимуть разом над розробкою повністю та напівавтономних систем управління суднами, які зможуть вирішувати завдання як самостійно, так і з невеликою допомогою людини. Ці нові системи покликані зробити механізми морської автоматизації MTU Nautiq Marine Automation Rolls-Royce ще кращими.

Kongsberg, норвезька компанія, відома своїм досвідом у галузі морських технологій та оборони, спеціалізується на вдосконаленні системи самонавігаторних кораблів, а також співпрацює з різними виробниками судів. У 2021 р. Kongsberg об'єднав свої зусилля з Yara International. Їхня співпраця мала вагомий позитивні наслідки: появи першого у світі електричного безпілотної контейнеровозу [3].

Wartsila, фінська компанія, що спеціалізується на енергетичних рішеннях в морському та енергетичному секторах, активно займається створенням та постачанням автономних судових систем. Деякі з їх пропозицій включають удосконалені системи допомоги Wärtsilä, Wärtsilä SmartMove, Wärtsilä Smart Sensors та Wärtsilä Smart Panoramic Edge Camera System. Важливо, що у 2020 р. Wartsila оголосила про партнерство з ABB, спрямоване на розширення спектру рішень для автономної доставки [3].

ProMare, американська некомерційна компанія, що займається просуванням розвитку самоврядних судів. Робота компанії з розвитку автономного судноплавства, сприяла появі та подальшому розвитку різних засобів захисту, зокрема автономні навігаційні системи. Наприклад, компанія ProMare у співпраці з IBM запустила проект зі створення незалежного корабля під назвою «The Mayflower». У рамках цієї спільної ініціативи IBM має намір впровадити свій штучний інтелект, автоматизацію, хмарні та периферійні технології, щоб створити більш безпечну та економічно життєздатну заміну кораблям з екіпажем.

DNV GL, зі штаб-квартирою в Норвегії, спеціалізується на наданні технічних рекомендацій та рішень з управління ризиками для енергетичного та морського секторів. У квітні 2022 р. DNV разом із Kongsberg Maritime, Kongsberg Seatex, Bastø Fosen та NTNU представила проєкт SAFEMATE – спільну ініціативу в області технологій морської автономії. Основна мета цього проєкту полягає у доопрацюванні, оцінці надійності та ефективності самонавідних навігаційних систем. В якості відчутного результату цього співробітництва сторони мають намір провести пробний запуск чинного порома Bastø VI, щоб оцінити його характеристики з огляду безпеки та ефективності [3].

Компанія AAB, штаб-квартира якої розташована у Швейцарії, спеціалізується на інноваціях в області енергетики та автоматизації. Увага компанії до розвитку автономного судноплавства проявляється в асортименті розроблених ними рішень. Наприклад, у 2020 р. компанія ініціювала партнерство з Keppel Marine and Deepwater Technology (KMDTech), завдяки чому приступила до спільної розробки технологій для самоврядних судів. Одним з прикладів співпраці в рамках цієї ініціативи стала модернізація 32-метрового портового буксира (порт Сінгапур) з використанням нових цифрових технологій [3].

Не зважаючи на всі зусилля та розробки світових гігантів індустрії в галузі автономного мореплавства, на нашу думку, ще зарано говорити про виключно автономне світове мореплавство та його надійну роботу. Сучасний флот ще багато років буде потребувати висококваліфікованих спеціалістів, повністю замінити яких штучному інтелекту буде важко [3]. Проте беззаперечним є факт стрімкого розвитку інноваційних технологій у морській галузі, що в перспективі сприятиме збереженню людського життя та навколишнього середовища. За оцінками дослідників, світовий ринок автономних суден приблизно подвоїться з 6,55 млрд. доларів США в 2021 р. до 12,07 млрд. доларів США в 2028 р. Автономні судна сьогодні більше не фантастика; вони справжня частина морського світу, а їх історія – це історія прогресу та командної роботи.

Висновки. У найближчі кілька років автономні судна отримують все більше поширення у комерційному використанні. Водночас буде відбуватися збільшення складності робіт, які зможуть виконувати ці новітні автоматизовані прилади. Щоб переконатися у безпечності, ефективності та відповідності потребам світової морської спільноти автономних суден, підтримується міжнародна співпраця в площині вироблення та встановлення єдиних для всіх стандартів та правил. Великі світові організації, такі як Міжнародна морська організація (ІМО) та Міжнародна асоціація класифікаційних товариств (МАКО), об'єдналися, щоб забезпечити безпеку автономних суден та виробити загальні правила їх використання. Зазначені компанії намагаються виробити єдині уніфіковані нормативні стандарти для всього світового співтовариства, що забезпечить майбутній прогрес у морській сфері.

ЛІТЕРАТУРА

1. Березовська В.В. Розвиток та шляхи вдосконалення автономного судноплавства / Інноваційні підходи до розвитку компетентнісних якостей фахівців в умовах професійного становлення: матеріали VI міжн.наук.-практ.конф. Запоріжжя : АА Тандем, 2022. м. Ізмаїл, 21 квітня 2022 р. Запоріжжя: АА Тандем, 2022. С. 201-210.
2. Visions of the future as Maritime Safety Committee celebrates 100th session [Elektronnyi resurs]. Rezhym dostupu: URL: <https://www.imo.org/en/MediaCentre/PressBriefings/Pages/22-MS-C-100-special-session.aspx>
3. How Autonomous ships are revolutionizing the maritime industry? [Elektronnyi resurs]. Rezhym dostupu: URL: <https://maritime-professionals.com/how-autonomous-ships-are-revolutionizing-the-maritime-industry/>
4. Simon Rainey, Paul Dean «The Law Of Tug and Tow and Offshore Contracts» URL: https://dev.ilaw.com/ilaw/browse_chapters.htm?name=Law+of+Tug+and+Tow+and+Offshore+Contracts&querySector=Maritime+and+Commercial

5. Tom Walters Autonomous ships market size and Regional Forecast, 2023-2030 URL: https://www-fortunebusinessinsights-com.translate.goog/industry-reports/autonomous-ship-market-101797?_x_tr_sl=auto&_x_tr_tl=ru&_x_tr_hl=ru&_x_tr_pto=wapp
6. Jonathan Goulding Autonomous Vessels: Demonstrating Diverse and Dynamic Developments URL: <https://www.lexology.com/library/detail.aspx?g=064c90e6-f3d5-4903-a7d0-d4a58d8e0869>
7. Henry Clack Autonomous ships: Shipping 4.0 URL: <https://www.lexology.com/library/detail.aspx?g=fd950aab-ea57-4b93-b0f6-4aa06470942f>
8. О.О. Лапкін. Проекти розвитку автономного торгового судноплавства Проектний та логістичний менеджмент: нові знання на базі двох методологій. Том 4: збірник наукових праць. – Одеса: Купрієнко СВ, 2020 – С. 100-104.
9. Arsenii Yu. Stakhov MANAGING THE FUNCTIONAL STABILITY OF GLOBAL MARITIME TRADE Managing the Functional Stability of Global Maritime Trade June 2023 Economic journal Odessa polytechnic university 2(24): 100-105.
10. Т. М. Плачкова. Проблеми правового регулювання безпеки автономного судноплавства, *Правова держава*, № 30, 2018, С. 114-118.
11. Autonomous shipping in Europort 2023 [Elektronnyi resurs]. Rezhym dostupu: URL: <https://maritime-professionals.com/autonomous-shipping-to-get-satellite-connectivity-breakthrough/>
12. Shipping can be greener if ... [Elektronnyi resurs]. Rezhym dostupu: URL: <https://maritime-professionals.com/shipping-can-be-greener-if/>
13. Березовська В.В. Історія розвитку та шляхи подолання кібератак та кібербезпека при професійній підготовці майбутніх фахівців морегосподарського комплексу / Сучасні підходи до високоефективного використання засобів транспорту: матеріали XII міжн.наук.-практ.конф. Запоріжжя : АА Тандем, 2021. м. Ізмаїл, 3-4 грудня 2021 р. Запоріжжя: АА Тандем, 2021. С. 325-331.
14. Legal Committee, 108th session (LEG 108), 26-30 July 2021 [Elektronnyi resurs]. Rezhym dostupu: URL: <https://www.imo.org/en/MediaCentre/MeetingSummaries/Pages/LEG-108th-.aspx>
15. Autonomous shipping [Elektronnyi resurs]. Rezhym dostupu: URL: <https://www.imo.org/en/MediaCentre/HotTopics/Pages/Autonomous-shipping.aspx>
16. APM Asia Pacific Maritime 2024 URL: <https://maritime-professionals.com/event/apm-asia-pacific-maritime-2024/>

REFERENCES

1. Berezovska V.V. Rozvytok ta shliahy vdoskonalennya avtonomnogo sudnoplavstva / Innovacijni pidhody do rozvytku kompetentnisnyh yakostej fahivciv v umovah profesijnogo stanovlennya: materialy VI mizhn.nauk.-prakt.konf. Zaporizhzhya : AA Tandem, 2022. m. Izmail, April 21, 2022. Zaporizhzhya: AA Tandem, 2022. С. 201-210.
2. Visions of the future as Maritime Safety Committee celebrates 100th session [Electronic resource]. Rezhym dostupu: URL: <https://www.imo.org/en/MediaCentre/PressBriefings/Pages/22-MSC-100-special-session.aspx>
3. How Autonomous ships are revolutionizing the maritime industry? [Electronic resource]. Rezhym dostupu: URL: <https://maritime-professionals.com/how-autonomous-ships-are-revolutionizing-the-maritime-industry/>
4. Simon Rainey, Paul Dean "The Law Of Tug and Tow and Offshore Contracts" URL: https://dev.i-law.com/ilaw/browse_chapters.htm?name=Law+of+Tug+and+Tow+and+Offshore+Contracts&querySector=Maritime+and+Commercial
5. Tom Walters Autonomous ships market size and Regional Forecast, 2023-2030 URL: https://www-fortunebusinessinsights-com.translate.goog/industry-reports/autonomous-ship-market-101797?_x_tr_sl=auto&_x_tr_tl=ru&_x_tr_hl=ru&_x_tr_pto=wapp
6. Jonathan Goulding Autonomous Vessels: Demonstrating Diverse and Dynamic Developments URL: <https://www.lexology.com/library/detail.aspx?g=064c90e6-f3d5-4903-a7d0-d4a58d8e0869>

7. Henry Clack Autonomous ships: Shipping 4.0 URL: <https://www.lexology.com/library/detail.aspx?g=fd950aab-ea57-4b93-b0f6-4aa06470942f>
8. O.O. Lapkin DEVELOPMENT PROJECTS OF AUTONOMOUS MERCHANT SHIPPING Project and logistics management: new knowledge based on two methodologies. Volume 4: collection of scientific papers. – Odesa: KUPRIENKO SV, 2020 – pp. 100-104.
9. Arsenii Yu. Stakhov MANAGING THE FUNCTIONAL STABILITY OF GLOBAL MARITIME TRADE Managing the Functional Stability of Global Maritime Trade June 2023 Economic journal Odessa polytechnic university 2(24): 100-105.
10. T. M. Plachkova PROBLEMS OF LEGAL REGULATION OF THE SAFETY OF AUTONOMOUS SHIPPING, Legal State, No. 30, 2018, pp. 114-118.
11. Autonomous shipping in Europort 2023 [Electronic resource]. Rezhym dostupu: URL: <https://maritime-professionals.com/autonomous-shipping-to-get-satellite-connectivity-breakthrough/>
12. Shipping can be greener if ... [Elektronnyi resurs]. Rezhym dostupu: URL: <https://maritime-professionals.com/shipping-can-be-greener-if/>
13. Berezovska V.V. Istoriya rozvitku ta shlyahi podolannya kiberatak ta kiberbezpeka pri profesijnij pidgotovci majbutnih fahivciv moregospodars'kogo kompleksu / Suchasni pidhodi do visokoeftivnogo vikoristannya zasobiv transportu: materiali XII Mizhn.nauk.-prakt.konf. Zaporizhzhya : AA Tandem, 2021. m. Izmail, 3-4 grudnya 2021 r. Zaporizhzhya: AA Tandem, 2021. C. 325-331.
14. Legal Committee, 108th session (LEG 108), 26-30 July 2021 [Elektronnyi resurs]. Rezhym dostupu: URL: <https://www.imo.org/en/MediaCentre/MeetingSummaries/Pages/LEG-108th.aspx>
15. Autonomous shipping [Elektronnyi resurs]. Rezhym dostupu: URL: <https://www.imo.org/en/MediaCentre/HotTopics/Pages/Autonomous-shipping.aspx>
16. APM Asia Pacific Maritime 2024 URL: <https://maritime-professionals.com/event/apm-asia-pacific-maritime-2024/>

Berezovska V.V.

AUTONOMOUS SHIPPING OF THE MARITIME INDUSTRY: NORMATIVE COMPONENT

The article is devoted to the formation of a unified regulatory framework in the field of autonomous shipping in the maritime industry at the 21st century. The importance of posing this problem is due to the needs of the modern world economic, political and social components, where participants could freely interact and cooperate in a single maritime space on equal regulatory bases in the field of autonomous shipping. Based on the analysis of information and materials from specialized sources, the peculiarities of technological innovations in the maritime industry, the active implementation of autonomous shipping by global companies, the creation of a regulatory framework and its active integration into a single unified global regulatory framework were analyzed. In addition, the issues of safety and security of autonomous shipping, the issue of its impact on the environment were considered; simplification of international trade procedures; the potential costs to the industry and their impact on maritime personnel both on board and ashore. The need to create a single worldwide unified regulatory framework for autonomous shipping, with the mandatory involvement of specialists from different countries interested in the further development of the industry, is emphasized. The steps taken by the International Maritime Organization (IMO) to prepare the International Code of Maritime Autonomous Surface Vessels are analyzed in detail. Completion of work on the document is planned by the end of 2025, and already in 2028, the document will become mandatory for the world community.

Key words: International Maritime Organization (IMO), maritime experts, maritime autonomous surface ships (MASS), Maritime Safety Committee (MSC), information technologies, regulatory framework, technological innovations.

Сазін С.В., Куропятник О.А.

ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНИХ РЕЖИМІВ ПРОЦЕСІВ УПРАВЛІННЯ ВИПУСКНИМИ ГАЗАМИ СУДНОВИХ ДИЗЕЛІВ

Розглянута система рециркуляції випускних газів суднового дизеля, використання якої забезпечує зниження концентрації оксидів азоту у випускних газах. Висвітлені особливості систем рециркуляції випускних газів високого та низького тиску, а також система перепуску випускних газів. Метою дослідження було визначення оптимальних режимів експлуатації суднових систем управління випускними газами. При цьому як критерії оптимальності приймалися сукупність двох факторів – максимальне зменшення емісії оксидів азоту (як одного з основних джерел забруднення довкілля) та мінімально підвищення питомої витрати палива (як головного економічного показника роботи суднових дизелів).

Експериментальні дослідження, що виконувались на судновому дизелі 16V32 фірми Wartsila-Sulzer, система рециркуляції якого дозволяла варіювати ступінь рециркуляції випускних газів у діапазоні 0...21 %, визначили що: підвищення ступеню рециркуляції випускних газів сприяє підвищенню екологічності роботи суднових дизелів, що виражається в зниженні емісії оксидів азоту до 28,25...29,83 % в порівнянні з роботою дизеля без використання системи рециркуляції газів; з підвищенням ступеню рециркуляції випускних газів погіршується економічність роботи суднових дизелів, що виражається в збільшенні питомої витрати палива, при цьому на деяких експлуатаційних режимах та деякого ступеню перепуску збільшення питомої витрати палива досягає 11,00...12,30 % в порівнянні з роботою дизеля без використання системи рециркуляції газів. Як оптимальні запропоновані режими експлуатації системи рециркуляції випускних газів що відповідають 12...15 % ступеню рециркуляції випускних газів, які забезпечують зниження емісії оксидів азоту в діапазоні 16,6...26,6 % при цьому підвищення питомої витрати палива знаходиться в діапазоні 2,17...4,81 %.

Ключові слова: екологічність роботи дизеля, економічність роботи дизеля, емісія оксидів азоту, морський транспорт, перепуск випускних газів, питома витрата палива, рециркуляція випускних газів, судновий дизель.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями. Експлуатація суден морського транспорту завжди пов'язана з виникненням різноманітних дилем:

- зменшення часу транспортування вантажів (яке досягається шляхом збільшення швидкості судна) з одночасним зменшенням витрати палива (яка, на жаль, підвищується сама через збільшення швидкості судна) [1-3];
- збільшення потужності головної енергетичної установки (що можливо лише завдяки підвищенню циклової подачі палива) з одночасним зменшенням шкідливих викидів в довкілля (кількість яких стає більшою саме через підвищення циклової подачі палива) [4-6];
- підвищення комфортних умов роботи та відпочинку суднового екіпажу (що досягається через додаткову потужність допоміжної енергетичної установки через витрачання палива для забезпечення функціонування систем кондиціонування, охолодження та освітлення) з одночасним скороченням викидів вуглецю (об'ємна та масова частина яких пропорційно збільшується разом з збільшенням потужності суднових електричних генераторів) [7-9].

Стабілізація в необхідних межах або зниження значень практично всіх екологічних показників суднових двигунів внутрішнього згорання (емісії оксидів вуглецю, сірки та азоту, а також незгорілих вуглеводнів, сажі і диму) пов'язана:

- або з конструкційними змінами двигунів і систем, що забезпечують їх функціонування [10, 11];
- або з використанням більш дорогих (на сьогоднішній момент) джерел енергії (наприклад, водню, природного газу, палива з низьким вмістом сірки) [12, 13];
- або з застосуванням технологій сонячної та вітрової енергетики [14, 15].

Названі способи вимагають не тільки попередньої розробки та експериментального визначення оптимальних режимів, але також додаткових фінансових вкладень на їх впровадження, експлуатацію та обслуговування.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Одним із способів підтримання екологічних показників роботи суден морського транспорту та судових двигунів внутрішнього згоряння (ДВЗ) є управління випускними газами, які в більшій кількості потрапляють в атмосферу [16-18]. Управління випускними газами ДВЗ здійснюється їх рециркуляцією (Exhaust gas recirculation – EGR) або їх перепуском / скиданням – (Exhaust gas wastergate – EGW) [19-21]. Системи EGR передбачають повернення частити випускних газів, що рухаються від випускного колектора в бік газового турбоагнітача (ГТН) назад в циліндр дизеля. При цьому можливі два варіанти системи – високого тиску (High pressure EGR – HP-EGR) – в разі, коли до циліндра повертається частина газів, яка ще не потрапила до ГТН; та низького тиску (Low pressure EGR – LP-EGR) – в разі, коли до циліндра повертається частина газів, вже після ГТН. Системи EGW передбачають перепуск / скидання газів, що рухаються в бік ГТН, безпосередньо в випускную трубу. Основне призначення систем EGW – попередження надмірної частоти обертання ротору ГТН у випадку раптового підвищення потужності дизеля та, відповідно, раптового збільшення кількості випускних газів. При цьому системи EGW можуть бути використані як додатковий спосіб підтримання екологічності роботи ДВЗ [22, 23].

Підвищення екологічності роботи ДВЗ суден морського транспорту неможливе без збільшення витрати палива, віднесеного як до часу роботи дизеля (тобто годинної – B_r , кг/год) також і до його потужності тобто (питомої – b_e , кг/кВт-год) або до пройденої судном відстані (тобто на миль плавання – B_m , кг/миля) [24, 25].

Також необхідно визначити, що експлуатація пропульсивних комплексів суден морського транспорту може чимало часу, а іноді й постійно, відбуватися в особливих екологічних районах (на внутрішніх водних шляхах, на рейдах та території річкових / морських портів, у прибережних акваторіях) [26, 27]. Екологічні характеристики судових дизелів в таких районах додатково обмежуються вимогами Міжнародних та національних конвенції та контролюються з боку берегових наглядових організацій.

Аналогічна дилема виникає також під час підвищення екологічності роботи суден морського транспорту за рахунок використання системи керування випускними газами – HP-EGR, LP-EGR, EGW. Всі три системи забезпечують зниження емісії оксидів азоту, але при цьому неминуче підвищується питома витрата палива та знижується ефективна потужність дизеля.

Різноманіття експлуатаційних режимів роботи дизеля, особливі вимоги до судового пропульсивного комплексу залежно від районів його експлуатації, необхідність виконання комерційних завдань із транспортування вантажу або перевезення пасажирів зумовлює адаптивне керування способами, що забезпечують екологічні показники роботи ДВЗ морського транспорту. Для комплексної системи керування випускними газами, принципова схема якої показана на рис. 1, під поняттям «адаптивне керування» мається на увазі комбінація систем рециркуляції випускних газів (що здійснюється за принципом HP-EGR або LP-EGR) і системи перепуску газів – EGW.

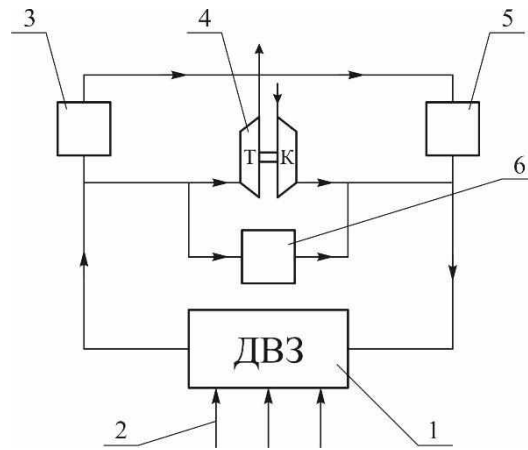


Рисунок 1 – Принципова схема комплексної системи керування випускними газами:
1 – ДВЗ; 2 – підвід робочих рідин; 3 – система EWG; 4 – ГТН; 5 – система LP-EGR;
6 – система HP-EGR

Формулювання цілей статті. Викладене зумовлює мету досліджень – визначення оптимальних режимів експлуатації суднових систем управління випускними газами. При цьому як критерії оптимальності приймалися сукупність двох факторів – максимальне зменшення емісії оксидів азоту (як одного з основних джерел забруднення довкілля) та мінімально підвищення питомої витрати палива (як головного економічного показника роботи ДВЗ).

Виклад основного матеріалу. Експерименти по визначенню оптимальних експлуатаційних режимів системи управління випускними газами (а саме системами LP-EGR та EWG) виконувались на судновому дизелі 16V32 фірми Wartsila-Sulzer, що був встановлено на спеціалізованому морському судні дедвейтом 60800 тонн з забезпечення технологічних операцій з видобутку нафти (рис. 2).



Рисунок 2 – Спеціалізоване морське судно дедвейтом 60800 тонн

Особливістю експлуатації дизелів 16V32 фірми Wartsila-Sulzer у складі СЕУ зазначеного морського судна є великий експлуатаційний період роботи на часткових режимах – у діапазоні потужностей $N_{\text{реж}} = (0,50 \dots 0,80) N_{\text{ном}}$. Дані дизелі були обладнані системою рециркуляції газів низького тиску (LP-EGR), у якій гази після газової турбіни ГТН повертаються в продувний ресивер дизеля через охолоджувач наддувного повітря, а також системою перепуску випускних газів – EWG. Схема газоповітряної системи дизеля 16V32 фірми Wartsila-Sulzer з системами рециркуляції газів низького тиску та перепуску випускних газів наведена на рис. 3.

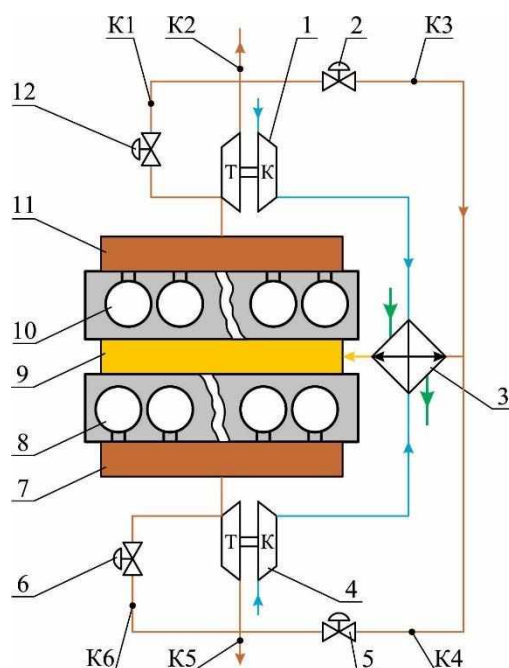


Рисунок 3 – Схема газоповітряної системи дизеля 16V32 фірми Wartsila-Sulzer:

1, 4 – ГТН; 2, 5 – керуючий клапан системи рециркуляції газів ; 3 – охолоджувач наддувного повітря; 6, 12 – керуючий клапан системи перепуску газів; 7, 11 – випускний колектор; 9, 10 – робочі циліндри; 9 – ресивер наддувного повітря; K1, K2, K3, K4, K5, K6 – точки контролю показників газоповітряної системи

V-подібна конструкція дизеля передбачає двостороннє розташування рядів циліндрів 8 та 10, продувне повітря до яких надходить із загального ресивера 9. Нагнітання повітря здійснюється компресорами ГТН 1 та 4, а його охолодження – у загальному охолоджувачі 3 до якого подавалася забортна вода. Випускні гази від циліндрів дизеля 8 та 10 надходять до випускних колекторів 7 і 11 та далі до газової турбіни ГТН 1 та 4 (відповідно). Рециркуляція випускних газів до циліндрів дизеля здійснюється за допомогою клапанів 2 та 5, керування якими здійснюється контролером. При цьому частина газів (до 25 %) може повертатися в ресивер наддувного повітря 9 через охолоджувач 3.

Суднові дизелі фірми Wartsila-Sulzer характеризуються високим ступенем наддуву (зі ступенем підвищення тиску повітря після ГТН – до 4,0...4,5), це забезпечує рівномірний розподіл залишкових газів та газів, що надходять на рециркуляцію, за об'ємом продувного ресивера і за робочими циліндрами. Під час проведення експерименту температура повітря, що надходить після охолоджувача 3 в продувний ресивер і далі в циліндри дизеля, підтримувалась в діапазоні 40...45° С з точністю $\pm 1^\circ$ С за рахунок зміни кількості забортної води, що надходить до охолоджувача 3.

Газові потоки після ГТН 1 і 4 об'єднувались в одній газовипускній трубі з подальшим використанням енергії випускних газів в утилізаційному котлі. Це сприяло нівелюванню виникнення можливих відхилень в аеродинамічних опорах між окремими рядами циліндрів і сприяло однаковій цикловій подачі палива на кожен ряд циліндрів.

Контроль витрати випускних газів, що прямували в випускную трубу, забезпечувався за допомогою газового витратоміру в точках K2 та K5. Контроль витрати випускних газів, що спрямовувались на рециркуляцію – в точках K3 та K4. Контроль витрати випускних газів, що спрямовувались на перепуск – в точках K1 та K6.

Система автоматичного регулювання і контролю, що встановлена на дизелі, дозволяла виконувати фіксацію всіх основних показників його, в тому числі ефективної потужності дизеля N_e , кВт.

Паливна апаратура високого тиску дозволяла з точністю до 0,5 % встановити циклову подачу палива $b_{\text{цикл}}$, кг/цикл, (однакову для кожного з циліндрів дизеля), що давало можливість за відомими залежностями [28-30] визначити питому ефективну витрату палива b_e , кг/(кВт·год).

Шляхом регулювання прохідного перетину клапана рециркуляції випускних газів (позиції 2 та 5 на рис. 3) забезпечувалася зміна ступеня рециркуляції системи EGR у діапазоні $\delta_{\text{EGR}}=(0...21)$ %, який розраховувався за виразом

$$\delta_{\text{EGR}} = \frac{G_{\text{EGR}}}{G_{\Sigma}},$$

де G_{EGR} – витрата випускних газів, що прямують на рециркуляцію (визначалася в контрольних точках К3 та К4 для відповідних рядів циліндрів дизеля);

G_{Σ} – загальна витрата випускних газів, що прямують в випускную трубу (визначалася в контрольних точках К2 та К5 за умовою відсутності потоків рециркуляції або перепуску газів).

Значення емісії NO_x у випускних газах контролювалося за допомогою газоаналізатора Testo350XL в випускній трубі на відстані більш ніж 10 м від ГТН, що відповідало вимогам Технічного кодексу з NO_x .

Результати вимірювань і розрахунків, що дозволили визначити величини емісії NO_x з випускними газами і питомої ефективної витрати палива b_e , наведені в таблицях 1 і 2.

Таблиця 1 – Емісія NO_x , $\text{гNO}_x/(\text{кВт}\cdot\text{год})$ суднового дизеля 16V32 фірми Wartsila-Sulzer при різних навантаженнях та ступені рециркуляції газів

Навантаження на дизель, %	Ступінь рециркуляції газів δ_{EGR} , %							
	0	3	6	9	12	15	18	21
50	8,28	7,78	7,17	6,72	6,52	6,08	5,86	5,81
60	8,58	8,18	7,53	6,98	6,83	6,43	6,13	6,04
70	8,74	8,41	7,84	7,49	7,21	6,62	6,31	6,24
80	8,92	8,67	8,28	7,66	7,44	6,82	6,56	6,40

Таблиця 2 – Питомі ефективна витрата палива b_e , $\text{г}/(\text{кВт}\cdot\text{год})$ суднового дизеля 16V32 фірми Wartsila-Sulzer при різних навантаженнях та ступені рециркуляції газів

Навантаження на дизель, %	Ступінь рециркуляції газів δ_{EGR} , %							
	0	3	6	9	12	15	18	21
50	195	197,5	200	202	205	208	213	219
60	191	193	195	197	200	203	207	212
70	187	188,5	190	192	194	196	199	203
80	184	185	186	187	188	189	192	196

За результатами експериментів, наведених у таблицях 1, 2, побудовані залежності емісії оксидів азоту $\text{NO}_x=f(\delta_{\text{EGR}})$ і питомої ефективної витрати палива $b_e=f(\delta_{\text{EGR}})$, що показані на рис. 4, 5.

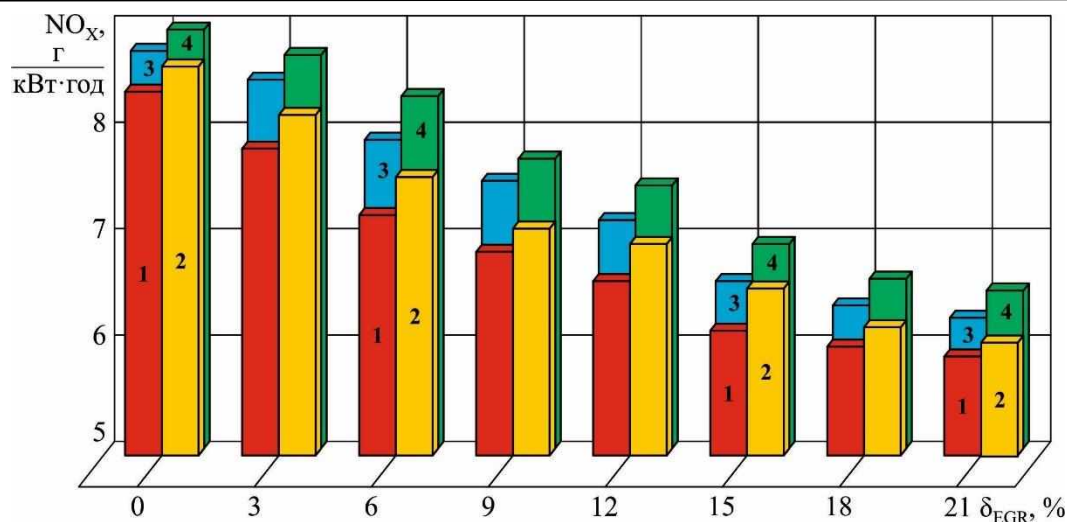


Рисунок – 4. Вплив ступеня рециркуляції випускних газів δ_{EGR} на емісію NO_x під час різних навантажень суднового дизеля 16V32 фірми Wartsila-Sulzer:

1 – $0,5N_{ном}$; 2 – $0,6N_{ном}$; 3 – $0,7N_{ном}$; 4 – $0,8N_{ном}$

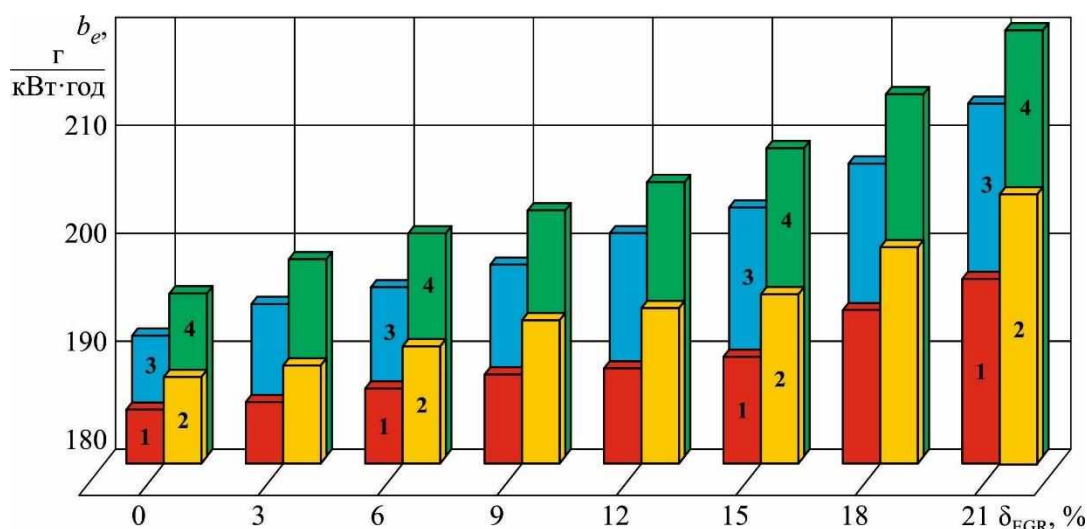


Рисунок 5 – Вплив ступеня рециркуляції випускних газів δ_{EGR} на питому ефективну витрату палива b_e під час різних навантажень суднового дизеля 16V32 Wartsila-Sulzer:

1 – $0,5N_{ном}$; 2 – $0,6N_{ном}$; 3 – $0,7N_{ном}$; 4 – $0,8N_{ном}$

Ефективність використання системи EGR щодо зменшення викидів оксиду азоту з випускними газами на різних режимах її експлуатації (тобто під час різного ступеня рециркуляції випускних газів δ_{EGR}) оцінювалась за виразом

$$\Delta NO_x = \frac{NO_x^0 - NO_x^{EGR}}{NO_x^0} \cdot 100\%,$$

де ΔNO_x – відносне зменшення емісії оксидів азоту, %

NO_x^0 , NO_x^{EGR} – відповідно, концентрація оксидів азоту у випускних газах без використання та під час використання системи EGR з різним значенням ступеня рециркуляції випускних газів δ_{EGR} , кг/(кВт·год).

Величина ΔNO_x також характеризує екологічність роботи суден морського транспорту на різних експлуатаційних режимах. Її збільшення свідчить про зниження емісії оксидів азоту та про покращення екологічності роботи судна.

Зниження економічності роботи ДВЗ під час використання системи EGR оцінювалось через відносне збільшення питомої ефективної витрати палива, яке визначалося за виразом

$$\Delta b_e = \frac{b_e^0 - b_e^{EGR}}{b_e^0} \cdot 100\%,$$

де Δb_e – відносне збільшення питомої витрати палива на відповідному режимі роботи дизеля та під час відповідного ступеню рециркуляції випускних газів δ_{EGR} , %;

b_e^0 , b_e^{EGR} – відповідно, питома ефективна витрата палива без використання та під час використання системи EGR з різним значенням ступеню рециркуляції випускних газів δ_{EGR} , кг/(кВт·год) [31-33].

Значення ΔNO_x і Δb_e для різних δ_{EGR} на різних навантаженнях суднового дизеля 16V32 фірми Wartsila-Sulzer наведено в таблицях 3 та 4.

Таблиця 3 – Екологічна ефективність суднового дизеля 16V32 фірми Wartsila-Sulzer під час використання системи EGR

Навантаження на дизель, %	Ступінь рециркуляції газів δ_{EGR} , %						
	3	6	9	12	15	18	21
50	6,04	13,41	18,84	21,26	26,57	29,23	29,83
60	4,66	12,24	18,65	20,40	25,06	28,55	29,60
70	3,78	10,30	14,30	17,51	24,26	27,80	28,60
80	2,80	7,175	14,13	16,59	23,54	26,46	28,25

Таблиця 4 – Паливна економічність суднового дизеля 16V32 фірми Wartsila-Sulzer під час використання системи EGR

Навантаження на дизель, %	Ступінь рециркуляції газів δ_{EGR} , %						
	3	6	9	12	15	18	21
50	1,30	2,56	3,59	5,13	6,67	9,23	12,30
60	1,00	2,09	3,14	4,71	6,28	8,38	11,00
70	0,80	1,60	2,67	3,74	4,81	6,42	8,56
80	0,50	1,09	1,63	2,17	2,72	4,35	6,52

За результатами таблиць 3, 4 побудовані діаграми, що відображають зміну екологічності та економічності роботи суднового дизеля 16V32 фірми Wartsila-Sulzer під час використання системи EGR з різним ступенем рециркуляції – рис. 6, 7.

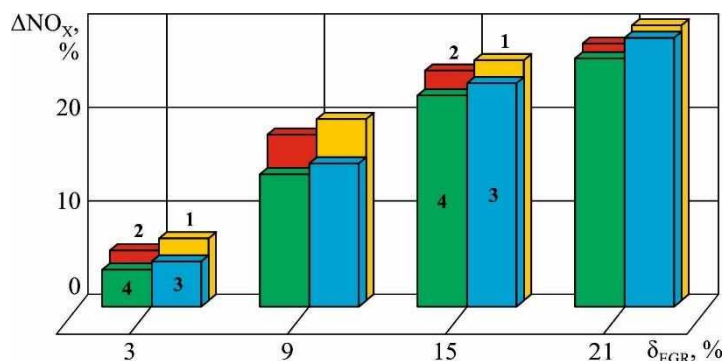


Рисунок 6 – Зміна екологічності роботи суднового дизеля 16V32 фірми Wartsila-Sulzer

під час використання системи EGR з різним ступенем рециркуляції:

1 – $\delta_{EGR}=21\%$; 2 – $\delta_{EGR}=15\%$; 3 – $\delta_{EGR}=9\%$; 4 – $\delta_{EGR}=3\%$

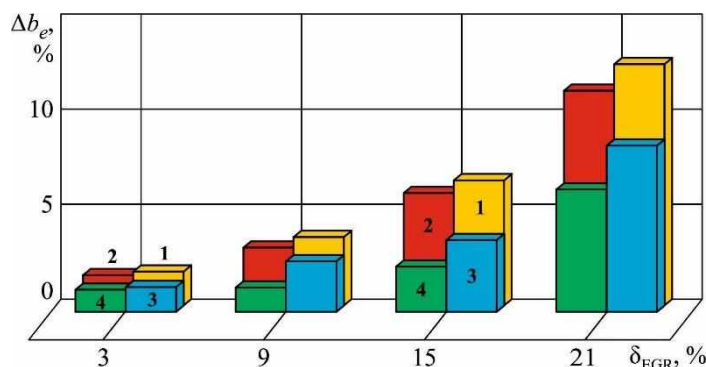


Рисунок 6 – Зміна економічності роботи суднового дизеля 16V32 фірми Wartsila-Sulzer під час використання системи EGR з різним ступенем рециркуляції:

1 – $\delta_{EGR}=21\%$; 2 – $\delta_{EGR}=15\%$; 3 – $\delta_{EGR}=9\%$; 4 – $\delta_{EGR}=3\%$

Висновки. Експлуатація суден морського транспорту нерозривно пов'язана з забезпеченням екологічних показників роботи суднових дизелів, зокрема щодо викидів оксидів азоту. Одним із способів, що спрямовані на зниження емісії оксидів азоту, є управління випускними газами суднових дизелів, які поділяється на системи рециркуляції високого та низького тиску, а також системи перепуску. Експериментальні дослідження, що виконувались на судновому дизелі 16V32 фірми Wartsila-Sulzer, система рециркуляції якого дозволяла варіювати ступінь рециркуляції випускних газів у діапазоні 0...21 %, визначили наступне:

- підвищення ступеню рециркуляції випускних газів (тобто збільшення кількості випускних газів, що повертаються до циліндрів дизеля після газового турбонагнітача) сприяє підвищенню екологічності роботи суднових дизелів, що виражається в зниженні емісії оксидів азоту – для передбаченого конструкцією дизеля діапазону ступеню рециркуляції 0...21 % концентрація оксидів азоту в випускних газах змінюється в діапазоні 8,28...5,81 г/(кВт·год) – для навантаження 50 % від номінального, 8,58...6,04 г/(кВт·год) – для навантаження 60 % від номінального, 8,73...6,24 г/(кВт·год) – для навантаження 70 % від номінального, 8,92...6,40 г/(кВт·год) – для навантаження 80 % від номінального;

- у відносному відношенні зміна цих показників складає 6,04...29,83 % – для навантаження 50 %, 4,66...29,60 % – для навантаження 60 %, 3,78...28,60 % – для навантаження 70 %, 2,80...28,25 % – для навантаження 80 % від номінального;

- з підвищенням ступеню рециркуляції випускних газів погіршується економічність роботи суднових дизелів, що виражається в збільшенні питомої витрати палива – під час зміни ступеню рециркуляції випускних газів в діапазоні 0...21 % питома витрата палива змінюється в діапазоні 195...219 г/(кВт·год) – для навантаження 50 % від номінального, 191...212 г/(кВт·год) – для навантаження 60 % від номінального, 187...203 г/(кВт·год) – для навантаження 70 % від номінального, 184...196 г/(кВт·год) – для навантаження 80 % від номінального;

- у відносному відношенні зміна цих показників складає 1,30...12,30 % – для навантаження 50 %, 1,00...11,00 % – для навантаження 60 %, 0,80...8,56 % – для навантаження 70 %, 0,50...6,52 % – для навантаження 80 % від номінального;

- визначення оптимальних режимів процесів управління випускними газами суднових дизелів необхідно виконувати з врахуванням як екологічного (зниження емісії оксидів азоту) також й економічного (збільшення питомої витрати палива) критеріїв; з погляду на це, як оптимальні режими управління випускними газами запропоновані такі, що відповідають 12...15 % ступеню рециркуляції випускних газів, які забезпечують зниження емісії оксидів азоту в діапазоні 16,6...26,6 % (що відноситься до одних з найбільших показників) при цьому

підвищення питомої витрати палива знаходиться в діапазоні 2,17...4,81 % (для навантаження 70.80 % від номінального – найбільш розповсюдженого зі всіх експлуатаційних режимів дизеля) та 4,71...6,67 % (для навантаження 50.60 % від номінального).

ЛІТЕРАТУРА

1. Дакі О.А., Пліта Л.Л., Трофименко І.В., Федунів В.М. Особливості та вимоги щодо навігаційного забезпечення безпеки судноводіння на внутрішніх судноплавних шляхах // Водний транспорт. Збірник наукових праць. – 2022. – Вип. 2(36). – С. 184-194. doi.org/10.33298/2226-8553.2022.2.36.15.
2. Левченко О.В. Синтез варіантів дій судноводія у небезпечних ситуаціях з урахуванням часових та ресурсних обмежень у судових СППР. // Водний транспорт: Збірник наукових праць. – 2021. – Вип. 3(34). – С. 89-98. doi.org/10.33298/2226-8553/2021.3.34.10.
3. Burmaka I., Vorokhobin I., Melnyk O., Burmaka O., Sagin S. Method of Prompt Evasive Manuever Selection to Alter Ship's Course or Speed // Transactions on Maritime Science. – 2022. – Vol. 11(1). – P. 1-9. https://doi.org/10.7225/toms.v11.n01.w01.
4. Тимошук О.М., Боріна М.В. Дослідження методів підвищення екологічності судових енергетичних установок у водному середовищі // Водний транспорт. Збірник наукових праць. – 2022. – Вип. 2(36). – С. 240-252. doi.org/10.33298/2226-8553.2022.2.36.21.
5. Головань А.І. Концептуальна модель планування та оптимізації графіків технічного обслуговування вантажних суден. // Водний транспорт. Збірник наукових праць. – 2023. – Вип. 1(37). – С. 107-115. doi.org/10.33298/2226-8553.2023.1.37.12.
6. Тимошук О.М., Дакі О.А., Бойко О.А., Карадобрий Т.А. Аналітичний огляд адаптивних систем керування судном та шляхи їх побудови // Водний транспорт. Збірник наукових праць. – 2020. – Вип. 3(31). – С. 120-125. https://doi.org/10.33298/2226-8553/2020.3.31.13.
7. Тимошук О.М., Мельник О.В. Аналіз можливості використання маневру розходження зміною курсу // Водний транспорт. Збірник наукових праць. – 2023. – Вип. 1(37). – С. 96-102. doi.org/10.33298/2226-8553.2023.1.37.10.
8. Гончарук І.П., Никифоров Ю.О., Кошарська Л.В., Головань А.І. Особливості впливу відновлюваної енергетики на ефективність і екологічність морського транспорту. // Водний транспорт. Збірник наукових праць. – 2023. – Вип. 2(38). – С. 73-80. doi.org/10.33298/2226-8553.2023.2.38.08.
9. Sagin S.V., Sagin S.S., Madey V. Analysis of methods of managing the environmental safety of the navigation passage of ships of maritime transport // Technology Audit and Production Reserves. – 2023. – № 4 (3(72)). – P. 33–42. doi: https://doi.org/10.15587/2706-5448.2023.286039.
10. Сагин С.В. Определение диапазона стратификации вязкости смазочного материала в трибологических системах судовых дизелей // Вісник Одеськ. нац. мор. ун-ту. – 2019. – Вип. 1(58). – С. 89-101.
11. Поповский А.Ю., Сагин С.В. Оценка эксплуатационных свойств смазочно-охлаждающих жидкостей судовых технических средств // Автоматизация судовых технических средств: науч.-техн. сборник. – 2016. – Вып. 22. – С. 66-74.
12. Sagin S.V. Determination of the optimal recovery time of the rheological characteristics of marine diesel engine lubricating oils // Materials of the International Conference “Process Management and Scientific Developments” (Birmingham, United Kingdom, January 16, 2020. Part 4). – P. 195-202. DOI. 10.34660/INF.2020.4.52991.
13. Sagin S.V., Sagin S.S., Fomin O., Gaichenia O., Zablotskyi Y., Pí'st'ek V., Kučera P. Use of biofuels in marine diesel engines for sustainable and safe maritime transport // Renewable Energy. – 2024. – Vol. 224. – P. 120221. https://doi.org/10.1016/j.renene.2024.120221.
13. Дакі О.А., Якусевич Ю.Г., Тришин В.В., Дороф'єєва З.Я. Розроблення пропозицій щодо декомпозиції судової холодильної установки та математичної моделі компресора. // Водний

- транспорт. Збірник наукових праць. – 2023. – Вип. 1(37). – С. 194-200. doi.org/10.33298/2226-8553.2023.1.37.22.
14. Sagin S., Kuropyatnyk O., Sagin A., Tkachenko I., Fomin O., Píšťek V., Kučera P. Ensuring the Environmental Friendliness of Drillships during Their Operation in Special Ecological Regions of Northern Europe. *J. Mar. Sci. Eng.* 2022, 10(9), 1331. <https://doi.org/10.3390/jmse10091331>.
15. Сагін С.В., Сагін С.С. Використання штучного інтелекту в ситуаціях надмірного зближення суден // Водний транспорт. Збірник наукових праць. – 2024. – Вип. 1(39). – С. 215-225. doi.org/10.33298/2226-8553.2024.1.39.22.
16. 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.
17. Sagin S.V., Kuropyatnyk O.A., Zablotskyi Yu.V. Gaichenia O.V. Supplying of Marine Diesel Engine Ecological Parameters // *Nase More : International Journal of Maritime Science & Technology*. – 2022.– Vol.69. – Iss.1. – P. 53-61. DOI 10.17818/NM/2022/1.7.
18. Куропятник А. А., Сагин С.В. Управление выпускными газами судовых дизелей для обеспечения экологических показателей // Автоматизация судовых технических средств : науч.-техн. сборник, 2018. – Вып. 24. – С. 72-80.
19. Сагін С.В., Сагін С.С. Визначення методу управління рухом суден морського транспорту під час забезпечення їх безпечного розходження // Водний транспорт. Збірник наукових праць. – 2023. – Вип. 2(38). – С. 187-198. doi.org/10.33298/2226-8553/2023.2.38.20.
20. Sagin S.V., Karianskyi S., Sagin S.S., Volkov O., Zablotskyi Y., Fomin O., Píšťek V., Kučera P. Ensuring the safety of maritime transportation of drilling fluids by platform supply-class vessel // *Applied Ocean Research*, 2023. – Vol. 140. 103745. <https://doi.org/10.1016/j.apor.2023.103745>.
21. Vorokhobin I. Determination of the Law of Probability Distribution of Navigation Measurements / I. Vorokhobin, A. Golikov, O. Haichenia, V. Sikirin, V. Severin / Kaunas, Lithuania, 2020. – P. 707-710.
22. Дакі О.А., Якусевич Ю.Г., Колесник В.В., Тришин В.В. Методика обґрунтування моделі для аналізу роботи двоступінчастої суднової холодильної установки в нестационарних режимах. // Водний транспорт – 2023. – Вип. 1(37). – С. 188-193. doi.org/10.33298/2226-8553.2023.1.37.21.
23. Сагин С.В., Заблочкий Ю.В., Перунов Р.В. Технология использования и результаты испытаний присадок к топливам для судовых дизелей // Проблемы техники: наук.-виробн. журнал. – 2012. – № 3. – Одесса: ОНМУ. – С. 84-103.
24. Богом'я В.І. Метод розпізнавання підводних об'єктів за допомогою багатопроменевого сонара для забезпечення безпеки безпілотного підводного апарату. // Водний транспорт. Збірник наукових праць. – 2023. – Вип. 2(38). – С. 96-102. doi.org/10.33298/2226-8553.2023.2.38.10.
25. Дакі О.А., Якусевич Ю.Г., Ліганенко В.В., Тришин В.В. Модель системи кондиціонування та охолодження повітря на сучасних нафтоналивних судах і газовозах. // Водний транспорт: Збірник наукових праць. – 2022. – Вип. 1(35). – С. 121-127. doi.org/10.33298/2226-8553.2022.1.35.15.
26. Sagin S., Madey V., Sagin, A., Stoliaryk T., Fomin O., Kučera P. Ensuring Reliable and Safe Operation of Trunk Diesel Engines of Marine Transport Vessels. *J. Mar. Sci. Eng.* 2022, 10(10), 1373. <https://doi.org/10.3390/jmse10101373>.
27. Поповський А.Ю., Сагин С.В. Комплексная оценка эксплуатационных характеристик смазочных углеводородных жидкостей // Автоматизация судовых технических средств : науч.-техн. сборник. – 2014. – Вып. 20. – С. 74-83.
28. Сагин 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.
29. Сагін С.В. Зниження енергетичних втрат в прецизійних парах паливної апаратури суднових дизелів // Суднові енергетичні установки : наук.-техн. зб. – 2018. – Вип. 38. – С. 132-142.

30. Мацкевич Д.В., Сагин С.В., Ханмамедов С.А. Изменение реологических характеристик смазочных материалов в циркуляционной масляной системе в процессе эксплуатации среднеоборотного двигателя // Судовые энергетические установки : науч.-техн. сб. – 2010. – Вып. 25. – С.109-118.
31. Сагин С.В. Зниження енергетичних втрат в прецизійних парах паливної апаратури суднових дизелів // Суднові енергетичні установки : наук.-техн. зб. – 2018. – Вип. 38. – С. 132-142.
32. Рибальченко М.Є., Білоусов Є.В. Використання числових профілів робочого процесу для аналізу ефективності роботи суднового малооборотного двигуна в умовах сучасної тенденції щодо зниження експлуатаційної швидкості суден. // Водний транспорт: Збірник наукових праць. – 2022. – Вип. 2(36). – С. 1-13. doi.org/10.33298/2226-8553.2022.2.36.06.
33. Sagin S., Sagin A. Development of method for managing risk factors for emergency situations when using low-sulfur content fuel in marine diesel engines // Technology Audit and Production Reserves. – 2023. – № 5 (1(73)). – P. 37–43. doi: <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2023.290198>.

REFERENCES

1. Daki O.A., Plita L.L., Trofymenko I.V., Fedunov V.M. Feature and requirements for navigational safety of navigation on inland waterways // Water transport. – 2022. – № 2(36). – P. 184-194. doi.org/10.33298/2226-8553.2022.2.36.15.
2. Levchenko O. Synthesis of vessels' options in dangerous situations taking into account time and resource restrictions in vessel DSS. // Water transport. – 2021. – № 3(34). – P. 89-98. doi.org/10.33298/2226-8553/2021.3.34.10.
3. Burmaka I., Vorokhobin I., Melnyk O., Burmaka O., Sagin S. Method of Prompt Evasive Manuever Selection to Alter Ship's Course or Speed // Transactions on Maritime Science. – 2022. – Vol. 11(1). – P. 1-9. <https://doi.org/10.7225/toms.v11.n01.w01>.
4. Tymoshchuk O., Borina M. Research of methods of enhancing the environmental facility of ship power plants in the aquatic environment // Water transport. – 2022. – № 2(36). – P. 240-252. doi.org/10.33298/2226-8553.2022.2.36.21.
5. Golovan A.I. Conceptual model of planning and optimization of cargo vessel maintenance schedules. // Water transport. – 2023. – № 1(37). – P. 107-115. doi.org/10.33298/2226-8553.2023.1.37.12.
6. Honcharuk I.P., Nykyforov Yu.O., Kosharska L.B., Golovan A.I. Features of the influence of renewable energy on the efficiency and environmental safety of maritime transport. // Water transport. – 2023. – № 2(38). – P. 73-80. doi.org/10.33298/2226-8553.2023.2.38.08.
7. Tymoshchuk O., Daki O., Boyko O., Karadobriy T. Analytical Inspection of adaptive vessel control systems and ways of their construction // Water Transport: Collection of scientific works. – 2020. – № 3(31). – P. 120-125. doi.org/10.33298/2226-8553/2020.3.31.13.
8. Sagin S.S., Sagin S.V., Use of artificial intelligence in the situations of excessive vessel // Water transport. – 2024. – № 1(39). – P. 215-225. doi.org/10.33298/2226-8553.2024.1.39.22.
9. Sagin S.V., Sagin S.S., Madey V. Analysis of methods of managing the environmental safety of the navigation passage of ships of maritime transport // Technology Audit and Production Reserves. – 2023. – № 4 (3(72)). – P. 33–42. doi: <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2023.286039>.
10. Sagin S.V. Increasing the reliability of precision pairs of marine diesel fuel equipment through the use of organic coatings // Herald of the Odessa National Maritime University. – 2018. – Vol. 4(57). – P. 109-120.
11. Sagin S.V. Determination of the range of lubricant viscosity stratification in tribological systems of marine diesel engines // Herald of the Odessa National Maritime University. – 2019. – Vol. 1(58). – P. 89-100.
12. Sagin S.V., Zablotsky Yu. V., Perunov R.V. Technology of use and test results of fuel additives for marine diesel engines // Problems of technical. – 2012. – Vol. 3. – P. 84-103.

13. Daki O.A., Yakusevych Yu.H., Tryshyn V.V., Dorofieieva Z.Ia. Development of proposals for the decomposition of the ship refrigeration unit and the compressor mathematical model. // *Water transport*. – 2023. – № 1(37). – P. 194-200. doi.org/10.33298/2226-8553.2023.1.37.22.
14. Sagin S., Kuropyatnyk O., Sagin A., Tkachenko I., Fomin O., Píšťek V., Kučera P. Ensuring the Environmental Friendliness of Drillships during Their Operation in Special Ecological Regions of Northern Europe // *J. Mar. Sci. Eng.* – 2022. – Vol. 10(9). – P. 1331. https://doi.org/10.3390/jmse10091331.
15. Sagin S.V., Sagin S.S., Fomin O., Gaichenia O., Zablotskyi Y., Píšťek V., Kučera P. Use of biofuels in marine diesel engines for sustainable and safe maritime transport // *Renewable Energy*. – 2024. – Vol. 224. – P. 120221. https://doi.org/10.1016/j.renene.2024.120221.
16. Sagin S., Kuropyatnyk O., Tkachenko I. Ensuring the environmental friendliness of marine diesel engines of specialized ships // *Ship power plants*. – 2022. – Vol. 45. – P. 5-16. doi: 10.31653/smf45.2022.5-16.
17. Sagin S.V., Kuropyatnyk O.A., Zablotskyi Yu.V. Gaichenia O.V. Supplying of Marine Diesel Engine Ecological Parameters // *Nase More : International Journal of Maritime Science & Technology*. – 2022.– Vol. 69. – Iss.1. – P. 53-61. DOI 10.17818/NM/2022/1.7.
18. Kuropyatnyk O.O., Sagin S.V. Controlling the exhaust gases of marine diesel engines to ensure environmental performance // *Automation of ship technical facilities*. –2018. – № 24. – P. 72-80.
19. Sagin S.V., Sagin S.S., Determination of the method of controlling the movement of marine transport vessels while ensuring their safe divergences // *Water transport*. – 2023. – № 2(38). – C. 187-198. doi.org/10.33298/2226-8553/2023.2.38.20.
20. Sagin S.V., Karianskyi S., Sagin S.S., Volkov O., Zablotskyi Y., Fomin O., Píšťek V., Kučera P. Ensuring the safety of maritime transportation of drilling fluids by platform supply-class vessel // *Applied Ocean Research*, 2023. – Vol. 140. 103745. https://doi.org/10.1016/j.apor.2023.103745.
21. Vorokhobin I. Determination of the Law of Probability Distribution of Navigation Measurements / I. Vorokhobin, A. Golikov, O. Haichenia, V. Sikirin, V. Severin / Kaunas, Lithuania, 2020. – P. 707-710.
22. Daki O.A., Yakusevych Yu.H., Kolesnyk V.V., Tryshyn V.V. Methodology of model substantiation for analysis of operation of a two-stage ship refrigeration unit in non-stationary modes. // *Water transport*. – 2023. – № 1(37). – P. 188-193. doi.org/10.33298/2226-8553.2023.1.37.21.
23. Sagin S., Madey V., Sagin A., Stoliaryk T., Fomin O., Kučera P. Ensuring Reliable and Safe Operation of Trunk Diesel Engines of Marine Transport Vessels // *J. Mar. Sci. Eng.* –2022. – Vol. 10(10). – P. 1373. https://doi.org/10.3390/jmse10101373.
24. Bohomia V.I. A method for recognizing underwater objects using multibeam sonar to ensure the safety of an unmanned underwater vehicle. // *Water transport*. – 2023. – № 2(38). – P. 96-102. doi.org/10.33298/2226-8553.2023.2.38.10.
25. Daki O.A., Yakusevych Yu.H., Lihanenko V.V., Tryshyn V.V. Model of air conditioning and cooling system on modern oil-filling ships and gas carriers. // *Water transport*. – 2022. – № 1(35). – P. 121-127. doi.org/10.33298/2226-8553.2022.1.35.15.
26. Tymoshchuk O., Melnyk O. Analysis of the possibility of using the divergence maneuver by changing the course // *Water Transport: Collection of scientific works*. – 2023 – № 1(37). – P.96-102. doi.org/10.33298/2226-8553.2023.1.37.10.
27. Sagin S.V. Determination of the optimal recovery time of the rheological characteristics of marine diesel engine lubricating oils // *Materials of the International Conference “Process Management and Scientific Developments”* (Birmingham, United Kingdom, January 16, 2020. Part 4). – P. 195-202. DOI. 10.34660/INF.2020.4.52991.
28. Popovskii A.Y., Sagin S.V. Complex assessment of operational characteristics of lubricating hydrocarbon liquids // *Automation of ship facilities*. – 2014. – №20. – P. 74-83.
29. Sagin S.V. Reduction of energy losses in precision steam fuel equipment of marine diesel engines // *Ship power plants*. – 2018. – Vol. 38. – P. 132-142.

30. Matskevych D.V., Sagin S.V., Hanmamedov S.A. Changes in the rheological characteristics of lubricants in the circulating oil system during operation of a medium-speed engine // Ship power plants. – 2010. – Vol. 25. – P. 109-118.
31. Popovskii A.Y., Sagin S.V. Evaluation of operational properties of lubricating and cooling liquids of marine technical equipment // Automation of ship technical facilities. – 2016. – Vol. 22. – P. 66-74.
32. Rybalchenko M.E., Bilousov E.V. Use of numerical profiles of the working process for the analysis of the efficiency of work of a ship's low-speed engine under the conditions of the current tendencies to reduce the operating speed of vessels. // Water transport. – 2022. – № 2(36). – P. 1-13. doi.org/10.33298/2226-8553.2022.2.36.06.
33. Sagin S., Sagin A. Development of method for managing risk factors for emergency situations when using low-sulfur content fuel in marine diesel engines // Technology Audit and Production Reserves. – 2023. – № 5 (1(73)). – P. 37–43. doi: <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2023.290198>.

Sagin S.V., Kuropyatnyk O.A.

DETERMINATION OF THE OPTIMAL MODES OF THE EXHAUST GASES MANAGEMENT PROCESSES OF MARINE DIESELS

Determination of optimal modes of exhaust gas management processes of marine diesel engines. The exhaust gas recirculation system of a marine diesel engine, the use of which ensures a decrease in the concentration of nitrogen oxides in the exhaust gases, is considered. Features of high- and low-pressure exhaust gas recirculation systems, as well as the exhaust gas bypass system, are highlighted. The purpose of the research was to determine the optimal modes of operation of ship exhaust gas management systems. At the same time, the combination of two factors was taken as optimality criteria - the maximum reduction of nitrogen oxide emissions (as one of the main sources of environmental pollution) and the minimum increase in specific fuel consumption (as the main economic indicator of the operation of marine diesel engines). Experimental studies carried out on the Wartsila-Sulzer marine diesel engine 16V32, the recirculation system of which made it possible to vary the degree of exhaust gas recirculation in the range of 0...21 %, determined that: increasing the degree of exhaust gas recirculation contributes to increasing the environmental friendliness of marine diesel engines, which is expressed in reduction of emissions of nitrogen oxides up to 28.25...29.83 % compared to the operation of a diesel engine without the use of a gas recirculation system; with an increase in the degree of exhaust gas recirculation, the efficiency of the operation of marine diesel engines deteriorates, which is expressed in an increase in specific fuel consumption, while in some operating modes and a certain degree of bypass, the increase in specific fuel consumption reaches 11.00...12.30 % compared to the operation of a diesel engine without using gas recirculation systems. As the optimal proposed modes of operation of the exhaust gas recirculation system corresponding to 12...15 % degree of exhaust gas recirculation, which ensure a reduction in nitrogen oxide emissions in the range of 16.6...26.6 %, while the increase in specific fuel consumption is in the range of 2.17...4.81 %.

Key words: bypass of exhaust gases, efficiency of diesel operation, emission of nitrogen oxides, environmental friendliness of diesel operation, marine diesel, marine transport, recirculation of exhaust gases, specific fuel consumption.

*Лопатюк С.П.***ПАРАМЕТРИЗАЦІЯ ГЕОМЕТРИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ В AUTOCAD**

Системи автоматизованого проєктування давно здобули пріоритет в практиці геометричного моделювання. AutoCAD від початку існування цілеспрямовано втілює у життя програмне забезпечення, яке вдало копіює дії проєктувальника-людини в процесі створення технічних креслень або геометричних моделей об'єктів складної технічної форми. Параметричне проєктування з'явилося у версії AutoCAD 2010 року, і являє собою подальший розвиток можливостей автоматичного проєктування при модифікації технічних виробів із збереженням деяких геометричних або розмірних залежностей.

Стаття присвячена питанням використання параметризації при вивченні дисципліни «Нарисна геометрія та інженерна графіка» в частині «Комп'ютерна графіка». Приділяється увага методиці розв'язання задач нарисної геометрії і проєкційного креслення з прив'язкою до геометричних особливостей алгоритмів побудови чи геометричних (розмірних) залежностей об'єктів.

Ключові слова: об'єктна прив'язка, параметризація, геометричні залежності, розмірні залежності.

Постановка проблеми. Комп'ютерна графіка і системи автоматичного проєктування практично витіснили з навчального процесу методи і засоби ручного креслення. Крім стрімкого науково-технічного прогресу, причиною цього є дистанційна форма навчання, яка стала переважною під час епідемії Covid, а в Україні – ще й у зв'язку з небезпеками воєнного стану. Дистанційна форма навчання значною мірою обумовила перехід на інноваційні комп'ютерні технології, використання яких має певні особливості [1,2, 4-6]. Пропонується методика удосконалення процесу виконання креслень засобами комп'ютерної графіки, покращення геометричної точності побудов в середовищі AutoCAD.

Вступ. Параметричне проєктування – це можливість накладання деяких залежностей або обмежень, які обов'язково мають виконуватися, щоб не відбувалось з об'єктом в процесі моделювання. Розрізняють геометричні і розмірні залежності[3, 9, 10].

Геометричні залежності – це збереження умов взаємного розташування об'єктів на кресленні (співпадіння, перпендикулярність, дотичність і та ін.).

Розмірні залежності – це збереження певного значення розміру (розмірів) при будь-яких змінах.

В ранніх версіях AutoCAD для відтворення геометричних залежностей успішно використовувався і зараз використовується режим, так званої, «об'єктної прив'язки». Але, в деяких випадках, він не є зручним або не дає точного результату (наприклад, при найменших зсувах пристрою «миша» прив'язка збивається або таке спостерігається при копіюванні об'єкта). Параметризація – це подальший крок розвитку інтелектуальних можливостей систем автоматизованого проєктування, намагання зробити комп'ютерне моделювання ще більш зручним і ефективним.

Мета дослідження полягає в обґрунтуванні та викладенні методики параметризації при розв'язанні задач з нарисної геометрії, моделюванні складних об'єктів при вивченні дисципліни «Нарисна геометрія та інженерна графіка».

Основні матеріали дослідження. Параметризація в комп'ютерній графіці призначена для створення зв'язаних моделей, виправлення помилок, застосування законів механіки (фізики) при геометричному моделюванні [3,4,9].

Розглянемо використання можливостей параметризації в процесі вивчення нарисної геометрії. Дистанційний формат навчання призвів до активного залучення в методику викладання предмета викладачем і в практику виконання завдань студентами комп'ютерної графіки. Система AutoCAD є досить зручним програмним середовищем для таких цілей. Інструментарій і можливості його різноманітні. В залежності від рівня теоретичної підготовки, логіки, вподобань, досвіду проектувальника одну й ту саму задачу можна розв'язати по різному.

Геометричні «примітиви» AutoCAD мають різні геометричні залежності (точки залежності, «ручки»), які можна використовувати при параметризації:

- «лінія (відрізок)» - кінцеві і середня точки;
- «коло» - точка центра;
- «дуга» - точка центра і кінцеві точки;
- «полілінія» - кінцеві і середні точки відрізків і дуг, з яких складається полілінія та ін.

За допомогою «ручок» в процесі параметризації можна змінювати розміри об'єкта при збереженні форми, залишаючи незмінними геометричні ознаки розташування: збіг точок, перпендикулярність і паралельність ліній, дотичність кола і прямої, горизонтальність і вертикальність ліній, концентричність кіл, колінальність (під якою розуміють приналежність ліній (відрізків) одній і тій самій нескінченній прямій), рівність відрізків (радіусів дуг, кіл), симетричність об'єктів відносно заданої лінії симетрії, фіксація точки.

Накладання розмірних залежностей дозволяє зберігати відстані по горизонталі і вертикалі, відстані між двома точками на одному об'єкті, робити залежними відстані на різних об'єктах, закріплювати радіус або діаметр дуги (кола), задавати певне значення центрального кута дуги (кута між трьома точками). При завданні розмірних залежностей можна використовувати формули, які складаються із позначень накладених залежностей, констант і математичних функцій. Після накладання розмірних залежностей за допомогою диспетчера параметрів, в віконці якого відображаються всі залежності, встановлені на кресленні, з'являється таблиця, яку можна редагувати та доповнювати. Кожний рядок таблиці визначає інший типовий об'єкт із своїми розмірами і збереженими геометричними залежностями (рис. 1).

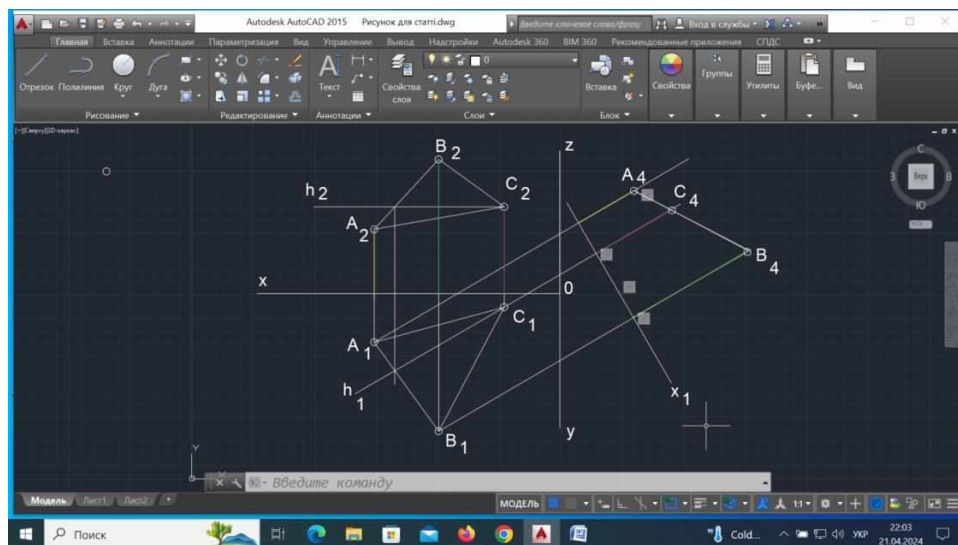


Рисунок 1

Передбачений режим автоматичного накладання залежностей, при якому система сама накладає залежності, вочевидь використані в процесі креслення об'єкта.

Основною ціллю розробки інструментарію параметризації було і є створення складних блоків з залежними параметрами. Тобто створення зручного і ефективного механізму проектування типових геометричних форм для стандартних технічних виробів. Але можливим є використання параметризації в різних задачах інженерної графіки.

Наприклад, при опрацюванні метода заміни площин проєкцій в нарисній геометрії для визначення натуральної величини трикутника або при розв'язанні задач цього типу доречно використовувати «ручне» накладання геометричних залежностей на базові лінії і точки (рис. 1). Застосування звичної об'єктної прив'язки дає гірший результат за рахунок невиконання умови прив'язки при незначному зсуві «миші».

При кресленні складного зв'язаного об'єкта (рис. 2) користуються, зазвичай, окремими наявними графічними примітивами, командами редагування, а потім об'єднують отриману криву в єдину полілінію (наприклад, при видавлюванні з неї трьохвимірної об'єкта).

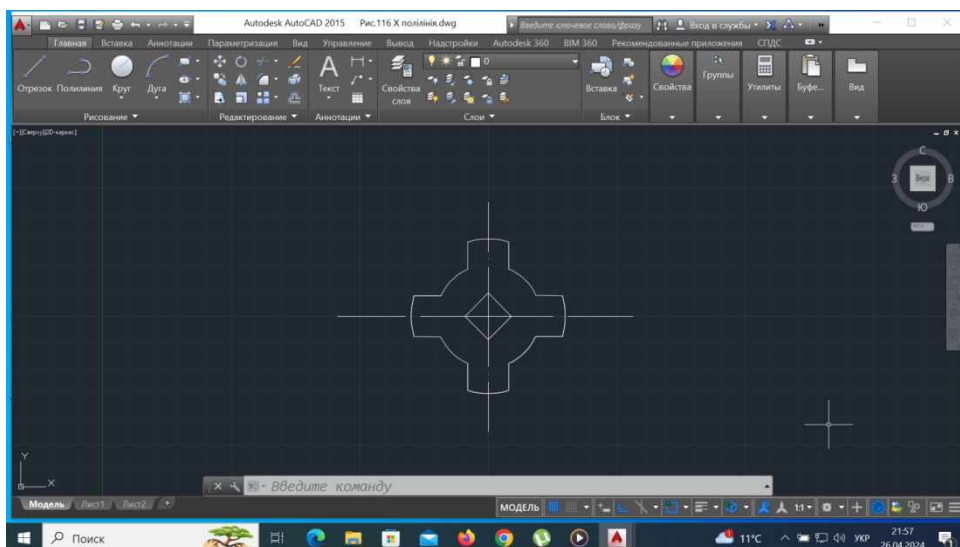


Рисунок 2 [8].

Маючи на меті побудову еквідистантних кривих до отриманої початкової кривої, доцільно скористатись автоматичною геометричною параметризацією, а вже потім командою побудови еквідистант. Це забезпечить збереження геометричних залежностей ділянок складної кривої і точність побудови.

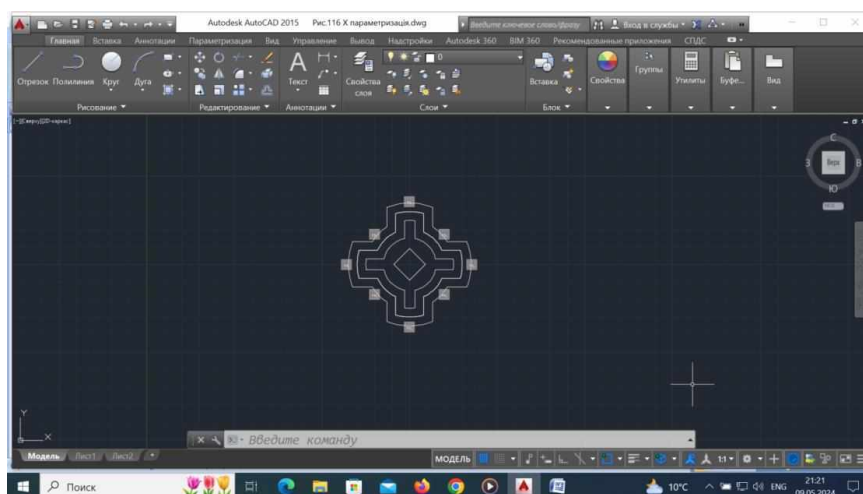


Рисунок 3.

Автоматичне накладання геометричних залежностей є зручною базовою підтримкою при проєктуванні більш складних об'єктів. Навіть маючи достатній рівень теоретичної підготовки, досить складно передбачити як зміна параметрів відобразиться на вигляді і властивостях об'єкта. Доводиться по декілька разів перевіряти коректність і доцільність закріплення точок, накладання взаємної паралельності, перпендикулярності, концентричності та ін. Крім геометричних залежностей є можливість задавати і розмірні залежності.

Коли проєктувальнику потрібно неодноразово креслити один і той самий фрагмент креслення, то доцільно об'єднувати його елементи в блок. І тут можливості методики параметризації проявляються виразніше. Так об'єднавши геометричні елементи на рисунку 3 в блок, зафіксувавши необхідні геометричні залежності (на рисунку 4 видно, що таких залежностей досить багато), можна задати деякі розмірні параметри, зміна яких автоматично буде змінювати форму об'єкта належним чином (на рисунку 4 це відстані d_1 і d_2). При накладанні розмірних залежностей AutoCAD автоматично створює таблицю параметрів, яку можна доповнювати і редагувати в редакторі блоків, створюючи при цьому деяку множину подібних за геометричними залежностями об'єктів різних розмірів (рис. 4). Параметри об'єкта можуть бути зв'язані між собою формулами з констант, змінних і математичних функцій.

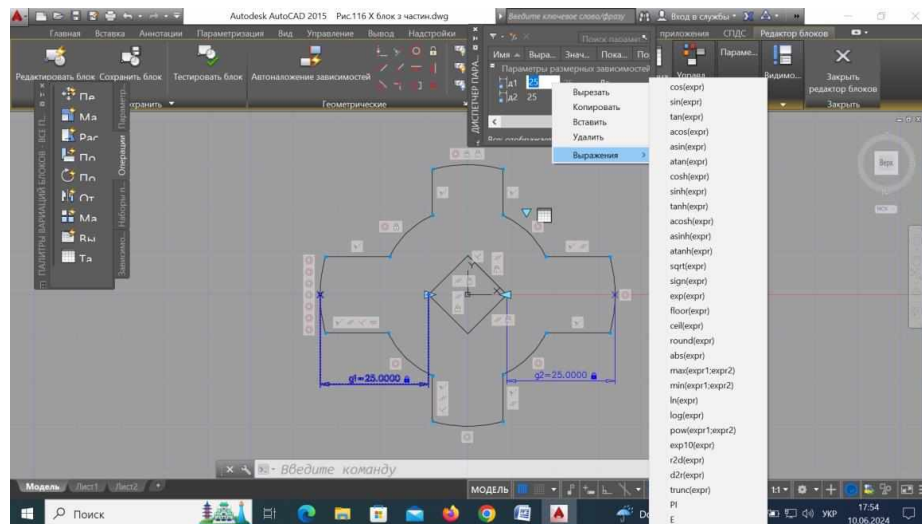


Рисунок 4

Автоматичне накладання залежностей на блок з розрізнених дуг і відрізків дає більш точний результат, ніж параметризація блока – полілінії. Пояснити це можна таким чином: при об'єднанні розрізнених дуг і відрізків в полілінію зникають деякі геометричні залежності і система не може їх відтворити автоматично. Існує можливість задати геометричні залежності вручну, але це копітка робота, яка не завжди призводить до бажаного результату: то точки стикунок роз'їжджаються, прямі перестають бути паралельними або перпендикулярними, то система інформує, що така геометрична залежність суперечить іншій або є некоректною.

На рисунках 5, 6 представлений блок з різними значеннями розмірних параметрів. Таблиця розмірів зображується на рисунку 5 у розкритому вигляді. Зафіксованим є перший рядок значень параметрів. На рисунку 6 вибраний другий рядок значень: форма блока змінилася, таблиця зображується у вигляді «ручки»-трикутника (її можна розкрити і вибрати необхідний варіант).

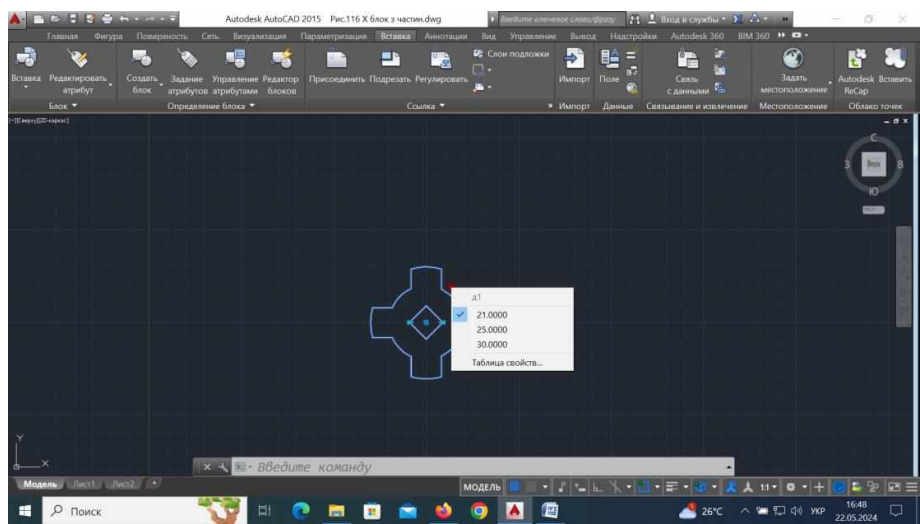


Рисунок 5

При виборі з заданої таблиці параметрів нової пари значень d1 і d2 змінюється форма зовнішнього контуру деталі із збереженням накладених геометричних залежностей (рисунок 6).

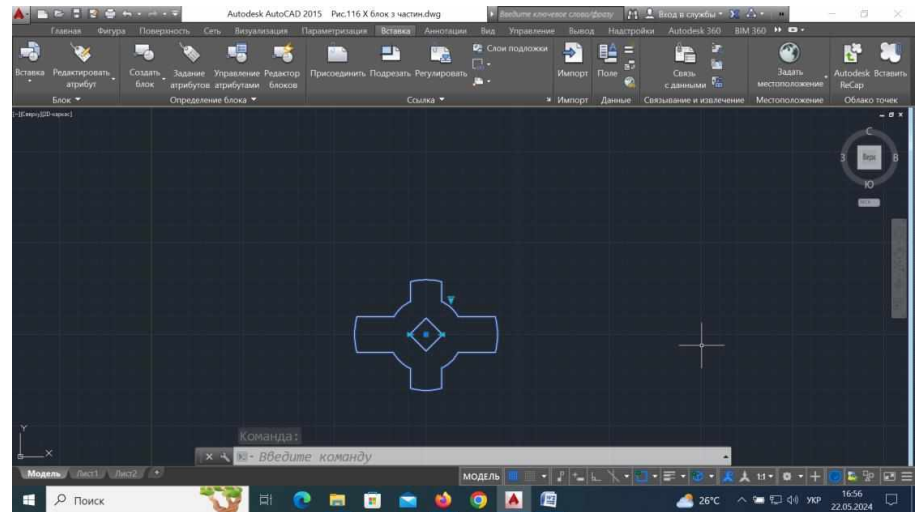


Рисунок 6

Проілюструємо ефективність параметризації на прикладі проєктування стандартного болта M18 з шестигранною головкою (типової деталі з характерними геометричними і розмірними залежностями). AutoDESK надає стандартні приклади побудови (див. AutoCAD 2013\Sample\ru-ru\Dynamic Blocks\Mechanical-metric.dwg). Стандартний болт задається такими параметрами:

Таблиця 1 – Стандартні параметри болтів

Різьба	Довжина болта, мм	Виконання	ГОСТ
M16	70	1	7798-70
M18	80	2	7796-70
M20	90	1	7805-70

У ГОСТ 7796-70 знаходимо всі необхідні для креслення розміри. Креслимо болт 1 M18-6g x 80 [7]. Креслення необхідно робити в двох проєкціях. Бажано всі спеціальні геометричні побудови (фаски, галтелі та ін.) виконувати за допомогою спеціальних команд AutoCAD. Це

важливо для подальшої автоматичної параметризації. З головного вигляду болта утворюємо блок (рис. 7). Користуємось режимом автоматичної параметризації для накладання геометричних залежностей.

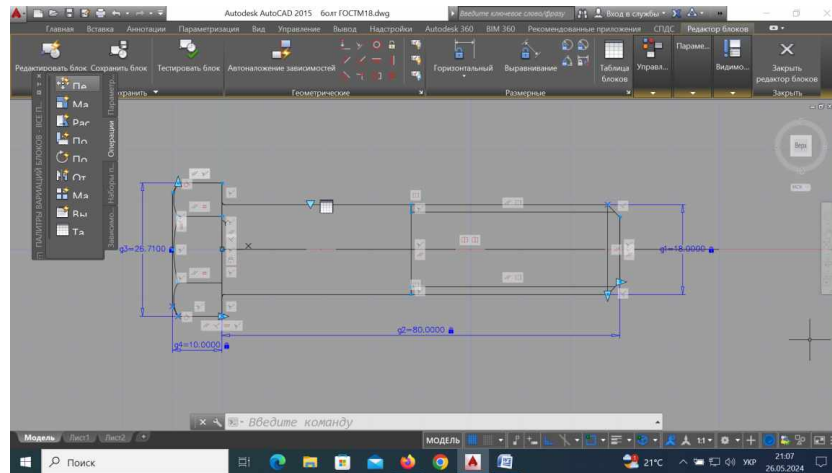


Рисунок 7

В якості необхідних розмірних залежностей вибираємо номінальний діаметр різьби, висоту головки болта, діаметр описаного кола (для побудови шестигранника), довжину болта. В редакторі блоків доповнюємо таблицю параметрів рядками із значеннями базових розмірів для болта M20 і M16 (рис. 8).

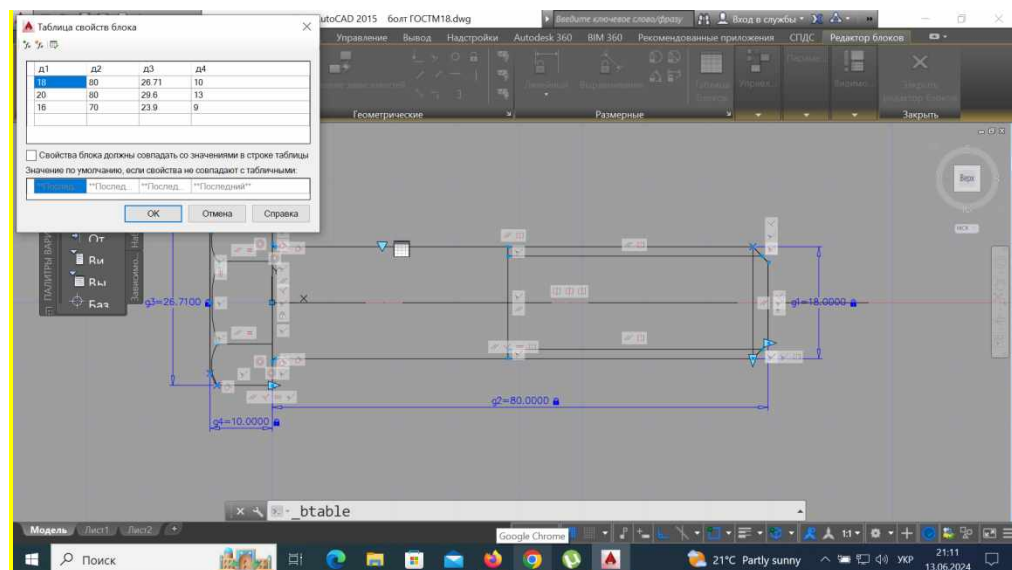


Рисунок 8

Зауважимо, що спроба змінити розміри типового болта за допомогою зміни рядка таблиці одразу виявляє похибки в накладанні геометричних залежностей, а саме недостатність проведеної автоматичної параметризації. Потрібно проаналізувати виявлені помилки і в ручному режимі, за декілька спроб, додати необхідні геометричні залежності, щоб отримати прийнятний результат параметризації. Цей процес вимагає від проєктувальника хорошого знання геометрії типової деталі і особливостей геометричних залежностей «примітивів» AutoCAD («ручок» за допомогою, яких можна зробити залежності сталими). На рисунку 9 представлений стандартний болт M20, отриманий при виборі відповідного рядка з таблиці параметрів.

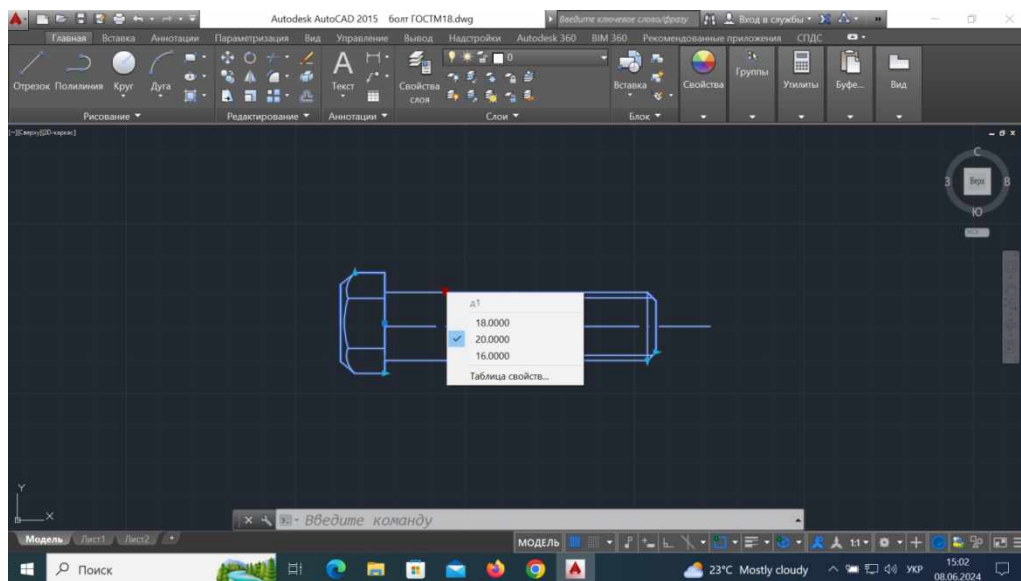


Рисунок 9.

Інструментарій параметризації можна використовувати для укладання варіантів типових креслень для самопідготовки студентів. Такий підхід розвиватиме геометричні навички, логіку побудови креслень, уявлення про типові і стандартні деталі.

Висновки. Параметричне проєктування в системі AutoCAD дозволяє покращити відтворення геометричних особливостей оригіналів - об'єктів на електронному кресленні. Ефективність використання методики параметризації на сьогодні залежить від обізнаності і рівня підготовки проєктувальника. На фоні поширення дискусій про штучний інтелект можна відмітити, що система значною мірою допомагає долати складні моменти проєктування за допомогою підказок, коментарів: «Геометрія не повністю залежна», «Неможливо застосувати параметр залежності. Накладання залежності призведе до надмірного обмеження геометрії», «Неможливо опрацювати одну чи кілька залежностей. Рекомендується відмінити останню операцію» та ін. Режим автоматичної параметризації є зручним і виявляє значну кількість геометричних залежностей створеного об'єкта. Проєктувальнику залишається відстежити деякі геометричні і розмірні особливості для отримання прийняттого результату. Тому можна зробити висновок про доцільність і перспективність параметричного проєктування, незважаючи на деякі складнощі, і в освітньому процесі, і в фаховому геометричному моделюванні об'єктів складної технічної форми.

ЛІТЕРАТУРА

1. Лопатюк С.П. Модернізації навчання інженерної графіки з використанням можливостей САПР AUTOCAD. Водний транспорт. Збірник наукових праць Державного університету інфраструктури та технологій. – К.: ДУІТ, 2020. – Випуск 1(29). С.58-66
2. Лопатюк С.П. Віртуальні лабораторні роботи з комп'ютерної графіки та 3D-моделювання. Водний транспорт. Збірник наукових праць Державного університету інфраструктури та технологій. – К.: ДУІТ, 2023. – Випуск 1(37). С.222-229 <https://doi.org/10.33298/2226-8553.2023.1.37>
3. Параметризація в AutoCAD 2015 – видео-урок <https://compteacher.net/engineering/autocad>
4. Гнітецька Т. В., Гнітецька Г. О., Пустовіт Є. О. Використання динамічних блоків для створення електронних бібліотек зображень типових кріпильних елементів ресурсами AutoCAD / Прикладна геометрія та інженерна графіка, № 100, 2021.С.100 - 109

5. Гнітецька Т. В., Гнітецька Г. О. Метод «скелетних конструкцій» для спрощення процесу параметризації в AutoCAD. Прикладна геометрія та інженерна графіка, 2021. С.45-54
6. Гнітецька Т. В., Гнітецька Г. О. Курс «Інженерна та комп'ютерна графіка» для студентів технічних університетів. Інформаційні технології і засоби навчання. Том 90, №4, 2022. С.89-101
7. Михайленко В.Є., Ванін В.В., Ковальов С.М. М 69 Інженерна та комп'ютерна графіка: Підручник / За ред. В.Є. Михайленка. - К.: Каравела, 2010. 360 с.
8. Хаскин А.М. Черчение. «Вища школа», 1974. 448 с.
9. Зиновьев Д.В. Динамические блоки в AutoCAD / <https://autocad-lessons.com/product/dyn-block-autocad>
10. Сайт <https://autocad-lessons.com>

REFERENCES

1. Lopatyuk S.P. Modernization of training in engineering graphics using AUTOCAD CAD capabilities. Water transport. Collection of scientific works of the State University of Infrastructure and Technologies. - K.: DUIT, 2020. - Issue 1(29). P.58-66
2. Lopatyuk S.P. Virtual laboratory works on computer graphics and 3D modeling. Water transport. Collection of scientific works of the State University of Infrastructure and Technologies. - K.: DUIT, 2023. - Issue 1(37). P.222-229 <https://doi.org/10.33298/2226-8553.2023.1.37>
3. Parameterization in AutoCAD 2015 – video lesson <https://compteacher.net/engineering/autocad/2057-parametrizaciya-v-autocad-2015-video-urok.html>
4. Hnitska T.V., Hnitska G.O., Pustovit E.O. Use of dynamic blocks to create electronic image libraries of typical fasteners using AutoCAD resources / Applied geometry and engineering graphics, No. 100, 2021. P.100 - 109
5. Hnitska T. V., Hnitska G. O. The method of "skeleton structures" to simplify the parameterization process in AutoCAD. Applied geometry and engineering graphics, 2021. P.45-54
6. Hnitska T. V., Hnitska G. O. Course "Engineering and computer graphics" for students of technical universities. Information technologies and teaching aids. Volume 90, No. 4, 2022. P.89-101
7. Mykhaylenko V.E., Vanin V.V., Kovalev S.M. M 69 Engineering and computer graphics: Textbook / Ed. V.E. Mykhaylenko - K.: Karavela, 2010. 360 p.
8. Khaskin A.M. Drawing. "Higher School", 1974. 448 p.
9. Zinoviev D.V. Dynamic blocks in AutoCAD / <https://autocad-lessons.com/product/dyn-block-autocad>
10. Website <https://autocad-lessons.com>

Lopatuk S.P.

PARAMETERIZATION OF GEOMETRIC MODELING IN AUTOCAD

Computer-aided design systems have long acquired priority in the practice of geometric modeling. From the beginning of its existence, AutoCAD purposefully implements software that successfully copies the actions of a human designer in the process of creating technical drawings or geometric models of objects of complex technical form. Parametric design appeared in the 2010 version of AutoCAD, and represents a further development of the capabilities of automatic design when modifying technical products with the preservation of some geometric or dimensional dependencies.

The article is devoted to the use of parameterization in the study of the discipline “Descriptive Geometry and Engineering Graphics” in the “Computer Graphics” section. Attention is paid to the methodology for solving problems of descriptive geometry and projection drawing, taking into account the geometric features of construction algorithms or geometric (dimensional) dependencies of objects.

Key words: object binding, parameterization, geometric dependencies, dimensional dependencies.

Єлєзаров О. П.

ІМПЛЕМЕНТАЦІЯ НОРМ МІЖНАРОДНОГО МОРСЬКОГО ПРАВА В НАЦІОНАЛЬНЕ ЗАКОНОДАВСТВО УКРАЇНИ» В СИСТЕМІ НАВЧАЛЬНИХ ЗАНЯТЬ ПРОФЕСІЙНОЇ ПІДГОТОВКИ КОМАНДНОГО СКЛАДУ ЕКІПАЖІВ СУДЕН

Стаття присвячена дослідженню окремих питань професійної підготовки працівників водного транспорту, а саме командного складу екіпажів суден. У статті досліджено окремі аспекти сучасного стану навчального забезпечення механізму підготовки, перепідготовки та дипломування моряків в Україні. В статті наголошується, що фахівці морського та річкового транспорту повинні бути обізнані з основними положеннями нормативно-правових документів в сфері міжнародного морського права та міжнародних стандартів Міжнародної морської організації. Акцентовано увагу на тому, що торговельне судноплавство, змінюючись відповідно до зростаючих вимог, а також враховуючи новітні технології, упроваджує нові вимоги до фахівців морської галузі, зокрема до командного складу екіпажів морських суден, поступово підвищує та оновлює вимоги до професійної компетентності.

Автор наголошує, що належний рівень кваліфікації українських моряків забезпечується сталою роботою висококваліфікованого персоналу закладів освіти, тренажерної підготовки, що реалізують державну політику у сфері морського транспорту, зокрема шляхом розробки відповідних навчальних курсів підготовки та підвищення кваліфікації. Питання імплементації норм міжнародного морського права в національне законодавство є важливим кроком задля впровадження міжнародних стандартів. Автор зазначає, що командний склад екіпажу суден повинен знати норми міжнародного морського права, які втілені в міжнародних угодах та конвенціях і імплементовані в законодавство України.

Ключові слова: імплементація, екіпаж суден, дипломування моряків, знання законодавства, компетентності.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями. Україна приєдналася до Міжнародної конвенції про підготовку і дипломування моряків та несення вахти 1978 року шляхом прийняття Закону України від 1 листопада 1996 року № 464/96-ВР. Україна стала державою-членом Міжнародної морської організації (ІМО) і країною, що підписала основні міжнародні нормативні акти з безпеки мореплавства, прийняті в рамках ІМО, в тому числі і Міжнародну конвенцію про підготовку і дипломування моряків та несення вахти 1978 року з поправками (Конвенція ПДНВ). Сучасні умови ринку праці вимагають від випускників морських навчальних закладів здатності ефективно працювати в умовах внутрішньої та міжнародної конкуренції. Зокрема, фахівці морського та річкового транспорту повинні бути обізнані з основними положеннями нормативно-правових документів в цій сфері. Вивчення дисципліни «Міжнародне морське право» та «Стандарти Міжнародної морської організації» суттєво сприяє підвищенню специфічної підготовки фахівців для морського і річкового транспорту України, логічно обумовлене вимогами міжнародних стандартів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідження окремих аспектів професійної підготовки, підвищення кваліфікації працівників здійснювали М. Г. Александров, Б. К. Бегічев, Л. Я. Гінцбург, Л.А. Шапар, Н.Г. Орлова, О.Б. Даниленко тощо, однак питанню щодо значення норм міжнародного морського права в системі підготовки командного складу екіпажів суден не приділялось достатньої уваги. У зв'язку з цим **метою** даної статті є аналіз окремих

особливостей професійної підготовки командного складу екіпажів суден в аспекті розробки плану та змісту навчальних занять.

Виклад основного матеріалу дослідження. Професія моряка – це не просто робота, це спосіб життя. Вона вимагає дуже ґрунтовних знань, як професійного спрямування, так і в галузі права, зокрема міжнародного морського права, а також професійних навичок. Морська освіта, спеціальна та спеціалізована підготовка, оцінка компетентності, дипломування (сертифікація) моряків – це елементи системи управління безпекою судноплавства [1].

Згідно Постановою Кабінету Міністрів України від 30 грудня 2022 р. № 1499, яка затверджує Положення про звання осіб командного складу морських суден та порядок їх присвоєння, морська освіта, необхідна для набуття компетентності капітанами та особами командного складу, здобувається в закладах вищої і фахової передвищої освіти за спеціальністю “Морський та внутрішній водний транспорт” за акредитованими у встановленому законодавством порядку освітньо-професійними програмами, що відповідають вимогам Конвенції 1978 року, Кодексу дипломування або Конвенції 1995 року [2].

Належний рівень кваліфікації українських моряків забезпечується сталою роботою висококваліфікованого персоналу закладів освіти, тренажерної підготовки, що реалізують державну політику у сфері морського транспорту, зокрема шляхом розробки відповідних навчальних курсів підготовки та підвищення кваліфікації.

С.С. Кузнецов зазначає, що тривалі традиції морської освіти в Україні, існування впродовж довгих століть морської справи в нашій державі та успішна підготовка майбутніх моряків до складної праці в умовах природних небезпек виробили власні стандарти, кращі практики і сталі звичаї [3].

В своєму дослідженні О.Б. Даниленко зазначає, що професійна підготовка членів екіпажів, за висновками Міжнародної морської організації (ІМО), – це одна зі складових забезпечення системи безпеки в судноплавстві. Необхідність підвищення рівня професійної компетентності майбутніх робітників морського транспорту визначено вимогами Міжнародної конвенції про підготовку і дипломування моряків та несення вахти (ПДНВ), в якій зазначено перелік компетентностей і знань, якими повинні володіти майбутні робітники морської галузі для виконання складних операцій в екстремальних умовах та передбачена підготовленість слухачів до фізичних, моральних і психологічних навантажень, що обумовлює необхідність формування у процесі навчання професійно-важливих якостей [4].

В Україні до складу системи морської освіти входять заклади освіти різних рівнів, навчальні і навчально-тренажерні центри при судноплавних компаніях. Підготовка саме командного складу флоту здійснюється як у навчальних закладах, що готують фахових молодших бакалаврів так і у закладах вищої освіти, де вони здобувають вищу професійну освіту на рівні бакалавра, магістра, а підвищення кваліфікації – на відповідних курсах при тих самих закладах вищої освіти.

Політика у сферах освіти, підготовки, оцінки компетентності як складових системи дипломування (сертифікації) моряків ґрунтується на оптимальному поєднанні інтересів держави та закладів морської освіти, навчально-тренажерних закладів, інших підприємств, установ і організацій, що задіяні у виконанні завдань і повноважень з метою забезпечення функціонування національної системи дипломування (сертифікації) моряків.

Реалізація Політики підготовки фахівців для роботи на морських судах спрямована на: створення умов для впровадження та забезпечення ефективної реалізації відповідних систем управління якістю; поширення національного та міжнародного досвіду з питань підготовки та дипломування (сертифікації) моряків з використанням сучасних методів і технологій; залучення органів державного управління та громадських організацій до діяльності, спрямованої на реалізацію Політики; удосконалення правових засад і нормативного забезпечення; прийняття

нових і перегляд чинних нормативно-правових актів з питань реалізації Політики; участь України в імplementації міжнародних стандартів і вимог в національне законодавство та підтримання законодавства України в актуальному стані тощо. Імplementація (лат. *impleo* — «наповнюю», «виконую») — здійснення, виконання державою міжнародних правових норм. Вітчизняна теорія і практика передбачає різні способи імplementації міжнародно-правових зобов'язань у національне законодавство, зокрема трансформацію, рецепцію та відсилання. Міжнародне право, зобов'язуючи державу дотримуватись міжнародних договорів, покладає обов'язок, що спрямований на результат, а не на засоби його досягнення. Держави в цілому є вільними у встановленні порядку взаємодії національного права та міжнародного договору. Вони використовують різноманітні способи для реалізації міжнародних договірних зобов'язань у своїх правових системах, різним чином визнають статус міжнародних договорів у національному праві, їх місце в системі ієрархії джерел у внутрішньодержавному праві. Шляхи досягнення результату, місце міжнародних договорів у внутрішньодержавному праві, можуть бути різними в різних держав, але сам результат повинен бути однаковим — виконання взятих на себе міжнародних договірних зобов'язань [5].

Міжнародні морські угоди, щодо яких держава взяла на себе зобов'язання щодо їх дотримання, а саме імplementувати у внутрішнє законодавство, є джерелом морського права цієї держави. Правила, що містяться в них, можуть бути відтворені (імplementовані) у національних правових актах, або до чинного законодавства вносяться необхідні зміни або доповнення, або, нарешті, видається нормативний акт, що встановлює обов'язковість виконання відповідних вимог. Імplementація міжнародного права - це фактична реалізація міжнародних зобов'язань на внутрішньодержавному рівні, а також конкретний спосіб включення міжнародно-правових норм у національну правову систему.

В свій час міжнародні морські конвенції були покликані зробити судноплавство безпечнішим, а відповідно, і ефективнішим. Необхідність прийняття міжнародних стандартів, які б діяли на міжнародному рівні, також обумовлювалось тим, що вони поширюються на всі країни без винятку, а не тільки на ті, які ратифікували підписання тієї чи іншої угоди. Міжнародні морські міжнародні договори призвані покращувати правові відносини у сфері морського права. Процес його формування відбувається і досі завдяки внесенню поправок. Це також пов'язано з дотриманням трудових, екологічних та інших норм, відповідно до яких законодавство доповнюється. Саме з цієї причини інформація про міжнародні морські норми, а також розшифрування морських конвенцій мають настільки велике значення для кожного моряка.

Перелік обов'язкових курсів підготовки, необхідних для присвоєння відповідного звання, для зайняття відповідної посади особи командного складу або суднової команди на морських судах, визначається Мінінфраструктури. Програми курсів підвищення кваліфікації відповідного рівня (управління і експлуатація) розроблені для судноводіїв, судових механіків, судових електромеханіків та радіоспеціалістів, схвалені Міністерством освіти та Укртрансбезпекою і містять у собі останні зміни в національних і міжнародних правилах, а також відповідної технології і рекомендації щодо безпеки людського життя на морі та захисту морського навколишнього середовища. В системі підвищення кваліфікації командного складу екіпажів суден впроваджені курси, які мають назву *«Підвищення професійної кваліфікації для отримання професійного диплому старшого помічника та капітана морських суден (I/11, II/1, II/2, II/3; A-II/1, A-II/2, A-II/3, B-I/12 Конвенції та Кодексу ПДНВ-78 з поправками)»*.

Аналіз курсу свідчить про те, що відповідний пункт передбачає знання норми міжнародного морського права, утіленого в міжнародних угодах та конвенціях. Курс розширює у слухачів обсяг наукових знань з міжнародно-правового механізму регулювання відносин, пов'язаних із використанням Світового океану, зокрема РН 3.2.1 передбачає знання норм

міжнародного морського права, які втілені в міжнародних угодах та конвенціях, знання механізму імплементації норм міжнародного морського права в національне законодавство. Надаючи певний спектр прав державам-учасникам, Конвенція ООН з морського права 1982 р. передбачає безпосередній їх обов'язок щодо «дотримання загальноприйнятих міжнародних правил, процедур та практики щодо безпеки на морі, включаючи Міжнародні правила запобігання зіткненню суден в морі», а також щодо «здійснення юрисдикції та контролю над судном, його капітаном та екіпажем щодо адміністративних, технічних та соціальних питань». Україна є учасником всіх міжнародних договорів, які мають велике значення для світового судноплавства і вони імplementовані в національне законодавство. Знання міжнародних стандартів, які втілені в багатьох міжнародних договорах є необхідною умовою набуття відповідної кваліфікації. Зокрема: командний склад повинен знати, як отримати кожне зі свідоцтв і документів, які необхідно мати на борту судна; знати як навести докази дійсності, які можуть вимагатися органами влади для сертифікатів і документів; розуміти, що судну не повинно бути заборонено заходити в будь-який порт з міркувань здоров'я, але якщо порт не обладнаний для застосування гігієнічних заходів, які, на думку санітарних органів порту, необхідні, судну може бути наказано на свій страх і ризик перейти до найближчого зручного порту; розуміти дії, доступні для судна, яке не бажає підкорятися заходам, які вимагаються санітарними повноваженнями порту; розуміти заходи щодо оформлення вантажів, товарів та багажу тощо. По закінченню курсу слухачі повинні розуміти процес, за допомогою якого міжнародні угоди та конвенції ратифікуються та імplementуються в національне законодавство.

Висновки. Якісна практична підготовка фахівців морської галузі є запорукою їх успішної професійної діяльності. Важливим напрямом професійної підготовки майбутніх фахівців морської галузі є наявність знань в сфері міжнародного морського права, зокрема в сфері застосування міжнародних конвенцій та стандартів професійного напрямку в національне законодавство. Основним принципом працевлаштування працівників водного транспорту має бути принцип працевлаштування виключно кваліфікованих та професійно підготовлених працівників, що пояснюється специфічністю та небезпечністю умов праці на водному транспорті. Можна зазначити, що поряд з професійними знаннями, вміннями і навичками з досвіду управління суднами, якими повинен сьогодні володіти фахівець морської галузі, наявність знань в правовій сфері вкрай важлива і необхідна.

ЛІТЕРАТУРА

1. Заява про прийняту політику у сфері морської освіти, підготовки, дипломування (сертифікації) та медичних оглядів моряків. URL: <https://marad.gov.ua/storage/app/sites/1/uploaded-files/Statement%20on%20the%20adopted%20Policy.pdf> (Дата звернення: 29.04.2024)
2. Постанова Кабінету Міністрів України від 30 грудня 2022 р. № 1499 «Положення про звання осіб командного складу морських суден та порядок їх присвоєння»
3. Кузнєцов С.С. Підготовка моряків у системі національних інтересів України на морі: щодо питання організаційно-правового забезпечення. Науковий вісник публічного та приватного права. Випуск 1, 2020
4. Даниленко О.Б. Готовність майбутніх судноводіїв до професійної діяльності як результат підготовки у морському закладі вищої освіти. Nowoczesna nauka: teoria i praktyka: Mater. III Międz. Konf. Nauk. Prakt. / Pod red. S. Gorniaka. – Katowice: Nowa nauka, 2019. (с.99-102)

5. Особливості застосування норм міжнародного та європейського права. URL: <https://arm.naiau.kiev.ua/books/enforcement/info/lec8.html> (Дата звернення: 30.04.2024)

REFERENCE

1. Zaiava pro pryiniatu polityku u sferi morskoi osvity, pidhotovky, dyplomuvannia (sertyfikatsii) ta medychnykh ohliadiv moriakiv. URL: <https://marad.gov.ua/storage/app/sites/1/uploaded-files/Statement%20on%20the%20adopted%20Policy.pdf>
2. Postanova Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 30 hrudnia 2022 r. № 1499 «Polozhennia pro zvannia osib komandnoho skladu morskyykh suden ta poriadok yikh prysvoiennia»
3. Kuznietsov S.S. Pidhotovka moriakiv u systemi natsionalnykh interesiv ukrainy na mori: shchodo pytannia orhanizatsiino-pravovoho zabezpechennia. Naukovyi visnyk publichnoho ta pryvatnoho prava. Vypusk 1, 2020.
4. Danylenko O.B. Hotovnist maibutnikh sudnovodiiv do profesiinoi diialnosti yak rezultat pidhotovky u morskomu zakladi vyshchoi osvity. Nowoczesna nauka: teoria i praktyka: Mater. III Międz. Konf. Nauk.Prakt. / Pod red. S. Gorniaka. – Katowice: Nowa nauka, 2019. (с.99-102)
5. Osoblyvosti zastosuvannia norm mizhnarodnoho ta yevropeiskoho prava. URL: <https://arm.naiau.kiev.ua/books/enforcement/info/lec8.html>

Yelieazarov O. P.

IMPLEMENTATION OF THE STANDARDS OF INTERNATIONAL MARITIME LAW INTO THE NATIONAL LEGISLATION OF UKRAINE" IN THE SYSTEM OF VOCATIONAL TRAINING CLASSES FOR SHIP CREWS

The article is devoted to the study of certain issues of professional training of water transport workers, namely the command structure of ship crews. The article examines certain aspects of the current state of educational provision of the mechanism of training, retraining and certification of seafarers in Ukraine. The article emphasizes that sea and river transport specialists should be familiar with the main provisions of regulatory documents in the field of international maritime law and international standards of the International Maritime Organization. Emphasis is placed on the fact that merchant shipping, changing in accordance with growing requirements, as well as taking into account the latest technologies, introduces new requirements for specialists in the maritime industry, in particular for the command structure of the crews of sea vessels, gradually increases and updates the requirements for professional competence.

The author emphasizes that the proper level of qualification of Ukrainian sailors is ensured by the constant work of highly qualified personnel of educational and training institutions that implement the state policy in the field of maritime transport, in particular by developing appropriate training courses and advanced training. The issue of implementation of norms of international maritime law into national legislation is an important step for the implementation of international standards. The author notes that the command staff of the ship's crew must know the norms of international maritime law, which are embodied in international agreements and conventions and implemented in the legislation of Ukraine.

Key words: implementation, ship crew, certification of seafarers, knowledge of legislation, competence.

Тирон О.М., Єлєзаров О.П.

ПСИХОГРАМА ЯК ІНСТРУМЕНТ СТВОРЕННЯ ЦІЛІСНОГО ОБРАЗУ МОРСЬКОГО КАДЕТА НА ОСНОВІ АНАЛІЗУ РІЗНИХ ВИДІВ ТОЛЕРАНТНОСТІ

Під час роботи на морі моряк стикається з багатьма психологічними, фізіологічними та комунікативними викликами. Ми склали психограму морського кадеда, базуючись на дослідженні різних аспектів толерантності, які тісно пов'язані з професійною діяльністю моряків, такі як соціальна толерантність, яка пов'язана з психологічними аспектами особистості, фізіологічна толерантність, яка пов'язана з фізичною витривалістю людини. Запропонована психограма дає цілісний образ морського кадеда та дозволяє зробити акцент на ключових сферах формування навичок та якостей, а саме: розуміння різниці між людьми, відкритість і сприйняття, емпатія і співчуття, самосвідомість і самовдосконалення, адаптивність до змін та інновацій, підтримка психічного та фізичного здоров'я.

***Ключові слова:** психограма морського курсанта, психологічна толерантність, фізіологічна толерантність, комунікативна толерантність, адаптивність*

Постановка проблеми. Підтримати морських кадетів з точки зору їхнього благополуччя, виховання психологічної, фізіологічної та комунікативної толерантності є дуже актуальним завданням у процесі навчання спеціалістів морської галузі. Щоб створити цілісний образ майбутнього моряка, ми запропонували створити психограму, теоретичною основою якої стали різні види толерантності, дотичні до професійної діяльності на судні.

Психограма моряка - це психологічне дослідження, яке допомагає визначити психічний стан моряка, його емоційні та психологічні особливості, а також його готовність до морської роботи. Психограма включає діагностичний матеріал, а саме: тести та опитувальники, щоб оцінити рівень стресу, адаптації до змінних умов праці, комунікативні навички та інші аспекти психічного здоров'я моряка. Створена психограма дозволяє викладачеві сприйняти майбутнього судноводія чи судномеханіка цілісно, та побачити ті якості та навички, які необхідні, але формуванням яких не приділялася увага. Дослідження принесе користь морякам та навчальним закладам, які займаються підготовкою моряків, для прийняття рішень щодо процесу навчання.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У зв'язку з постійним прогресом технологій і вимогами морської індустрії, компанії розробляють власні (більш детальні) системи підготовки курсантів. Такі рішення дозволяють більш детально підходити до навчання, що призводить до кращої підготовки до майбутньої роботи на морі [1]. Повідомляється, що моряки часто працюють у небезпечному фізичному та психосоціальному середовищі. Однак, стану психічного здоров'я серед моряків не приділяється достатньо уваги порівняно з проблемами фізичного здоров'я. Фактори, пов'язані з психічним здоров'ям і психологічними проблемами, можна класифікувати як фактори індивідуального та робочого середовища. Сприятливий підхід до проблем психічного здоров'я, з якими стикаються моряки, необхідний для комплексного розуміння на індивідуальному та організаційному рівнях [2]. Щодо становлення надійності професійної діяльності моряка, науковці зазначають наступні фактори: 1) визначення потенційної професійної фізичної і психологічної готовності; 2) індивідуальні характеристики, які викликають значну кількість професійних помилок на морі; 3) якісна професійна підготовка; 4) адаптація до професійної діяльності на морі; 5) регулярна професійна діяльність, яка підвищить рівень професійності [3]. Поточні дебати щодо майбутніх навичок для моряків, як

правило, зосереджені на технології як на необхідній вимозі, щоб адаптуватися до змін. Науковці розглядають Індустрію 4.0 і цифровізацію з точки зору розвитку кар'єри окремих осіб, а також обговорюють потенційні наслідки цифровізації та автоматизації для кар'єри у морській галузі. Вчені досліджували, як цифровізація може вплинути на навички та навчання людей, а також на їхні майбутні кар'єрні траєкторії. Науковці ретельно розглянули структури кар'єри моряків, а також можливі соціально-економічні наслідки для майбутньої морської кар'єри, навичок і навчання в контексті Індустрії 4.0 [4],[5]. Індустрія 4.0 - це абревіатура четвертої промислової революції. Вона передбачає впровадження низки технологій у виробничий процес. Ці технології можуть варіюватися від передової робототехніки до адитивного виробництва. Технічні та теоретичні знання були визначені як найвпливовіші тверді навички, а комунікативні навички – як найважливіші м'які навички [6]. Науковці приділяють увагу фізичному здоров'ю моряків під час їх життєдіяльності в професійному середовищі. Так, Сорока О. зазначає, що окрім психологічних механізмів стабілізації здоров'я морського фахівця важливі також фізіологічні. Під час перебування моряка в морі фізичне перенапруження часто відчувається значно інтенсивніше [3]. Невідкладна медична допомога та поточні захворювання на борту можуть серйозно погіршити здоров'я та безпеку моряків, а також негативно вплинути на майбутні перспективи роботи моряків. Коли моряк захворює або отримує травму на судні, лікування часто залежить від компетенції його колег на борту. [7]. Таким чином, наукові дослідження останніх років відображають гнучке об'єднання психологічних та фізіологічних вимог щодо навичок, рис та якостей спеціалістів морської галузі.

Мета дослідження. Мета дослідження – створити психограму морського кадета. Щоб створити психологічний профіль (психограму), ми зібрали інформацію про поведінку, емоції, думки та риси особистості морського кадета. Особливість розробленої психограми є те, що її теоретичною основою стали різні види толерантності, актуальні для повсякденної та професійної діяльності здобувача морської освіти до і після проходження плавальної практики. Методи дослідження – архівний (вивчення конвенцій Міжнародної морської організації, вивчення вимог до морських кадетів на сайтах локальних та Європейських крьюінгових компаній), емпіричні (спостереження, анкетування, інтерв'ю, тестування та оцінювання). В опитуваннях брали участь студенти другого та третього курсів Київського інституту водного транспорту Державного університету інфраструктури та технологій. До опитування, анкетування, інтерв'ю та виконання тестів долучилися 30 респондентів факультетів судноводіння та експлуатації технічних систем на водному транспорті. Опитування проводилося на основі принципів добровільності та конфіденційності. В результаті були досліджені стиль спілкування, іншомовна комунікація, стресостійкість, адаптивність до іновацій та низка інших факторів, які впливають на ефективність життєдіяльності морського кадета в професійному середовищі. Аналізуючи ці елементи, ми сформували комплексний психологічний профіль особистості кадета.

Теоретична основа дослідження. Психологічна толерантність означає здатність людини протистояти різним психологічним стресам або адаптуватися до них. Психологічна толерантність - це готовність розуміти, приймати та поважати погляди, переконання або поведінку інших людей, навіть якщо вони відрізняються від ваших власних. Це вміння сприймати й розуміти різноманітність думок та поведінки без образливих суджень чи дискримінації.

Існує кілька ключових аспектів психологічної толерантності, які можуть вплинути на благополуччя людини та загальне психічне здоров'я, наприклад: емоційний, когнітивний, поведінковий, невизначеність, стійкість тощо. Важливо зазначити, що психологічна толерантність може відрізнятися від людини до людини, але на нього можуть впливати фактори навколишнього середовища – робота в морі. На психологічну толерантність моряків можуть

впливати різні фактори, зокрема: здатність справлятися зі стресом та ізоляцією під час перебування на морі; стійкість до непередбачуваних і складних ситуацій на кораблі; комунікативні навички орієнтуватися в міжособистісних конфліктах в замкнутому просторі; адаптація до мінливого середовища та графіків; емоційний інтелект для ефективного регулювання та вираження емоцій; адаптація до мінливого середовища та графіків; обізнаність щодо психічного здоров'я та готовність шукати підтримки, коли це необхідно. Ці фактори відіграють вирішальну роль у визначенні психологічної толерантності та загального самопочуття моряка під час роботи в морі.

Фізіологічна толерантність - це здатність організму витримувати різні негативні чинники (такі як стрес, температурні зміни, токсини тощо) без значного збою у його функціонуванні. Такі здатності можуть варіювати у кожної людини в залежності від генетичних особливостей та стану здоров'я.

Толерантність до фізичного навантаження - це здатність організму витримувати фізичні навантаження без виникнення втоми або травм. Ця якість може бути розвинута через систематичні тренування, правильне харчування і відпочинок. Для підвищення толерантності до фізичного навантаження важливо слідкувати за своїм здоров'ям, вчасно відновлювати сили після тренувань, а також слухати власне тіло і не перенавантажувати його.

Фізіологічна толерантність для моряків означає здатність членів екіпажу витримувати фізичні та психічні навантаження, пов'язані з роботою в морі. Вимоги до фізіологічної толерантності для моряків включають хороше фізичне здоров'я, серцево-судинну форму, психічну стійкість, здатність працювати тривалий час у складних умовах, адаптивність до мінливого середовища та здатність справлятися зі стресом та ізоляцією. Крім того, моряки повинні мати можливість виконувати надзвичайні процедури та впоратися з потенційно небезпечними ситуаціями на морі. Для моряків важливо проходити регулярні медичні огляди, щоб переконатися, що вони відповідають необхідним стандартам для роботи в морі.

Фізіологічна толерантність моряка визначається різними показниками, які включають: стійкість до морської хвилі і рухів судна; здатність до перебування на великій висоті над рівнем моря; адаптація до змін атмосферного тиску під час занурення; здатність до довготривалого перебування на воді та в умовах обмеженого простору; тривалість безсоння та зміна режиму сну.

Ці показники допомагають визначити, наскільки моряк може адаптуватися до особливостей життя на морі та уникнути можливих негативних наслідків для його здоров'я.

Фізіологічна толерантність відноситься до здатності організму витримувати і функціонувати в певних фізичних або фізіологічних умовах. Це межа, в межах якої організм може адаптуватися та виживати в різних умовах середовища, таких як температура, вологість або солоність. Різні організми мають різний рівень толерантності до цих умов, і їх здатність терпіти або пристосовуватися до змін у навколишньому середовищі має вирішальне значення для їхнього виживання та благополуччя. Під фізіологічною толерантністю моряків розуміють здатність протягом певного часу переносити певні навантаження, не отримуючи важких і незворотних ушкоджень. Для моряків важливо розвивати психологічну та фізичну стійкість і толерантність, оскільки це сприяє успішній роботі в умовах, які часто є викликом для їх фізичного та психічного здоров'я.

Комунікативна толерантність досліджувалася низкою українських науковців: Ключек Л. [8], Карпюк Ю. [9], Кремень В. [10], Квітка А. [11], Кухар, Т. [12], Скок А. [13] та інші. Харченко Н. та співавтори [14] підкреслюють, що «комунікувати толерантно означає, що суб'єкти комунікації висловлюються, сприймають і розуміють дискурси один одного без додаткових спроб роз'яснення, тлумачення вже висловленого, зберігаючи при цьому взаємну терпимість і повагу навіть тоді, коли у співрозмовників не співпадають погляди, точки зору, думки мови, мовленнєвої взаємодії, вербальні способи самовираження, мовленнєво-мовна компетентність за рівнем розвитку, культура поведінки, світосприймання, традиції, звичаї та інші відмінності...». Саме такі відмінності і виникають при спілкуванні комунікаторів різної національності іноземною мовою можна говорити про комунікативну іншомовну толерантність.

Ми досліджували комунікативну компетентність моряків [15], але спостереження з точки зору толерантності виявили негативне ставлення респондентів дослідження до відхилень від стандартів вимови у членів міжнародного екіпажу.

Толерантність до змін та інновацій означає відкритість та готовність приймати нові ідеї, технології або підходи без опору. Це важлива якість для успішного розвитку і вдосконалення, особливо у сучасному швидкозмінному світі. Тим самим, вона сприяє стимулюванню творчості, підвищенню продуктивності та розвитку нових інновацій. Важливо зазначити, що у світі, де технології постійно розвиваються, моряки мають бути готові до безперервного навчання та розвитку своїх навичок. Нові технології, наприклад, автоматизована навігація, дистанційне керування та цифрові системи управління, можуть вимагати додаткового навчання та розвитку вмінь.

Основні результати дослідження. Цілісний образ особистості включає в себе як фізичні, так і психологічні характеристики людини. Це включає також взаємодію людини з оточуючими, її переконання та здібності. Розвиток цілісного образу веде до гармонії та самовдосконалення. В пошуках обмежень при створенні цілісного образу морського кадета ми звернулися до поняття «толерантність». Це дозволило сконцентрувати увагу на основних фізіологічних та психологічних факторах. Навчальні заклади готують студентів до праці офіцерами на різних судах. Коли студент другого або третього курсу потрапляє на плавальну практику, він стає морським кадетом. Термін узагальнений, тому що на судні назви посад будуть залежати від відділень – навігація чи інженерія. На флоті морський кадет - це офіцер, який навчається. Професія моряка – це не просто робота, це спосіб життя. Вона вимагає не тільки професійних навичок і знань, а й фізичної витривалості, вміння працювати в команді, здатності швидко адаптуватися до мінливих умов і вміння залишатися спокійним в екстремальних ситуаціях.

Таблиця 1 – Психограма морського кадета

№	Вид толерантності	Фактори	Вміння, якості та риси
1.	Фізіологічна толерантність	Зорове сприйняття	мати добре розвинене зорове сприйняття, оскільки часто доводиться визначати далекі об'єкти на горизонті
		Фізична витривалість	готовність до фізичних навантажень
		Фізична витривалість	Стійкість до морської хвилі і рухів судна.
		Фізична витривалість	Здатність до перебування на великій висоті над рівнем моря.
		Фізична витривалість	Адаптація до змін атмосферного тиску під час занурення.
		Фізична витривалість	Здатність до довготривалого перебування на воді та в умовах обмеженого простору.
		Фізична витривалість	Тривалість безсоння та зміна режиму сну.
		Сенсомоторні реакції	Реакції на об'єкт, який рухається; увага; швидкість переключення уваги; зорова та слухова пам'ять; орієнтація у просторі; переносимість втоми
2.	Психологічна толерантність	стресостійкість	Уміння контролювати емоції, та почуття тривоги
		когнитивність	Уміння вирішувати проблеми в умовах постійного стресу, відсутності рідного берега та родини
		стресостійкість	Здатність справлятися зі стресом та ізоляцією під час перебування на морі
		когнитивність	Стійкість до непередбачуваних і складних ситуацій на

			кораблі, здатність приймати рішення та діяти в екстремальних умовах
		Психологічна грамотність	Обізнаність щодо психічного здоров'я та готовність шукати підтримки, коли це необхідно
3.	Комунікативна толерантність	Комунікабельність	Уміння ефективно взаємодіяти з командою Необхідні риси- терпимість, емпатія, інтелектуальна гнучкість, повага та самоконтроль.
		Комунікабельність	Комунікативні навички орієнтуватися в міжособистісних конфліктах в замкнутому просторі
4.	Комунікативна іншомовна толерантність	Комунікабельність	Уміння розуміти та позитивно сприймати відмінності вимови
		Комунікабельність	Сприймати позитивно релігійні та культурологічні відмінності
		Комунікабельність	Уміння приховувати або пом'якшувати неприємні почуття при зіткненні з некомунікабельними якостями партнерів
		Комунікабельність	Гнучкість щодо стандартів іноземної мови
5.	Інноваційна толерантність	Адаптивність	Адаптація до мінливого середовища та графіків
		Адаптивність	Адаптивність до технічних змін та інновацій

Методики оцінки рівня сформованості якостей та навичок морського кадета. Міжнародна морська організація пропагує толерантність до моряків через різні конвенції та ініціативи. Ці документи захищають права моряків, забезпечують їх добробут і покращують умови праці на борту суден. Крім того, впровадження політики, спрямованої на боротьбу з дискримінацією або упередженням на основі раси, статі, національності чи будь-якого іншого фактора, має важливе значення для виховання толерантності до моряків. Така політика сприяє створенню гармонійного та інклюзивного середовища в морській галузі. Дослідження сайтів крюїнгових компаній навело нас на поняття «політика нульової толерантності», здебільшого до забруднення, переслідувань і знущань, експлуатації моряків.

Показники стресостійкості можуть включати фізіологічні реакції на стрес, такі як рівень кортизолу, серцева частота та дихання, а також психологічні фактори, такі як здатність до саморегуляції, оптимізму, впевненості у собі та соціальної підтримки. Стійкість до стресу може також залежати від особистісних рис, таких як емоційна стійкість, наявність цілей та переконань, адаптивні стратегії вирішення проблем та вміння пристосовуватися до змін. Існує кілька методів оцінки стресостійкості. Ці методи можуть включати анкети для самооцінки, оцінку поведінки, фізіологічні вимірювання та інтерв'ю. Деякі широко використовувані методи оцінки стійкості включають:

1. Анкети для самооцінки: це стандартизовані опитування, у яких людей просять оцінити власний сприйнятий рівень стресу та механізми подолання. Приклади включають шкалу стійкості Коннора-Девідсона (CD-RISC) і шкалу сприйнятого стресу (PSS).

2. Оцінка поведінки. Спостереження за тим, як люди реагують на ситуації, що викликають стрес, може дати розуміння їх стресостійкості. Це може включати завдання, які імітують стресові події чи виклики.

3. Фізіологічні вимірювання: реакції на стрес можна виміряти за допомогою фізіологічних маркерів, таких як варіабельність серцевого ритму, рівень кортизолу та артеріальний тиск. Ці вимірювання можуть надати об'єктивні дані про реакцію людини на стрес.

4. Інтерв'ю: можна проводити структуровані інтерв'ю, щоб оцінити індивідуальні стратегії подолання, мережі соціальної підтримки та минулий досвід стресу. Цей якісний метод може забезпечити більш глибоке розуміння індивідуальної стійкості.

5. Оцінка фізіологічної придатності до роботи на судні проводиться медичною комісією у медичних закладах згідно Наказу про затвердження правил визначення придатності за станом здоров'я осіб для роботи на судах.

6. Діагностика комунікативної толерантності (за В.В. Бойко). Рівень комунікативної толерантності визначається за такими категоріями:

- Неприйняття або нерозуміння індивідуальності іншого
 - Орієнтація на себе, як на еталон при оцінці інших
 - Категоричність або консерватизм в оцінках інших
 - Невміння приховувати або пом'якшувати неприємні почуття при зіткненні з некоммунікбельними якостями партнерів
 - Невміння вибачати іншому помилки, незграбність.
 - Нетерпимість до фізичного або психологічного дискомфорту партнера
 - Невміння пристосовуватися до партнерів
7. Діагностика комунікативної іншомовної толерантності морського кадета.
Ми пропонуємо авторський тест.

Таблиця 2 – Тест визначення рівня сформованості іншомовної комунікативної толерантності.

№	Питання
1.	Коли я зустрічаю когось, хто чимось відрізняється від мене, я намагаюся зрозуміти, що у нас спільного та які цілі ми можемо поділяти.
2.	Мене приваблює можливість говорити англійською мовою.
3.	Я не боюсь робити граматичні помилки, коли я говорю англійською мовою.
4.	Коли я зустрічаю когось, хто чимось відрізняється від мене, мені він цікавий, і я розпитую, щоб дізнатися його краще.
5.	Сильні акценти та викривлення слів викликають у мене сміх.
6.	Люди, які виглядають по-іншому і поведуться мені незрозуміло, змушують мене почуватися дуже некомфортно.
7.	Я волію перебувати в групах, де рівень володіння англійською у всіх збігається з моїм.
8.	Я не соромлюсь моїх помилок, коли говорю англійською та не засуджую інших.
9.	Мене зацікавили культурні та етнічні відмінності; Люди іншого походження часто мені цікавіші.
10.	На мою думку, найкраще ігнорувати культурні відмінності. Я вважаю, що було б краще, якби ми всі були однакові.

8. Діагностика адаптивності до змін та інновацій. Ми розробили авторський опитувальник для морського кадета про сприйняття змін та інновацій.

9. Діагностика фізіологічних показників проводиться медичною комісією [16]. Для діагностики ми пропонуємо низку тестів CogniFit (CAB-PC) [17]. Ми пропонуємо виконання тесту «Оцінка сприйняття когнітивних здібностей (CAB-PC)», який надає точну оцінку відповідних когнітивних навичок, таких як візуальне сприйняття, оцінка та розпізнавання. Тест «Координаційна когнітивна оцінка (CAB-CO)» надає точну оцінку таких навичок, відповідних як гальмування, координація рук і очей. Завершивши повне когнітивне оцінювання, можна визначити, які навички є сильнішими, а які з них можуть потребувати певного навчання.

Запропонована психограма морського кадета дозволяє зробити акцент на ключових сферах формування толерантності, а саме:

1. Розуміння різниці між людьми: важливо розуміти, що кожна людина унікальна і має свої власні думки, переконання і життєвий досвід.
2. Відкритість і сприйняття: важливо бути відкритим до нових ідей, культур і переконань, навіть якщо вони відрізняються від ваших власних.
3. Емпатія і співчуття: спробуйте поставитися до інших з розумінням і співчуттям, враховуючи їхні почуття та потреби.
4. Самосвідомість і самовдосконалення: важливо виявляти свої власні упередження і намагатися працювати над ними, щоб бути більш толерантним. Самосвідомість і самовдосконалення можна розвинути, прагнучи зрозуміти себе краще і ставлячи перед собою

нові цілі. Дуже важливо слухати свої почуття і думки, які виникають у процесі спілкування з іншими людьми або при саморефлексії, а також відкривати для себе нові можливості для розвитку. Також важливо вести здоровий спосіб життя, займатися спортом, підтримувати розумову активність та брати участь у різних цікавих заходах. Не забувайте також про важливість позитивного мислення і відмови від шкідливих звичок.

5. Адаптивність до змін та інновацій. Сучасні судна стають дедалі більш технологічно просунутими, і тому морякам потрібно регулярно оновлювати свої технічні знання та навички. Навчання може включати все, від нових систем навігації та автоматизованих систем управління до останніх технологій безпеки.

6. Підтримка психічного здоров'я. Психічні стани моряка можуть включати почуття соціальної ізоляції, втоми від тривалого перебування на відкритому морі, страх від можливих небезпек та стресу від виконання важливих обов'язків на кораблі. Крім того, моряки можуть також відчувати симптоми морської хвороби, яка може впливати на їх психічний стан. Щоб підтримати психічне здоров'я моряків, важливо забезпечити їм доступ до підтримки та професійної допомоги в разі необхідності. Підтримка психічного здоров'я моряка дуже важлива, оскільки робота на судні може бути дуже стресовою та виснажливою для людини. Важливо надавати моряку можливість відпочивати, знайомитися з новими людьми та мати доступ до психологічної підтримки у разі потреби. Також важливо створювати сприятливі умови для збереження психічного здоров'я, такі як забезпечення можливості спілкуватися з близькими, займатися фізичною активністю та забезпечувати належний дозвіл на відпочинок.

7. Підтримка фізичного здоров'я. Моряки повинні проходити регулярні медичні огляди, щоб вчасно виявляти будь-які проблеми зі здоров'ям та вчасно їх лікувати. Але необхідно постійно займатися самовдосконаленням свого фізичного стану. З цією метою у навчальних закладах працюють різні спортивні секції. Також доцільні регулярні фізичні вправи: це може включати біг, присідання, вправи на розтягнення та інші вправи. Ми радимо також нашим майбутнім морякам споживати збалансовану їжу, яка містить необхідні поживні речовини і вітаміни для підтримки їхнього фізичного здоров'я.

Створений цілісний образ морського кадета дає розуміння, що багато залежить від самонавчання та самовдосконалення здобувачів морської спеціальності.

Висновки. В пошуках обмежень при створенні цілісного образу морського кадета ми звернулися до поняття «толерантність». Щоб створити психологічний профіль (психограму), ми зібрали інформацію про поведінку, емоції, думки та риси особистості морського кадета, вивчили вимоги щодо навичок морських кадетів, провели низку опитувань та тестувань. Особливість розробленої психограми є те, що її теоретичною основою стали різні види толерантності, актуальні для повсякденної та професійної діяльності здобувача морської освіти до і після проходження плавальної практики. Такими видами толерантності стали: фізіологічна, психологічна, комунікативна, комунікативна іншомовна та інноваційна. Були виділені фактори, за якими можна оцінити рівень сформованості навичок, рис та якостей морського кадета, а саме: фізична витривалість, сенсомоторні реакції, зорове сприйняття; (фізіологічні), стресостійкість, когнітивність, психологічна грамотність, комунікабельність та адаптивність. Для оцінки рівня сформованості зазначених факторів апробовані валідні існуючі методи діагностики та розроблені авторські методики.

ЛІТЕРАТУРА

1. Formela, K., BoŁnjak, R., & Pusch, V. (2023a). Modern Cadet Training. The Challenge Between the Various Training Systems and New Demands Set by the Industry. *TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*, 17(4), 929–934. <https://doi.org/10.12716/1001.17.04.19>
2. Jonglertmontree, W., Kaewboonchoo, O., Morioka, I., & Boonyamalikh, P. (2022). Mental health problems and their related factors among seafarers: a scoping review. *BMC Public Health*, 22(1). <https://doi.org/10.1186/s12889-022-12713-z>

3. Soroka, O. (2020). The reliability of sailors' professional work: the main developmental stages. *Psychological journal*, 6(10), 75–84. <https://doi.org/10.31108/1.2020.6.10.8>
4. Hossain Chowdhury, M. M., Askari, H. R., Bushra, R. T., & Rahmath Ullah, T. (2023). Revisiting seafarers' skills in the twenty-first century: a modified Delphi-BWM approach. *Australian Journal of Maritime & Ocean Affairs*, 1–21. <https://doi.org/10.1080/18366503.2023.2214429>
5. Baum-Talmor, P., & Kitada, M. (2022). Industry 4.0 in shipping: Implications to seafarers' skills and training. *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*, 13, 100542. <https://doi.org/10.1016/j.trip.2022.100542>
6. Bao, J., Li, Y., Duan, Z., Li, T., & Zhang, P. (2021). Key factors affecting the quality of maritime education and training: empirical evidence from China. *Journal of Navigation*, 74(2), 396–408. <https://doi.org/10.1017/s0373463320000740>
7. Nikolić, N., Haga, J. M., Tülsner, J., Årland, P. O., Horneland, A. M., Kavanagh, B., Seidenstucker, K., Briggs, S., Lund-Kordahl, I., & Pernilla, C. S. (2023). Medical training of seafarers: International Maritime Health Foundation (IMHF) Expert Panel Consensus Statement. *International Maritime Health*, 74(1), 15–23. <https://doi.org/10.5603/imh.2023.0002>
8. Ключек, Л., & Уличний, І. (2021). Комунікативна толерантність як психологічний чинник справедливості у педагогічній взаємодії. *Науковий часопис НПУ імені М. П. Драгоманова. Серія 12. Психологічні науки*, 79–88. [https://doi.org/10.31392/npu-nc.series12.2021.15\(60\).08](https://doi.org/10.31392/npu-nc.series12.2021.15(60).08)
9. Карпюк, Ю.Я. (2019). Комунікативна толерантність як детермінанта професійної компетентності сучасного психолога. *Теорія і практика сучасної психології*, 5(1), 93–99. 3.
10. Кремень, В.Г. (2011). Толерантність як імператив: національна ідентичність в добу глобалізації. *Політичний менеджмент*, 2, 14–32. 5.
11. Квітка, А. С. (2021). Сутність, Особливості Змісту І Структура Соціально-Комунікативної Компетентності Майбутніх Офіцерів Державної Кримінально-Виконавчої Служби України. *Духовність особистості: методологія, теорія і практика*, 101(2(Ч.2)), 36–48. https://doi.org/10.33216/2220-6310-2021-101-2_2-36-48
12. Кухар, Т. В. (2022). Особливості Комунікативної Толерантності Курсантів Академії Діпмс. *Науковий вісник Ужгородського національного університету. Серія: Психологія*, (4), 97–101. <https://doi.org/10.32782/psy-visnyk/2021.4.19>
13. Скок, А.Г. (2011). Модель навчання толерантності. *Вісник Чернігівського національного педагогічного університету імені Т.Г. Шевченка: Психологічні науки*, 94(II), 162–164.
14. Харченко Н., Волженцева І., Лиля М. Комунікативна толерантність: дискусійне поле розуміння. *Теоретичні і прикладні проблеми психології*. 2023. № 3(62)Т.2. С. 198–218. URL: <https://doi.org/10.33216/2219-2654-2023-62-3-2-198-218>
15. Tyron, O., & Kaminska, S. (2023). Seafarers' Readiness to Communicate in Professional Environment. *Transactions on Maritime Science*, 12(2). <https://doi.org/10.7225/toms.v12.n02.012>
16. Наказ № 347 від 19.11.1996 Про затвердження Правил визначення придатності за станом здоров'я осіб для роботи на суднах. Редакція від 11.05.2010 | ZakonOnline
17. COGNITFIT. <http://cognitfit.com/cognitive-test>

REFERENCES

1. Formela, K., BoŁnjak, R., & Pusch, V. (2023a). Modern Cadet Training. The Challenge Between the Various Training Systems and New Demands Set by the Industry. *TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*, 17(4), 929–934. <https://doi.org/10.12716/1001.17.04.19>
2. Jonglertmontree, W., Kaewboonchoo, O., Morioka, I., & Boonyamalik, P. (2022). Mental health problems and their related factors among seafarers: a scoping review. *BMC Public Health*, 22(1). <https://doi.org/10.1186/s12889-022-12713-z>
3. Soroka, O. (2020). The Reliability Of Sailors' Professional Work: The Main Developmental Stages. *Psychological Journal*, 6(10), 75–84. <https://doi.org/10.31108/1.2020.6.10.8>

4. Hossain Chowdhury, M. M., Askari, H. R., Bushra, R. T., & Rahmath Ullah, T. (2023). Revisiting seafarers' skills in the twenty-first century: a modified Delphi-BWM approach. *Australian Journal of Maritime & Ocean Affairs*, 1–21 <https://doi.org/10.1080/18366503.2023.2214429>
5. Baum-Talmor, P., & Kitada, M. (2022). Industry 4.0 in shipping: Implications to seafarers' skills and training. *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*, 13, 100542. <https://doi.org/10.1016/j.trip.2022.100542>
6. Bao, J., Li, Y., Duan, Z., Li, T., & Zhang, P. (2021). Key factors affecting the quality of maritime education and training: empirical evidence from China. *Journal of Navigation*, 74(2), 396–408. <https://doi.org/10.1017/s0373463320000740>
7. Nikolić, N., Haga, J. M., Tülsner, J., Årland, P. O., Horneland, A. M., Kavanagh, B., Seidenstucker, K., Briggs, S., Lund-Kordahl, I., & Pernilla, C. S. (2023). Medical training of seafarers: International Maritime Health Foundation (IMHF) Expert Panel Consensus Statement. *International Maritime Health*, 74(1), 15–23. <https://doi.org/10.5603/imh.2023.0002>
8. Kloček L. & Ulychnyi I. (2021). Komunikatyvna tolerantnist yak psychologichniy chinnyk spravedlyvosti u pedahohichniy vzaiemodii. [Communicative tolerance as psychological factor of justice in pedagogical interaction]. *Naukovyi chasopys NPU named M.P. Dragomanova. V. 12. Psyhologichni nauky*, 79–88. [https://doi.org/10.31392/npu-nc.series12.2021.15\(60\).08](https://doi.org/10.31392/npu-nc.series12.2021.15(60).08) [in Ukrainian].
9. Karpiuk, Yu.Ia. (2019). Komunikatyvna tolerantnist yak determinanta profesiinoi kompetentnosti suchasnoho psykholoha [Communicative tolerance as a determinant of professional competence of a modern psychologist]. *Teoriia i praktyka suchasnoi psykholohii*, 5(1), 93–99 [in Ukrainian].
10. Kremen, V.H. (2011). Tolerantnist yak imperativ: natsionalna identychnist v dobu hlobalizatsii [Tolerance as an imperative: national identity in the age of globalization]. *Politychnyi menedzhment*, 2, 14–32 [in Ukrainian].
11. Kvitka A.S. (2021). Sutnist, osoblyvosti zmistu i struktura sotsialno-romunikatyvnoi kompetentnosti maibutnih ofitseriv derzhavnoi kryminalno-vykonavchoi sluzhby Ukrainy [Essence, features of the content and structure of social and communicative competence of future officers of the state criminal and executive service of Ukraine]. *Duhovnist osobystosti: metodologia, teoriia i praktyka*, 101(2(P.2)), 36–48. https://doi.org/10.33216/2220-6310-2021-101-2_2-36-48 [in Ukrainian].
12. Kuhar T. V. (2022). Osoblyvosti komunikatyvnoi tolerantnosti kursantiv akademii DPTS. [Features of communicative tolerance of cadets of the DPTS academy]. *Naukovyi visnyk Uzhgorodskogo natsionalnogo universytetu. Seriia: Psyhologiiia*, (4), 97–101. <https://doi.org/10.32782/psy-visnyk/2021.4.19> [in Ukrainian].
13. Skok, A.H. (2011). Model navchannia tolerantnosti [Tolerance learning model] *Visnyk Chernihivskoho natsionalnogo pedahohichnoho universytetu imeni T.H. Shevchenka: Psykholohichni nauky*, 94(II), 162–164 [in Ukrainian].
14. Harchenko N., Volzhentseva I., Lyla M. (2023). Komunikatyvna tolerantnist: dyskusiine pole rozuminnia. [Communicative tolerance: a debatable field of understanding] *Teoretychni i prykladni problem psykhologii*. № 3(62)V.2. pp. 198–218. URL: <https://doi.org/10.33216/2219-2654-2023-62-3-2-198-218> [in Ukrainian].
15. Tyron, O., & Kaminska, S. (2023). Seafarers' Readiness to Communicate in Professional Environment. *Transactions on Maritime Science*, 12(2). <https://doi.org/10.7225/toms.v12.n02.012>
16. Nakaz № 347 vid 19.11.1996 Pro zatverdzhennia pravyl vyznachennia prydatnosti za stanom zdorovia osib dla roboty na sudnah. Reduktsiia vid 11/05/2010 [On Approval of the Rules for Determining the Health Fitness of Persons for Work on Ships]. *Zakon Online*
17. COGNITFIT. <http://cognitfit.com/cognitive-test>

Tyron O.M., Yelieazarov O.P.

PSYCHOGRAM AS A TOOL FOR CREATING A COMPREHENSIVE IMAGE OF A MARINE CADET BASED ON THE ANALYSIS OF DIFFERENT TYPES OF TOLERANCE

While working at sea, a seafarer faces many psychological, physiological and communicative challenges. Maintenance of seafarers from the point of view of their well-being, education of both psychological and physiological tolerance is a very urgent task in our time. The International Maritime Organization promotes tolerance towards seafarers through various conventions and initiatives. These documents protect seafarers' rights, ensure their welfare and improve working conditions on board ships. In addition, the implementation of policies aimed at combating discrimination or prejudice based on race, sex, nationality or any other factor is essential for fostering tolerance towards seafarers. Therefore, the goal of the study was to create a psychogram of a sea cadet. The research methods are archival (studying the conventions of the International Maritime Organization, studying the requirements for sea cadets on the websites of local and European crewing companies), empirical (observation, questionnaires, interviews, testing and evaluation). The survey was conducted based on the principles of voluntariness and confidentiality. As a result, the style of communication, foreign language communication, stress resistance, adaptability to innovations and a number of other factors that affect the effectiveness of a sea cadet's life in a professional environment were investigated. Analyzing these elements, we formed a complex psychological profile of the cadet's personality. To create a psychological profile (psychogram), we collected information about the behavior, emotions, thoughts and personality traits of a sea cadet. The peculiarity of the developed psychogram is that its theoretical basis is various types of tolerance, relevant for the everyday and professional activities of a student of maritime education before and after swimming practice. These types of tolerance are: physiological, psychological, communicative, communicative foreign language and innovative. Factors that can be used to assess the level of formation of skills, traits and qualities of a sea cadet were identified, namely: physical endurance, sensorimotor reactions, visual perception, stress resistance, cognition, psychological literacy, sociability and adaptability. To assess the level of formation of the specified factors, valid existing diagnostic methods were tested and author's methods were developed. The created holistic image of a naval cadet gives an understanding that a lot depends on self-education and self-improvement of those acquiring a marine specialty.

Key words: *psychogram of a sea cadet, psychological tolerance, physiological tolerance, communicative tolerance, adaptive*

УДК 339.138

doi.org/10.33298/2226-8553.2023.2.40.20

Кучерук Г. Ю., Лерніченко К. В., Бойко С. О.

ФОРМУВАННЯ ІНФРАСТРУКТУРИ ТУРИСТИЧНИХ ПОСЛУГ ТА РЕКЛАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НА ВОДНОМУ ТРАНСПОРТІ У ПОВОЄНИЙ ПЕРІОД

Стаття присвячена вирішенню пріоритетних інфраструктурних проблем якісного надання туристичних послуг на комплексних круїзних маршрутах в Україні. Автори звертають увагу на необхідність оптимізації діяльності річкових та морських портів, модернізації портової інфраструктури для прийняття міжнародних круїзних туристів та підвищення задоволеності споживачів якістю та кількістю послуг. Проведено аналіз досліджень зарубіжних та українських учених щодо розвитку інфраструктури туристичних послуг, а також здійснено обстеження пасажиропотоків у річковій та прибережній акваторії України за допомогою

анкетного опитування. Запропоновано удосконалення інфраструктури круїзного туризму через інноваційну модернізацію, розвиток телекомунікаційної інфраструктури та маркетингові заходи, враховуючи соціальний та економічний аспекти. Основні рекомендації включають диференціацію екскурсійних турів, модернізацію флоту, розроблення комбінованих маршрутів та поліпшення реклами екскурсійних турів і круїзів.

Ключові слова: інфраструктура, туризм, послуги, рекламне забезпечення, водний транспорт.

Постановка проблеми. Вирішення пріоритетних інфраструктурних проблем якісного надання туристичних послуг на комплексних круїзних маршрутах пов'язане із необхідністю оптимізації діяльності річкових та морських портів, модернізації портової інфраструктури щодо прийняття міжнародних круїзних туристів, збільшення задоволеності споживачами якістю та кількістю послуг.

Питання формування інфраструктури туристичних послуг вивчала низка зарубіжних учених, серед яких М. Вогел, А. Папатханасіс, Б. Вольбер [1], Р. Бошнягу, С.Е. Кок, Ф. Сореску [2]. Значний внесок в розробку теоретичних і практичних проблем інфраструктури туристичних послуг на підприємствах водного транспорту зробили: В.В. Жихарева, яка досліджувала проблеми розвитку сучасного круїзного судноплавства [3]; Н.А. Логунова, яка здійснила аналіз складових круїзного продукту [4]; І.Я. Антоненко і І.Л. Мельник, які запропонували механізм управління інноваціями на українських підприємствах круїзного бізнесу [5] та ін. У загальному вони стверджують про необхідність розвитку інфраструктури круїзного судноплавства через міжнародну інтеграцію транспортних комунікацій держави, інноваційну модернізацію інфраструктури морських портів України. Проте наявні наукові доробки не охопили аналіз задоволення потреб туристів на водному транспорті та їхніх уподобань, що актуалізує потребу в подальших наукових дослідженнях у цьому напрямі.

Виклад основного матеріалу. Проблему підвищення ефективності комплексної круїзної інфраструктури туризму в Україні, що виникає при цьому, слід розглядати з двох боків: по-перше, з позиції зростання добробуту соціально-культурного рівня населення та задоволення його зростаючих потреб щодо відпочинку, подорожей і пізнання за умови високого сервісного обслуговування (соціальний аспект); по-друге, з позиції збільшення прибутку та рентабельності (на рівні макроекономіки), валового регіонального продукту (на рівні мезоекономіки) за одночасного прагнення до стабільності та зниження собівартості перевезень (видаткової частини регіонального чи федерального бюджетів) в умовах державного регулювання (економічний аспект).

Ефективної організації та вдалого управління круїзною інфраструктурою туризму може бути досягнуто лише за наявності інформації щодо попиту на фіксовану туристичну послугу у населення з урахуванням нерівномірності її надання за періодами навігації.

Водночас під пасажиропотоком на туристично-екскурсійних маршрутах слід розуміти кількість туристів (екскурсантів), які фактично користуються або будуть користуватися окремими маршрутами, напрямками чи ділянками за певний період.

На розвиток інфраструктури комплексного круїзного туризму на водному транспорті в країні впливає не тільки можливий суднопотік, залізнична інфраструктура, а й система ландшафтно-рекреаційних зон (баз та місць відпочинку) та привабливих екскурсійних об'єктів, що формуються в агломерації великого водно-транспортного вузла містоутворюючих підприємств та сфери послуг.

Вплив привабливості екскурсійних об'єктів та пасажирського флоту з урахуванням можливих інвестицій у людський капітал на розвиток та ефективність формування та функціонування інфраструктури комплексного круїзного туризму нами запропоновано визначати за допомогою використання системи економетричних методів та моделей [4].

За такої умови здійснюється економічно обґрунтоване розміщення круїзного флоту та рухомого складу суміжних видів пасажирського транспорту з урахуванням їхнього інтенсивного використання на туристських (комплексних) маршрутах, ефективної та

розвиненої соціальної інфраструктури країни завдяки використанню багатоаспектних маркетингових досліджень.

Разом з тим розвиток туристичної галузі випереджаючими темпами в нашій країні та зростання ролі конкуренції й ступеня комерціалізації туристичної діяльності призвели до необхідності формування ефективної інфраструктури туристичного бізнесу. Досвід розвинених країн свідчить, що вирішення цієї проблеми може бути досягнуто завдяки застосуванню нових інформаційних комп'ютерних технологій та шляхом побудови на їх основі телекомунікаційної інфраструктури управління туристичними фірмами.

Важливим джерелом інформації щодо пасажиропотоків (турпотоків) зазвичай є матеріали маркетингових (соціологічних) досліджень. Тому очевидною є необхідність їх систематичного проведення. Обстеження пасажиропотоків можна здійснювати методом як суцільного, так і вибіркового опитування.

Обстеження турпотоків є доцільним як на транспортних пасажирських лініях, так і на екскурсійно-прогулянкових, бо, маючи кінцеву мету – покращення якості обслуговування населення, результати опитувань часто доповнюють одне одного та сприяють розвитку різних видів пасажирських сполучень.

Водночас на сучасному етапі забезпечення подальшого розвитку України в умовах воєнного стану, необхідно приділяти особливу увагу й питанням розвитку туристичної галузі економіки в повоєнний період.

Під час дослідження авторами статті було проаналізовано 5-ти рівневу систему анкетного опитування [2] для формування теоретико-методологічних засад формування та функціонування ефективної туристичної індустрії в умовах ринку та підвищення її конкурентоспроможності й створено власний алгоритм анкетування (табл. 1).

Таблиця 1 – Анкета опитування пасажирів з метою покращення їх обслуговування під час туристичних перевезень водним транспортом. Просимо Вас відповісти на запитання анкети та висловити свої зауваження.

Запитання	Відповіді
1. Яким видом транспорту Ви хотіли б дістатися до місця Вашого відпочинку (підкреслити)?	Залізничним; Автомобільним; Водним; Авіаційним.
2. Чи бажали б Ви провести відпочинок на круїзному судні?	Так Ні
3. Чи бажали б Ви здійснити трансфер до місця відпочинку річковим транспортом (швидкісним)?	Так Ні
4. Які місця та пам'ятки культури під час відпочинку Ви хотіли б відвідати?	
5. Якими водними маршрутами Ви хотіли б здійснювати екскурсії?	
6. Який місяць року для подорожі Вам найбільше підходить?	
7. Якому туру Ви віддасте перевагу?	А) одноденному Б) 2-5-денному

	В) понад 5 днів
8. Яким заходам під час туру Ви віддаєте перевагу?	А) Вихід на берег у культурних центрах, розташованих на маршруті. Б) Концертна програма на борту туристичного судна під час подорожі. В) Вечірня дискотека на борту судна. Г) Інше.
9. Що для Вас є найбільш важливим під час відпочинку на водному транспорті? (Розташуйте варіанти в порядку зменшення Ваших пріоритетів)	А) Доступ до засобів телекомунікації, мережі Internet тощо. Б) Дизайн та зручність каютних приміщень, місць прийому їжі тощо. В) Якість роботи обслуговуючого персоналу. Г) Культурна програма (вихід на берег у культурних центрах, розташованих на маршруті, концертна програма, вечірки та ін.) Д) Поєднання відпочинку та вирішення проблем бізнесу (наради, ділові зустрічі тощо). Е) Тариф, вартість туру водним транспортом.
10. Ваші пропозиції щодо організації та вдосконалення екскурсійно-прогулянкових перевезень пасажирів на водному транспорті.	

Вкажіть, будь ласка, Ваш вік і стать _____.

Дякуємо!

Автори статті здійснили обстеження пасажиропотоків у річковій та прибережній акваторії України. Анкетування проводилося між фахівцями-експертами, які, окрім заповнення анкет, надали свої рекомендації щодо її удосконалення та потенційними користувачами туристичних послуг. Опитані експерти є працівниками туристичних компаній м. Києва та м. Одеси.

Дослідження носило пошуковий і загальнометодологічний характер. Обстеження пасажиропотоків здійснювалося методом анкетного опитування пошукового характеру.

Вивчення пасажиропотоків на екскурсійних напрямках річкових та морських портів здійснювалося з урахуванням тривалості екскурсійного обслуговування. Що стосується найпопулярніших туристичних маршрутів, то експертам пропонувалося обрати 2-3 найцікавіші маршрути.

В результаті анкетування експертами було висловлено низку побажань щодо розвитку інфраструктури річкових, морських та змішаних туристсько-екскурсійних маршрутів. Крім того, надано пропозиції щодо організації та вдосконалення туристсько-екскурсійних маршрутів на водному транспорті. Зокрема найпоширенішими є такі рекомендації:

- диференціація екскурсійних турів і розміщення пасажирів за віковими категоріями (студенти, дорослі з дітьми, пенсіонери);
- обладнання кают засобами телекомунікації, з можливістю виходу в Internet (рішення проблем бізнесу);
- модернізація флоту;
- розроблення комбінованих маршрутів (на суміжних видах транспорту);
- поліпшення реклами екскурсійних турів і круїзів;
- організація розважальної програми за захопленнями в розрізі вікових груп (концерти і культурні програми для батьків з неповнолітніми дітьми, вечірні дискотеки для молоді тощо).

Вивчений досвід участі в розробленні підґрунтя для системи розвитку і розміщення об'єктів туризму, відкритті нових туристичних центрів і екскурсійних об'єктів пізнавального (інтелектуальний потенціал) і оздоровчого характеру (ландшафтний потенціал), у Каневі на Дніпрі, Кременчуці, Світловодську, на острові Хортиця та ін. дозволить ретранслювати його в комплексну інфраструктуру малого бізнесу і підприємництва, а також створить реальні умови для його ефективного функціонування, вдосконалення і перспектив розвитку інфраструктури туризму.

Зокрема, ґрунтуючись на отриманих результатах методичних і методологічних досліджень виявлена потреба в спеціалізованих пасажирських суднах для розвитку круїзної транспортної інфраструктури в регіонах, що підтверджується кон'юнктурними змінами і попитом на світовому фрахтовому ринку.

На нашу думку необхідно створювати попередній "портфель" замовлень на пасажирські судна (в т.ч. на морському флоті – малий каботаж). Для цього в Україні є реальна науково-виробнича й інтелектуальна інфраструктура (м. Миколаїв, Чернігів, Херсон та ін.) [5].

Необхідно також удосконалювати форми і методологію формування організації, координацію і взаємодію круїзної інфраструктури туризму в регіонах, здійснювати пошук економічно обґрунтованих резервів у збільшенні туристичного потоку на водному транспорті, використовуючи рекреаційний потенціал, покращуючи вплив реклами, PR та ін. Роль реклами в розвитку круїзної інфраструктури на водному транспорті має бути однією з пріоритетних (оприлюднення інформації щодо результатів досліджень хронометрації експериментальних туристсько-екскурсійних маршрутів, анкетування). Необхідно вдосконалювати всі форми реклами: видавати проспекти, буклети, фото-листівки, створювати слайди і кінофільми, відеофільми, використовувати радіо і телебачення, виступи у пресі, ретранслювати інформаційний ресурс (сайти в інтернеті), що спонукає до створення і забезпечення ефективного функціонування у туристичній галузі маркетингової інформаційної системи (МІС).

Цьому сприяє здійснення низки маркетингових заходів: розроблення стратегічного маркетингового плану і графіку його виконання, призначення групи для розроблення програми маркетингової діяльності, запровадження кооперації з туроператором щодо завантаження, інституціонального забезпечення на умовах спільної участі в перевезеннях, розроблення спільних заходів щодо просування продукту на туристичному ринку, апробація нових туристичних послуг тощо.

Сучасний етап розвитку туристично-екскурсійного обслуговування, що динамічно розвивається, вимагає подальшого вдосконалення інфраструктури туризму й підвищення її ефективності на водному транспорті: в кожному конкретному водотранспортному хабі, необхідно вести пошук резервів для розвитку й удосконалення туристично-екскурсійної роботи турфірми, формування і функціонування рентабельної соціальної інфраструктури в умовах ринку.

Висновки. Таким чином, автори статті, спираючись на досвід попередніх досліджень та вивчаючи регіональну транспортну (соціальну) інфраструктуру з урахуванням попиту населення на туристсько-екскурсійні рейси (маршрути), здійснивши аналіз власних маркетингових спостережень, внесли доповнення в інноваційну методологію ефективного рекреаційно-туристичного інфраструктурного комплексу в умовах ринку на повоєнний період.

ЛІТЕРАТУРА

1. Vogel M. The business and management of ocean cruises / M. Vogel, A. Papathanassis, B. Wolber // CABI. – 2012. – 296 p.
2. Bosneagu R. Management and Marketing Elements in Maritime Cruises Industry. European Cruise Market / R. Bosneagu, C.E. Coca, F. Sorescu // EIRP Proceedings. – 2015. – Vol. 10. – PP. 350-351.
3. Антоненко І.Я. Механізм управління інноваційним круїзним туристичним продуктом / І.Я. Антоненко, І.Л. Мельник // Економічний часопис-XXI. – 2015. – № 1-2(2). – С. 313-319.

4. Про затвердження Морської доктрини України на період до 2035 року. Постанова Кабінету Міністрів України від 07.10.2009 № 1307 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon1.rada.gov.ua/laws/show/>.
5. Економіка регіонів у 2015 році: нові реалії і можливості в умовах започаткованих реформ. – К. : НІСД, 2015. – 92 с.
6. Nezdoyminov S. Regional Trends of the Tourist Flow in Ukraine / S. Nezdoyminov, O. Shykina // International Journal of Innovative Studies in Sociology and Humanities. – 2016. – Vol.1,1. – P. 12-18.
7. Туристична діяльність в Україні у 2014 році: статистичний збірник. – Київ : Державна служба статистики України, 2015. – 76 с.
8. Туристична діяльність в Україні у 2015 році: статистичний збірник. – Київ : Державна служба статистики України, 2016. – 76 с.

Кочегаров В. С, Богом'я В. І.

ОПЕРАЦІЙНИЙ ЦЕНТР БЕЗПЕКИ (SOC)

«Операційні центри безпеки (SOC) є втіленням сучасної стратегії кібербезпеки», пропонуючи цілісний підхід до управління загрозами за умови їх належного розгортання. Поєднання людського досвіду, процедурних рамок, технологічної інфраструктури та дотримання нормативних вимог є основою ефективного впровадження SOC. Їх основна мета - проактивне виявлення, перехоплення та пом'якшення потенційних кібер-ризиків, таким чином зміцнюючи загальний стан безпеки організації. В академічному дискурсі операції SOC часто розглядаються через призму "Люди, процеси та технології" (People, Processes, and Technology, PPT), що слугує концептуальною основою для розуміння та оптимізації різних аспектів управління інформаційними технологіями. SOC слугує організаційним ядром стратегії безпеки організації, об'єднуючи процеси, технології та персонал для посилення та регулювання заходів з безпеки. Ефективність SOC залежить від кількох ключових факторів, зокрема, від розподілу ролей та обов'язків в рамках SOC, вдосконалення механізмів виявлення та аналізу для перетворення необроблених даних на дієві розвідувальні дані, а також від надійного управління та протоколів відповідності для забезпечення відповідності регуляторним вимогам та внутрішнім стандартам. Стандарти і рекомендації, аудити безпеки, оцінки зрілості і метрики є невід'ємними компонентами роботи SOC, що сприяють постійному вдосконаленню і підвищенню стійкості до нових кіберзагроз.

Ключові слова: Операційні центри безпеки (SOC), Виявлення загроз нейтралізація загроз, операційні процедури, технологічні інструменти, управління інфраструктура безпеки, реагування на інциденти, люди, процеси та технології (PPT).

Вступ. Операційні центри безпеки (SOC) пропонують комплексний підхід до виявлення та нейтралізації загроз за умови ефективного впровадження. Вони включають в себе поєднання людського досвіду, операційних процедур, технологічних інструментів, а також дотримання стандартів управління та відповідності, щоб проактивно виявляти, перехоплювати та пом'якшувати потенційні ризики до їхнього прояву.

SOC слугує основою інфраструктури безпеки організації. Замість того, щоб сприйматися як окрема одиниця, вона є багатогранною структурою, призначеною для посилення загального стану безпеки організації. Її основна роль полягає у виявленні, аналізі та реагуванні на загрози та інциденти кібербезпеки шляхом використання людських ресурсів, встановлених процедур і передових технологій.

В академічному дискурсі операції SOC зазвичай описуються за допомогою концепції "Люди, процеси і технології" (People, Processes, and Technology, PPT). Ця концепція, на яку часто посилаються в дослідженнях, слугує концептуальною моделлю для розуміння та оптимізації різних аспектів управління інформаційними технологіями, починаючи від обробки знань і закінчуючи взаємовідносинами з клієнтами.

Операційний центр безпеки (SOC) представляє собою організаційний вимір стратегії безпеки компанії, об'єднуючи процеси, технології та персонал для посилення та контролю загального стану безпеки. Ця мета, як правило, виходить за межі можливостей окремого підрозділу або системи, що вимагає складної структури. Підвищуючи обізнаність про ситуацію, зменшуючи визнані ризики і сприяючи дотриманню нормативних вимог, SOC відіграє ключову

роль. Більше того, вона забезпечує управління та дотримання вимог як загальну основу, в межах якої діють окремі особи, а також адаптуються процеси і технології.

Архітектура. SOC можуть приймати різні структурні конфігурації, а саме централізовані, розподілені або децентралізовані моделі на високому та концептуальному рівнях. У централізованій архітектурі всі дані, що надходять з різних місць або дочірніх компаній, передаються до єдиного центрального SOC для подальшої обробки. І навпаки, розподілена SOC функціонує подібно до єдиної системи, що охоплює кілька дочірніх компаній, надаючи користувачам безперебійний досвід, що нагадує взаємодію з єдиним суб'єктом. Завдяки розподіленій системі всі компоненти можуть отримувати доступ, обробляти, об'єднувати і надавати інформацію та послуги з безпеки іншим компонентам, сприяючи справедливому розподілу робочого навантаження і даних. Третьою поширеною архітектурною основою SOC є децентралізована система, яка об'єднує елементи вищезгаданих проєктів. Децентралізована SOC складається з декількох SOC, кожна з яких потенційно має обмежені можливості, під керівництвом одного або декількох центральних SOC, що є переходом від більш централізованої SOC до децентралізованої архітектури.

Кожна операційна модель має свій власний набір переваг і недоліків, що підкреслює важливість прийняття рішень на ранній стадії. Зміна структури SOC після конфігурації тягне за собою значні витрати часу та ресурсів. Таким чином, ретельне вивчення наслідків вибору конкретної операційної моделі є обов'язковим:

1. Корпоративна стратегія: Оцінка загальної бізнес- та ІТ-стратегії має вирішальне значення для визначення найбільш підходящої операційної моделі. Визначення стратегії SOC передую вибору відповідної операційної моделі.

2. Галузевий вплив: Галузь, в якій працює компанія, суттєво впливає на необхідну величину SOC.

3. Масштаб: Розмір компанії також відіграє ключову роль у процесі прийняття рішень, оскільки менші підприємства можуть зіткнутися з проблемами у створенні та підтримці SOC самостійно або не потребувати жорстко визначеної структури SOC.

4. Фінансові міркування: Важливо порівняти витрати, пов'язані з внутрішнім впровадженням та підтримкою SOC, з витратами на аутсорсинг операцій з безпеки. Хоча на початковому етапі створення власної SOC може вимагати більших витрат, з часом це може виявитися більш економічно ефективним. Витрати, пов'язані з пошуком, набором і навчанням персоналу СЗІ, мають значну вагу, особливо в умовах зростаючого дефіциту кваліфікованих кадрів і підвищеного ринкового попиту.

5. Час: Створення СОК вимагає значних витрат часу. Тому важливим є узгодження з планами та графіками організації. Крім того, час, необхідний для створення SOC, слід зіставити з часом, необхідним для його аутсорсингу.

6. Відповідність нормативним вимогам: Різні галузі підпадають під дію різних нормативно-правових актів, які необхідно враховувати. Певні нормативні акти можуть вимагати створення власного SOC, тоді як інші можуть обмежувати аутсорсингові операції SOC або визначати затверджених постачальників, які відповідають відповідним нормам.

7. Занепокоєння щодо конфіденційності: Необхідно також дотримуватися правил конфіденційності, особливо щодо обробки персональних даних.

8. Доступність: Необхідно враховувати вимоги доступності, типовою метою якої є цілодобова доступність SOC протягом усього року.

9. Підтримка керівництва: Забезпечення підтримки з боку керівництва має вирішальне значення під час створення спеціального SOC. Відсутність зацікавленості керівництва та нездатність ефективно донести переваги SOC до вищого керівництва може перешкоджати виділенню необхідних ресурсів для команди.

10. Інтеграція: Внутрішні можливості SOC потребують інтеграції з іншими ІТ-відділами, в той час як зовнішній SOC вимагає безперешкодної інтеграції з обраним постачальником для забезпечення доступу до всіх необхідних даних.

11. Занепокоєння щодо безпеки даних: SOC зазвичай слугує центральним вузлом для обробки значного обсягу конфіденційних даних. Внутрішні ЦОД повинні надавати пріоритет заходам безпеки, тоді як зовнішні ЦОД повинні ретельно обирати надійних постачальників, здатних захистити дані від крадіжки інтелектуальної власності та ненавмисної втрати.

12. Придбання експертизи: Набуття досвіду вимагає як часу, так і фінансових інвестицій. Досвід роботи з SOC не є легкодоступним. Отже, набір та утримання кваліфікованого персоналу є першочерговим завданням для внутрішніх SOC. І навпаки, зовнішні провайдери послуг SOC часто вже володіють необхідним досвідом. Зокрема, в контексті SOC, знайомство з різними організаціями може надати провайдерам SOC перевагу в знаннях. Тим не менш, компанії повинні визнати, що аутсорсинг зменшує збереження внутрішніх знань.

Спеціалізуючий персонал. Ця структура передбачає розмежування процесів для оптимізації операцій, впровадження відповідних технологій для підвищення ефективності та підбір персоналу з необхідними навичками для нагляду за цими процесами. Таким чином, ця структура дає змогу всебічно визначити СУЯ та її складові елементи.

Документація полегшує розмежування різних ролей та обов'язків, що є невід'ємною частиною управління SOC. Крім того, в літературі підкреслюється важливість стратегій набору персоналу та різноманітних підходів до утримання персоналу. Крім того, підкреслюється важливість навчальних ініціатив та інформаційних програм, а також визначення процедур міжвідомчої співпраці та комунікації в рамках SOC.

1) Ролі та обов'язки

Як і будь-який інший організаційний підрозділ, СРЦ виконує різні ролі та обов'язки, специфіка яких залежить від його масштабу та сфери діяльності. Залежно від розміру, необхідні різні команди, що складаються з різної кількості людей. Основні ролі, які зазвичай виконують у SOC, включають аналітиків різного рівня кваліфікації, а також спеціалізованих менеджерів. На основі визначених завдань виділяють три окремі ролі з відповідними обов'язками.

- **Рівень 1 (спеціаліст з сортування):** Аналітики рівня 1 відіграють центральну роль у первинній обробці даних, збираючи первинну інформацію та перевіряючи тривоги і сповіщення. Їхні основні завдання включають перевірку, оцінку або коригування рівнів серйозності тривог, доповнюючи їх релевантними даними. Кожне попередження проходить ретельну перевірку на предмет його достовірності або потенційного хибнопозитивного статусу. Крім того, аналітикам рівня 1 доручено виявляти інші події з високим рівнем ризику та потенційні інциденти, яким потім надається пріоритет на основі рівня їхньої критичності. Якщо будь-які нові проблеми залишаються невирішеними на цьому рівні, вони передаються на розгляд аналітикам рівня 2. Крім того, фахівці з сортування часто здійснюють нагляд за управлінням та конфігурацією інструментів моніторингу.

- **Рівень 2 (Реагування на інциденти):** На рівні 2 аналітики зосереджуються на ретельному вивченні найбільш критичних інцидентів безпеки, виявлених фахівцями з сортування, проводячи ретельну оцінку, використовуючи дані про загрози, такі як індикатори компрометації та оновлені правила. Їхні обов'язки поширюються на розуміння масштабу атаки та розуміння систем, які постраждали. На цьому рівні необроблені дані телеметрії атаки, зібрані на рівні 1, перетворюються на дієву інформацію про загрози. Фахівці з реагування на інциденти мають розробити та впровадити стратегії локалізації та відновлення після інцидентів. Якщо аналітик рівня 2 стикається зі значними труднощами в ідентифікації або пом'якшенні наслідків атаки, він може звернутися за допомогою до додаткових аналітиків рівня 2 або ескалувати інцидент до рівня 3.

- **Рівень 3 (пошук загроз):** Аналітики рівня 3 - це найдосвідченіші фахівці в SOC. Їхнє завдання полягає в управлінні серйозними інцидентами, які їм передають фахівці з реагування на інциденти. Крім того, вони контролюють або безпосередньо проводять оцінку вразливостей і тести на проникнення, щоб виявити потенційні вектори атаки. Їх основний обов'язок полягає у проактивному виявленні потенційних загроз, вразливостей безпеки та прогалин, які можуть бути неочевидними. Накопичуючи досвід щодо потенційних системних загроз, вони також надають рекомендації щодо оптимізації розгорнутих інструментів моніторингу безпеки. Крім

того, цей рівень відповідає за аналіз критичних сповіщень про загрози, розвідданих про загрози та інших даних про безпеку, наданих аналітиками рівнів 1 і 2.

- **Керівник Операційного центру безпеки (SOC):** Менеджери SOC відповідають за нагляд за командою операційної безпеки. Хоча вони надають технічні рекомендації, коли це необхідно, їхня основна відповідальність полягає в ефективному управлінні командою. Це включає в себе такі завдання, як підбір, навчання та оцінювання роботи членів команди, а також встановлення процесів, оцінювання звітів про інциденти, розробка та виконання планів комунікації в кризових ситуаціях, якщо це необхідно. Вони також здійснюють нагляд за фінансовими аспектами SOC, допомагають в аудиті безпеки та звітують перед директором з інформаційної безпеки (CISO) або іншими відповідними керівниками вищого рівня.

У менших за розміром SOC ролі передбачають ширші обов'язки, хоча вони, як правило, стають більш спеціалізованими в міру розширення SOC. Наприклад, у невеликому SOC з обмеженою кількістю аналітиків кожен з них повинен володіти кількома навичками, щоб вирішувати всі завдання, що виникають через обмеженість робочої сили. І навпаки, у більшому SOC ролі можуть бути більш чітко розподілені; наприклад, деякі аналітики можуть спеціалізуватися на моніторингу мережі, в той час як інші можуть стати експертами в конкретних аспектах функціональності Windows або Linux. Такий підхід має багато переваг, зокрема покращене та швидке реагування на загрози та ефективніший розподіл завдань.

2) Виявлення та аналіз

Велика кількість даних, накопичених на попередніх етапах, може виявитися складною навіть для досвідчених експертів і дослідників у сфері безпеки. Перетворення цих даних на практичні висновки досягається за допомогою аналізу даних, який, по суті, передбачає інтерпретацію зібраної інформації. Що стосується автоматизованого аналізу та виявлення, то існуюча література переважно заглиблюється в конкретні методи і технології аналізу та виявлення. Однак лише кілька статей розглядають цю тему з більш широкої, процедурної точки зору. Шляхом об'єднання існуючих процесів та впорядкування окремих кроків, описаних у літературі, було визначено низку процедурних кроків. Результатом є структурований процес, що складається з різних етапів:

- **Виявлення:** Інциденти виявляються або за допомогою людського спостереження, або за допомогою автоматизованих процесів, що вимагає визначення того, чи свідчать зібрані дані про порушення безпеки.

- **Аналіз:** Застосовуються різні методи аналізу, включаючи кореляцію джерела і цілі, структурний аналіз, функціональний аналіз і поведінковий аналіз. Автори пояснюють мету кореляції як здатність розчленовувати складні послідовності, генеруючи спрощені, консолідовані та точні події.

- **Пріоритизація/сортування сповіщень:** Пріоритизація оповіщень, яку також називають сортуванням, є життєво важливою ланкою у стримуванні, ліквідації та відновленні. Вона виконує дві основні задачі: по-перше, гарантує, що найбільш критичні інциденти отримають пріоритет, а по-друге, розподіляє інциденти для подальшого опрацювання на основі наявних ресурсів.

Управління та дотримання вимог. ІТ-управління контролює ефективне та результативне використання ІТ-систем шляхом встановлення стратегічних директив, формулювання стандартів, політик і процедур, а також їх впровадження. Комплаєнс, з іншого боку, гарантує, що організації дотримуються як зовнішніх правил, таких як галузеві стандарти та законодавчі вимоги, так і внутрішніх правил, включаючи політики та процедури компанії. Крім того, комплаєнс слугує важливим механізмом зворотного зв'язку для управління безпекою, демонструючи, як управлінські директиви перетворюються на практичне застосування.

1) Стандарти та настанови

Багато організацій наразі намагаються прийняти рішення щодо необхідності та особливостей впровадження СУБ. Однак бракує всеосяжних стандартів SOC або галузевих

керівних принципів, які б допомогли в цьому процесі прийняття рішень. Тим не менш, SOC може сприяти дотриманню певних нормативних вимог, тим самим забезпечуючи впевненість у дотриманні регуляторних норм.

Стандарти:

- ISO/IEC 27001
- NIST Cybersecurity Framework (CSF)
- NIST Special Publication 800-53
- MITRE ATT&CK Framework
- PCI DSS (Payment Card Industry Data Security Standard)
- ITIL (Information Technology Infrastructure Library)
- SANS Institute's Critical Security Controls (CSCs)
- GDPR (General Data Protection Regulation)

2) Аудит безпеки та оцінка зрілості

Регулярний аудит засобів контролю в рамках SOC є дуже важливим. НАСА наводить приклад внутрішнього аудиту, проведеного в SOC, та його результати. Зовнішні оцінки незалежними сторонами зазвичай не проводяться через відсутність загальноприйнятих стандартів і керівних принципів. Тим не менш, в літературі існують методології для оцінки поточного рівня зрілості можливостей SOC та її загальної ефективності. Різні загальні моделі зрілості були порівняні і зведені до п'яти стадій зрілості спроможностей: неіснуюча, початкова, повторювана, визначений процес, проаналізований і оновлений, а також постійно оптимізований.

3) Метрики

Метрики слугують числовими орієнтирами, які використовуються для моніторингу та оцінки стану процесу або системи. Вони відіграють ключову роль у підтримці прийняття стратегічних рішень, забезпеченні якості та полегшенні тактичного контролю. У багатосайтових мережах метрики використовуються для оцінки стану безпеки окремих сайтів в режимі реального часу, що дозволяє виявляти потенційні загрози по всій мережі. Водночас зусилля з підвищення стійкості мережі передбачають оцінку програмного забезпечення для моделювання через призму показників відмовостійкості.

Висновок. Центри управління безпекою (SOC) відіграють життєво важливу роль у зміцненні стратегії кіберзахисту організації. Надаючи централізований центр для моніторингу, виявлення, аналізу та реагування на інциденти кібербезпеки, SOC дають змогу компаніям краще захищати свої цифрові активи та конфіденційну інформацію.

Однак створення ефективного SOC вимагає ретельного планування, впровадження та інтеграції в наявну інфраструктуру організації. Це передбачає визначення чітких цілей, розробку надійних політик і процедур, впровадження передових інструментів і технологій моніторингу, а також збір кваліфікованої команди фахівців з кібербезпеки.

Успіх SOC залежить від його здатності розвиватися й адаптуватися до загроз, що виникають, і мінливих вимог бізнесу. Регулярні оцінки та оцінювання допомагають визначити області для поліпшення, а постійне навчання та обмін знаннями гарантують, що персонал SOC буде в курсі останніх тенденцій і методів кібербезпеки.

При правильному впровадженні SOC значно розширюють можливості компанії запобігати кібератакам, зменшувати фінансові втрати і захищати від крадіжки особистих даних і витоку даних. Вони слугують механізмом превентивного захисту, даючи змогу організаціям виявляти і нейтралізувати загрози до того, як вони переростуть у повномасштабні інциденти безпеки.

На закінчення, хоча SOC відіграють важливу роль у посиленні захисту від кібербезпеки, їхня ефективність залежить від ретельного планування, реалізації та постійного вдосконалення. Віддаючи пріоритет інвестиціям у можливості SOC і формуючи культуру обізнаності та пильності в галузі кібербезпеки, компанії можуть краще захистити себе від постійно мінливого ландшафту кіберзагроз.

ЛІТЕРАТУРА

1. Security Operations Center: A Systematic Study and Open Challenges [Електронний ресурс] / M. Vielberth, F. Böhm, I. Fichtinger, G. Pernul // IEEE – Режим доступу до ресурсу: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9296846>.
2. Security information and event management [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://en.wikipedia.org/wiki/Security_information_and_event_management.
3. Information security operations center [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://en.wikipedia.org/wiki/Information_security_operations_center.
4. Security operations center [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://en.wikipedia.org/wiki/Security_operations_center.
5. What is a Security Operations Centre? [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://cmage.crest-approved.org/soc-critical-function.pdf>.
6. Ayhan E. Modeling a Security Operations Center [Електронний ресурс] / E. Ayhan, M. Tannous – Режим доступу до ресурсу: <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1703746/FULLTEXT01.pdf>.
7. Wang J. Anatomy of a Security Operations Center [Електронний ресурс] / John Wang – Режим доступу до ресурсу: <https://ntrs.nasa.gov/api/citations/20110011188/downloads/20110011188.pdf>.

Kocheharov V. S. Bohomia V. I.

SECURITY OPERATIONS CENTRE (SOC)

«Security Operations Centres (SOCs) are the epitome of a modern cybersecurity strategy», offering a holistic approach to threat management when properly deployed. The combination of human expertise, procedural frameworks, technological infrastructure and regulatory compliance is the basis for effective SOC implementation. Their main goal is to proactively detect, intercept and mitigate potential cyber risks, thereby strengthening the overall security posture of an organisation. In academic discourse, SOC operations are often viewed through the lens of the People, Processes, and Technology (PPT) concept, which serves as a conceptual framework for understanding and optimising various aspects of information technology management. The SOC serves as the organisational core of an organisation's security strategy, bringing together processes, technology and personnel to enhance and manage security measures. The effectiveness of an SOC depends on several key factors, including the assignment of roles and responsibilities within the SOC, improved detection and analysis mechanisms to turn raw data into actionable information, and robust governance and compliance protocols to ensure compliance with regulatory requirements and internal standards. Standards and guidelines, security audits, maturity assessments and metrics are integral components of the SOC's work to drive continuous improvement and resilience.

Keywords: Security Operations Centres (SOCs) Threat detection Threat neutralisation Operational procedures Technological tools Management Security infrastructure Incident response People, processes and technology (PPT)

АВТОРИ ВИПУСКУ

Васалатій Надія Василівна	—	к.географ.н., доцент, доцент кафедри навігації і керування судном Одеського національного морського університету, orcid 0000-0002-7188-9922
Ворохобін Ігор Ігорович	—	доктор технічних наук, професор, директор Навчально-наукового інституту Національного університету «Одеська морська академія». orcid.org/0009-0008-4147-5172
Горалік Євгеній Тадеушевич	—	к.т.н., доцент, Державний університет інфраструктури та технологій, завідувач кафедри природничо-технічного забезпечення діяльності водного транспорту, orcid.org/0000-0003-2399-5373
Дерепа Анатолій Войткович	—	д.т.н., професор, професор кафедри навігації і управління суднами Державного університету інфраструктури і технологій, orcid.org/0000-0001-7334-2237
Волкова Анна Сергіївна	—	викладач кафедри англійської мови з підготовки морських фахівців за скороченою програмою, Херсонська державна морська академія, orcid.org/0000-0003-3518-5677
Волков Олександр Миколайович	—	к.т.н., доцент, доцент кафедри навігації Національного університету «Одеська морська академія». orcid.org/0000-0002-6742-4217
Врублевський Роман Євгенович	—	к.т.н., доцент, Херсонська державна морська академія, доцент кафедри експлуатації судових енергетичних установок, orcid.org/0000-0001-8686-3488
Дакі Олена Анатоліївна	—	д.т.н., професор, директор Дунайського інституту водного транспорту, Державний університет інфраструктури та технологій, orcid.org/0000-0003-3932-462X
Даниленко Олександр Борисович	—	д.п.н., професор, завідувач кафедри навігації і управління судном Дунайського інституту Національного університету «Одеська морська академія», orcid.org/0000-0001-6585-7724
Дуков Дмитро Федорович	—	кандидат наук з державного управління, доцент кафедри навігації і управління судном Дунайського інституту Національного університету «Одеська морська академія», orcid.org/0000-0002-2344-5585
Дзигар Анатолій Костянтинович	—	механік I розряду, старший викладач кафедри експлуатації судових енергетичних установок, Херсонська державна морська академія, orcid.org/0000-0001-5947-6263
Дорофєєва Зоя Яковлівна	—	старший викладач кафедри природничо-математичних та інженерно-технічних дисциплін Дунайського інституту водного транспорту, Державний університет інфраструктури та технологій, orcid.org/0000-0003-3354-578X
Дудченко Сергій Валерійович	—	капітан далекого плавання, старший викладач кафедри судноводіння Херсонської державної морської академії, директор ТОВ «Херсонський морський спеціалізований тренажерний центр при Херсонській державній морській академії». orcid.org/0000-0002-1613-7226
Іваненко Віталій Миколайович	—	старший викладач кафедри судноводіння та експлуатації технічних систем на водному транспорті Дунайського інституту водного транспорту, Державний університет інфраструктури та технологій, orcid.org/0000-0003-3271-5257

Калініченко Євгеній Володимирович	–	к.т.н., доцент, завідувач кафедри навігації і керування судном Одеського Національного Морського Університету, orcid.org/0000-0003-2898-7313
Калініченко Григорій Євгенович	–	капітан далекого плавання, к.т.н., викладач фахового коледжу морського транспорту, Національний університет «Одеська морська академія» orcid.org/0009-0008-8201-3441
Козак Дмитро Анатолійович	–	здобувач третього (освітньо-наукового) рівня вищої освіти Державного університету інфраструктури і технологій, orcid.org/0009-0004-6650-1710
Коротченков Микола Павлович	–	старший викладач кафедри навігації і управління судном Дунайського інституту Національного університету «Одеська морська академія», orcid.org/0000-0003-3710-3559
Крюков Микола Миколайович	–	д.т.н., професор, Державний університет інфраструктури та технологій, професор кафедри вищої і прикладної математики, 0962222495, orcid.org/0000-0001-8156-1720
Левченко Ольга Вікторівна	–	к.е.н., доцент, доцент кафедри природничо-технічного забезпечення діяльності водного транспорту Державного університету інфраструктури і технологій, orcid.org/0000-0001-7659-347X
Лейко Олександр Григорович	–	д.т.н., професор, професор кафедри акустичних та мультимедійних електронних систем Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», orcid.org/0000-0002-5588-6449
Лупіна Тетяна Олексіївна	–	старший викладач кафедри природничо-технічного забезпечення діяльності водного транспорту Державного університету інфраструктури і технологій
Лісовський Сергій Віталійович	–	асистент кафедри судноводіння та експлуатації технічних систем на водному транспорті Дунайського інституту водного транспорту, Державний університет інфраструктури та технологій, orcid.org/0009-0003-6390-7910
Мадей Володимир Васильович	–	здобувач ступеня PhD кафедри навігації Національного університету «Одеська морська академія». orcid.org/0000-0002-8692-9077
Малєва Валерія Сергіївна	–	фахівець кафедри навігації і управління судном Дунайського інституту Національного університету «Одеська морська академія», orcid.org/0009-0009-0207-463X
Медведєва Олена Юріївна	–	доцент кафедри суспільно-гуманітарних дисциплін, Дунайського інституту водного транспорту, Державний університет інфраструктури та технологій, orcid.org/0000-0002-0497-5767
Маннапова Оксана Володимирівна	–	к.т.н., доцент, доцент кафедри природничо-математичних та інженерно-технічних дисциплін Дунайського інституту водного транспорту, Державний університет інфраструктури та технологій, orcid.org/0000-0002-6871-3272
Оберто Сантана Леонід Еухеніович		здобувач ступеня PhD, асистент каф. навігації і керування судном, Одеський національний морський університет. orcid.org/0009-0009-4407-3766

Пліта Леонід Леонідович	—	доктор філософії, доцент кафедри судноводіння та експлуатації технічних систем на водному транспорті Дунайського інституту водного транспорту, Державний університет інфраструктури та технологій, orcid.org/0000-0001-6422-444X
Руденко Владислав Миколайович	—	к.т.н, доц., Донбаська державна машинобудівна академія. доцент, orcid.org/0000-0002-4154-7876
Сатулов Анатолій Іванович	—	д.т.н., професор, Херсонська державна морська академія, професор кафедри експлуатації суднових енергетичних установок, orcid.org/0000-0001-8185-8209
Сагін Арсеній Сергійович	—	здобувач ступеня PhD кафедри суднових енергетичних установок Національного університету «Одеська морська академія», orcid.org/0009-0000-4965-6121
Сагін Сергій Вікторович	—	д. т. н., професор, завідувач кафедри суднових енергетичних установок Національного університету «Одеська морська академія». orcid.org/0000-0001-8742-2836
Сагін Сергій Сергійович	—	аспірант кафедри навігації Національного університету «Одеська морська академія», orcid.org/0009-0008-4147-5172
Сітков Олексій Михайлович	—	Харківський національний університет повітряних сил імені Івана Кожедуба, старший викладач, orcid.org/0000-0002-4154-7876
Стьопченко Андрій Миколайович	—	здобувач ступеня PhD Державного університету інфраструктури і технологій, orcid.org/0009-0002-7271-3758
Строєнко Наталія Георгіївна		старший викладач кафедри суспільно-гуманітарних дисциплін, Дунайського інституту водного транспорту, Державний університет інфраструктури та технологій, orcid.org/0000-0002-4119-7618
Тимочко Олександр Іванович		д.т.н, проф., Льотна академія Національного авіаційного університету, завідувач кафедри, orcid.org/0000-0002-4154-7876
Томчаковський Георгій Георгійович	—	ст. викладач каф. навігації і керування судном, Одеський національний морський університет. orcid.org/0000-0002-9799-4368
Трофименко Анастасія Олегівна		доктор філософії за спеціальністю 271 «Річковий та морський транспорт», доцент кафедри судноводіння та експлуатації технічних систем на водному транспорті Дунайського інституту водного транспорту, Державний університет інфраструктури та технологій https://orcid.org/0000-0001-8424-7518
Трофименко Ірина Валеріївна	—	доктор філософії, доцент кафедри судноводіння та експлуатації технічних систем на водному транспорті Дунайського інституту водного транспорту, Державний університет інфраструктури та технологій
Тришин Вячеслав Валентинович	—	старший викладач кафедри СВЕТС на ВТ, Дунайський інститут водного транспорту
Урум Наталія Степанівна	—	кандидат педагогічних наук, доцент, доцент кафедри природничо-математичних та інженерно-технічних дисциплін Дунайського інституту водного транспорту, Державний університет інфраструктури та технологій, orcid.org/0000-0003-

		<u>2493-9314</u>
Хуссейн Юнонія Мухамедівна	–	здобувачка ступеня PhD, Державний університет інфраструктури та технологій,
Федунов Валерій Миколайович	–	старший викладач кафедри судноводіння та експлуатації технічних систем на водному транспорті Дунайського інституту водного транспорту, Державний університет інфраструктури та технологій, orcid.org/0000-0001-5092-2511
Шевченко Антон Петрович	–	доктор філософії за спеціальністю 271 «Річковий та морський транспорт», старший викладач кафедри судноводіння та експлуатації технічних систем на водному транспорті Дунайського інституту водного транспорту, Державний університет інфраструктури та технологій orcid.org/0009-0003-5878-6771