

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

**ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНФРАСТРУКТУРИ ТА ТЕХНОЛОГІЙ**

ВОДНИЙ ТРАНСПОРТ

Збірник наукових праць

випуск 1 (37)

Київ

2023

Водний транспорт. Збірник наукових праць Державного університету інфраструктури та технологій. – К.: ДУІТ, 2023. – Випуск 1(37). – 271 с. <https://doi.org/10.33298/2226-8553.2023.1.37>

У збірнику публікуються матеріали, що відображають наукову й методичну роботу викладачів і аспірантів Державного університету інфраструктури та технологій, 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:

Єлезаров О.П., к.ю.н., доцент (ДУІТ); Сьомін О.А., к.т.н (ДУІТ); Горобченко О.М., д.т.н., професор (ДУІТ); Дубинець О.В., д.т.н., професор (ДУІТ); Фомін О.В., д.т.н., професор (ДУІТ); Ганношина І.М., к.т.н., доцент (ДУІТ); Склярєнко І.Ю., к.пед.н., доцент (ДУІТ); Сагін С.В., д.т.н., професор (Одеська національна морська академія); Сербін С.І., д.т.н., професор (Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, Миколаїв); Соломенцев О.В., д.т.н., професор (Національний авіаційний університет, Київ); Варбанець Р.А., д.т.н., професор (Одеський національний морський університет); Тихонов І.В., д.т.н., с.н.с., к.д.п. (ДУІТ); Кравченко Ю.В., д.т.н., професор (Київський національний університет імені Т.Г. Шевченка); заслужений діяч науки і техніки України Оніщенко О.А. д.т.н., професор (Національний університет «Одеська морська академія»); Шаріфов З. З., д.т.н., професор (Азербайджанська морська державна академія); Гафаров А. М., д.т.н., професор (Міністерство з надзвичайних ситуацій Азербайджана); Мамедов А.Т., д.т.н., професор (Азербайджанський технічний університет); Прієднієкс В. Р., д.т.н., професор (Латвійська морська академія); Діасамідзе М. Р., д.т.н., професор (Батумська 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 № 10 від 25 травня 2023 р.)

Свідоцтво про державну реєстрацію КВ № 23216-13056ПР від 23.02.2018 р.

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 (Наказ Міністерства освіти і науки України від 28.12.2019 № 1643).

© Державний університет
інфраструктури та технологій, 2023

ЗМІСТ

СУДНОВОДІННЯ ТА ЕНЕРГЕТИКА СУДЕН

Корбан Д.В.

Радіолокаційне вимірювання характеристик розсіяння об'єкту при наявності природного фону 6

Пліта Л.Л., Урум Н.С., Трофименко І.В., Бажак О.В.

Метод формалізації ознакового простору для класифікації прогнозного стану погоди за місцевими факторами 17

Войченко Т.О., Бойко С.О., Штрибець В.В., Маннапова О.В.

Основні напрямки розвитку сучасних суднових гвинто-рульових комплексів 26

Яремчук С.О., Маслов І.З.

Мультидисциплінарний підхід до фахової підготовки морських інженерів: метод ефективного використання біодизеля в СЕУ 33

Урум Н.С., Трофименко І.В., Пліта Л.Л., Іваненко В.М.

Класифікація місцевих ознак для уточнення прогнозу погоди і підвищення безпеки судноплавства 47

Сагін С.В., Бондар С.А., Столярик Т.О.

Оцінка безвідмовності суднових дизелів за технічним станом моторного мастила циркуляційних систем мащення 59

Мельник О.М., Калініченко Є.В., Никитюк П.В., Колесник О.В.

Забезпечення безпеки судноводіння шляхом розроблення стратегій попередження зіткнення на базі «моделі відкритого моря» 71

Калініченко Т.В.

Урахування судна, що заважає, під час розходження судна з судном-ціллю на малих відстанях 79

Бойко А.Д., Демінський

Аналіз стану аварійності водного транспорту в Україні і постановка завдання з удосконалення методів оцінки та управління ризиками виникнення і запобігання аварійних морських подій 85

Тимощук О.М., Мельник О.В.

Аналіз можливості використання маневру розходження зміною курсу 96

Дубинець О.В.

Можливість керування ситуацією небезпечного зближення 103

Головань А.І.

Концептуальна модель планування та оптимізації графіків технічного обслуговування вантажних суден 107

Мельник О.М. Актуальні проблеми безпеки морського транспорту. тенденції, ризики та стратегії врегулювання	116
Тимочко О.І., Руденко В.М., Олізаренко С.А., Сітков О.М. Методика розподілу засобів пошуку в області інтересу для інформаційно-аналітичного забезпечення пошукових операцій на морі.....	126
Гончарук І.П., Головань А.І. Оцінка навігаційної безпеки в обмежених умовах та районах інтенсивного судноплавства	136
Корякін К.С. Огляд методів оцінки надійності судових навігаційних приладів та систем.....	144
Мельник О.М., Онищенко О.А., Парменова Д.Г. Методика організації самооцінки ефективності системи управління безпекою судноплавної компанії	154
Суворов П.С., Тарасенко Т.В., Залож В.І. Аналіз трансформації оцінки енергоефективності суден в умовах енергетичного переходу у внутрішньому водному транспорті	161
Горалік Є.Т., Крюков М.М., Лупіна Т.О. Моделювання руху рятувальної шлюпки вільного падіння при сходженні з похилої рампи	171
Трофименко А.О., Майданевич С.Б., Войченко Т.О., Дорофєєва З.Я. Деякі проблемні питання впровадження стандартів кібербезпеки на морському транспорті	179
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	188
Дакі О.А., Якусевич Ю.Г., Тришин В.В., Дорофєєва З.Я. Розроблення пропозицій щодо декомпозиції суднової холодильної установки та математичної моделі компресора	194
Тараненко С.В., Кириченко О.С., Пріступа С.В., Голубєва С.М., Пастух О.В. Термоелектричні модулі з компенсованими комутаційними пластинами для пристроїв суднової енергетики	201
Ганношина І.М. Оцінка факторів ризику зіткнення суден з використанням поступової регресії	214

МЕТОДИКА НАВЧАННЯ

Лопатюк С.П.

Віртуальні лабораторні роботи з комп'ютерної графіки
та 3d-моделювання 222

Лерніченко К. В.

Формування комунікативного середовища «викладач — здобувач» закладу
вищої освіти під час дистанційного навчання 230

ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

Богом'я В.І., Кочегаров В.С.

Кібербезпека в хмарних сервісах за допомогою застосування
криптографічних методів 239

Ткаченко К.О., Пархоменко Р.В.

Онтологічний підхід до розробки мережевого професійного ресурсу
транспортної галузі 246

Ткаченко О.І., Ткаченко О.А., Цура В.В.

Використання вім-онтологій при інтелектуалізації процесів будівництва
об'єктів транспортної інфраструктури 255

АВТОРИ ВИПУСКУ 264

ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ СТАТЕЙ 269

Корбан Д.В.

РАДІОЛОКАЦІЙНЕ ВИМІРЮВАННЯ ХАРАКТЕРИСТИК РОЗСІЯННЯ ОБ'ЄКТУ ПРИ НАЯВНОСТІ ПРИРОДНОГО ФОНУ

У статті синтезована процедура радіолокаційного вимірювання характеристик спостережуваного об'єкту за наявності природного фону. При прийманні відбитих від об'єкту сигналів реалізований процес усунення навколишнього фону у вигляді опадів різної інтенсивності, що випадають. Це забезпечує достовірність і надійність радіолокаційної інформації. Підвищення достовірності та надійності радіолокаційної інформації про об'єкт дистанційного спостереження здійснюється вибором поляризації зондуючого сигналу, а також урахуванням відмінностей поляризаційного стану прийнятих від об'єкта і навколишнього природного фону сигналів за певних умов радіолокаційного спостереження об'єкта. Як інформативні параметри використана повна ефективна поверхня розсіювання об'єкта, отримана при послідовному опроміненні об'єкту електромагнітною хвилею чотирьох фіксованих поляризацій в лінійному і круговому базисах, і вимірі коефіцієнтів матриці розсіювання об'єкта для кожної поляризації опромінюючої хвилі. Засновано поляризаційний метод радіолокаційного вимірювання характеристик розсіювання об'єкта за наявності луна-сигналу атмосферного утворення, що дозволяє проводити радіолокаційне спостереження об'єкта у складних умовах атмосферного середовища. При аналізі результатів радіолокаційних вимірювань елементів матриці розсіювання об'єкта при його послідовному опроміненні електромагнітними хвилями чотирьох наведених поляризацій виділення луна-сигналу об'єкта з луна-сигналу складного об'єкта (об'єкт + атмосферне утворення) використовуються коефіцієнти K_1 , K_2 , K_3 , рівні відношенню основних компонентів певних поляризацій опромінюваної хвилі, таких як неполяризованою хвилею (використання коефіцієнта S_{11}^H), електромагнітною хвилею лінійної вертикальної поляризації (використання коефіцієнта S_{22}^{BP}), лінійно-поляризованою хвилею з нахилом електричного вектору 45° (коефіцієнт $S_{33}^{45^\circ}$), електромагнітною хвилею кругової поляризації (коефіцієнт S_{44}^K). Показано, що якщо об'єкт знаходиться в зоні облогових опадів, то виділення його луна-сигналу з луна-сигналу складного об'єкта проводиться за коефіцієнтом K_3 , а при знаходженні об'єкта в зоні зливових опадів, виділення його луна-сигналу з луна-сигналу складного об'єкта проводиться за коефіцієнтами K_1 , K_2 .

Ключові слова: поляризація, об'єкт радіолокаційного спостереження, природний фон, ефективна поверхня розсіювання, матриця розсіювання об'єкта, модулі узгоджених і перехресних коефіцієнтів, параметри Стокса.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок з важливими науковими чи практичними завданнями. До теперішнього часу завдання радіолокаційного спостереження об'єктів на тлі різних метеоутворень (хмари, випадаючі опади) ще далеке до остаточного рішення. Об'єкти радіолокаційного спостереження можна розділити на:

- об'єкти складної конфігурації, що складаються з жорстко пов'язаних між собою найпростіших відбиваючих елементів (лінійні вібратори, кутові відбивачі, металеві пластини, металеві та діелектричні кулі та ін.) – літаки, морські та річкові судна, різні споруди;

- об'ємно-розподілені, що являють собою сукупність частинок хмар і опадів, розподілених у певній області простору, які значно перевищують за своїми розмірами елемент дозволу радіолокаційної станції (РЛС);
- поверхнево-розподілені, що являють собою поверхню суші, морську або річкову поверхню.

Формування луна-сигналу від таких об'єктів істотно залежить від типу поляризації електромагнітної хвилі, що опромінює об'єкт радіолокаційного спостереження, а система координат, в якій розглядаються лінійно-поляризовані компоненти хвилі, визначається двома одиничними взаємно перпендикулярними ортами, що становлять поляризаційний базис. У поляризаційному базисі електромагнітна хвиля розкладається на горизонтально та вертикально поляризовані компоненти, а поодинокі вектори збігаються у напрямку з віссю OX та OY декартової системи координат [1].

При опроміненні об'єкта електромагнітною хвилею певної поляризації компоненти можуть бути представлені дійсними енергетичними параметрами Стокса [2]. Вибір зонduючого і розсіяного сигналів, специфіка аналізованої ситуації визначають вид матриці розсіювання об'єкта радіолокаційного спостереження. Використання параметрів Стокса при поданні компонентів електромагнітної хвилі на випромінювання та прийом дозволяє обходитися без переходу до аналітичних сигналів за допомогою перетворення Гільберта, а поляризаційна структура є синонімом векторної структури складових електромагнітного поля. При цьому радіолокаційна інформація про реальні об'єкти міститься в дійсній, симетричній та позитивно визначеній матриці розсіювання розмірності 4×4 . Об'єкти радіолокаційного спостереження в загальному випадку знаходяться в зоні природного фону, а луна-сигнали на вхід приймальної антени РЛС одночасно надходять як від об'єкта спостереження, так і від фону, що маскує об'єкт. Різними авторами [3-16] розглянуті принципи поляризаційної селекції, в яких використовуються методи вибору поляризації опромінюючої об'єкт хвилі, оптимальної обробки поляризаційних сигналів у приймальному тракті РЛС, компенсації сигналів нерухомих об'єктів, доплерівської селекції об'єктів, що рухаються.

Однак до теперішнього часу радіолокаційний вимір характеристик розсіювання об'єкта за наявності природного фону є актуальним завданням, вирішення якого дозволить підвищити достовірність та оперативність радіолокаційного спостереження об'єктів за наявності природних перешкод.

Аналіз останніх досягнень та публікацій, в яких розпочато вирішення даної проблеми. У роботі [1] розглянуто судові навігаційні інформаційні системи, за допомогою яких екіпаж судна отримує інформацію про зустрічні судна. Однак інформація, що отримується, не містить даних про поляризацію луна-сигналу. У роботі [2] проведено оцінку ступеня поляризації радіотеплового випромінювання хмар, що дають опади, які впливають на радіовидимість суден, проте не представлена інформація ступеня поляризації опадів, що випадають. У роботі [3] представлені матричні характеристики радіолокаційного розсіювання хмар та опадів, проте практичний результат для судноводіння відсутній. У роботі [4] представлені результати вимірювання диференціальної відбиваності метеооб'єктів, проте стосовно до використання результатів у судноводінні вони відсутні. У роботі [5] розглянуто певні методи радіолокаційної поляриметрії, які можуть бути використані у судноводінні. У роботі [6] представлені моделі різних інформаційних систем, проте їх використання у судноводінні не розглянуто. В роботах [7-9] розглянуто некогерентні та доплерівські радіолокаційні системи та їх аналіз. У роботі [10] розглянуто полігональні моделі складних радіолокаційних сцен, що дають змогу провести аналіз полів розсіювання об'єктів, проте для судноводіння вони не розглянуті. В роботах [11-13] розглянуто реалізацію поляризаційних параметрів електромагнітної хвилі в радіолокаційних системах на довжині хвилі 1,8 см та 3,2 см, однак у судових радіолокаційних системах вони не використані. У роботі [14] проведено аналіз використання поляризації електромагнітних хвиль при

радіолокаційному спостереженні об'єктів. У роботі [15] розглянута можливість використання суднової РЛС для виявлення об'єктів при наявності складних умов навколишнього середовища, а у роботі [16] розглянуті геометричні параметри поляризації, однак у суднової РЛС до теперішнього часу вони не використовувались.

Формулювання цілей статті (постановка задачі). Метою даної статті є обґрунтування поляризаційного методу радіолокаційного вимірювання характеристик розсіювання об'єкта за наявності розсіювання від природного фону, що дозволяє проводити радіолокаційне спостереження об'єктів у складних умовах довкілля.

Виклад основного матеріалу дослідження. При опроміненні об'єкта радіолокаційного спостереження електромагнітною хвилею лінійної вертикальної, лінійної горизонтальної поляризації, лінійної з будь-яким кутом нахилу електричного вектору, відбитий сигнал буде мати ту ж поляризацію, що і випромінюваний, так як в квазіоптичній області розсіювання наведені струми опромінюючої хвилі на гладкій поверхні відтворюють її векторну структуру.

Наявність перехресної компоненти у відбитому радіолокаційному сигналі щодо лінійної компоненти опромінюючої об'єкт хвилі свідчить про появу нелінійностей і несингулярностей на поверхні об'єкта, що спостерігається РЛС, що підтверджує псевдовласний характер лінійної поляризації для даного об'єкта. У лінійному поляризаційному базисі матриця Джонса розсіювання об'єкта радіолокаційного спостереження запишеться у вигляді:

$$S = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} \\ S_{21} & S_{22} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \lambda_1 & S_{12} \\ S_{21} & \lambda_2 \end{bmatrix}, \quad (1)$$

де $S_{11}, S_{12}, S_{21}, S_{22}$ - коефіцієнти відбиття об'єкта для відповідних поєднань поляризації сигналу на випромінювання та прийом;

λ_1 і λ_2 - власні значення матриці, що характеризують власні поляризації об'єкта, які збігаються з поляризацією хвилі, що опромінює;

λ_1 - відповідає максимальній ЕПР об'єкта;

λ_2 - відповідає мінімальній ЕПР об'єкта;

S_{12}, S_{21} - перехресні елементи матриці розсіювання об'єкта, що спостерігається.

Для однопозиційної радіолокації використовується одна і та сама антена на випромінювання і прийом, $S_{12} = S_{21}$.

При заданні електромагнітної хвилі на випромінювання та прийом параметрами Стокса матриці розсіювання об'єкта радіолокаційного спостереження для наступних лінійних поляризацій електромагнітної хвилі на випромінювання запишуться у наступному вигляді:

1. При опроміненні об'єкта неполяризованою хвилею, матриця відбитої хвилі запишеться у вигляді:

$$S_{\text{нп}} = \begin{bmatrix} S_{11} & 0 & 0 & 0 \\ S_{21} & 0 & 0 & 0 \\ S_{31} & 0 & 0 & 0 \\ S_{41} & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}. \quad (2)$$

2. При опроміненні об'єкта електромагнітною хвилею лінійної вертикальної чи горизонтальної поляризації матриця розсіювання об'єкта в лінійному базисі запишеться як:

$$S_{L(BI)} = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} & 0 & 0 \\ S_{21} & S_{22} & 0 & 0 \\ S_{31} & S_{32} & 0 & 0 \\ S_{41} & S_{42} & 0 & 0 \end{bmatrix}. \quad (3)$$

3. При опроміненні об'єкта електромагнітною хвилею лінійної поляризації з нахилом вектору під кутом 45° матриця розсіювання об'єкта буде:

$$S_{L(45^\circ)} = \begin{bmatrix} S_{11} & 0 & S_{13} & S_{14} \\ S_{21} & 0 & S_{23} & S_{24} \\ S_{31} & 0 & S_{33} & S_{34} \\ S_{41} & 0 & S_{43} & S_{44} \end{bmatrix}. \quad (4)$$

4. Об'єкт опромінюється електромагнітною хвилею кругової поляризації. Тоді у круговому базисі матриця розсіювання об'єкта запишеться у вигляді:

$$S_K = \begin{bmatrix} S_{11} & 0 & 0 & S_{14} \\ S_{21} & 0 & 0 & S_{24} \\ S_{31} & 0 & 0 & S_{34} \\ S_{41} & 0 & 0 & S_{44} \end{bmatrix}. \quad (5)$$

Сума квадратів модулів всіх елементів матриць розсіювання не залежить від певного базису та є інтегральною ЕПР об'єкта радіолокаційного спостереження. Оскільки зміна поляризаційного базису не змінює величини ЕПР, то класифікацію об'єктів радіолокаційного спостереження можна проводити за будь-яких приведених поляризаціях електромагнітної хвилі на випромінювання.

У загальному випадку коефіцієнти $S_{11} \dots S_{44}$ матриці розсіювання об'єкта:

$$S = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} & S_{13} & S_{14} \\ S_{21} & S_{22} & S_{23} & S_{24} \\ S_{31} & S_{32} & S_{33} & S_{34} \\ S_{41} & S_{42} & S_{43} & S_{44} \end{bmatrix} \quad (6)$$

легко визначаються шляхом послідовного опромінення об'єкта радіолокаційного спостереження неполяризованою хвилею (H), електромагнітною хвилею лінійної вертикальної (BI) або горизонтальної (GI) поляризацій, лінійної поляризації з нахилом електричного вектору під кутом 45° (45°), відносно осей X і Y лінійного базису, хвилею кругової (K) поляризації кругового базису, представленими параметрами Стокса ($I_{вин}, Q_{вин}, U_{вин}, V_{вин}$). У результаті послідовного опромінення об'єкта електромагнітною хвилею чотирьох поляризацій коефіцієнти матриці (6) визначаються за вимірними параметрами Стокса відбитої хвилі ($I_{від}, Q_{від}, U_{від}, V_{від}$) на виході приймача РЛС за такими залежностями:

$$S_{11}^H = \frac{I_{від}^H}{I_{вин}^H}; \quad S_{21}^H = \frac{Q_{від}^H}{Q_{вин}^H}; \quad S_{31}^H = \frac{U_{від}^H}{U_{вин}^H}; \quad S_{41}^H = \frac{V_{від}^H}{V_{вин}^H}; \quad (7)$$

$$S_{12}^{BП} = \frac{I_{\text{від}}^{BП}}{I_{\text{вип}}^{BП}} - S_{11}^H; \quad S_{22}^{BП} = \frac{Q_{\text{від}}^{BП}}{Q_{\text{вип}}^{BП}} - S_{21}^H; \quad S_{32}^{BП} = \frac{U_{\text{від}}^{BП}}{U_{\text{вип}}^{BП}} - S_{31}^H; \quad S_{42}^{BП} = \frac{V_{\text{від}}^{BП}}{V_{\text{вип}}^{BП}} - S_{41}^H; \quad (8)$$

$$S_{13}^{45^\circ} = \frac{I_{\text{від}}^{45^\circ}}{I_{\text{вип}}^{45^\circ}} - S_{11}^H; \quad S_{23}^{45^\circ} = \frac{Q_{\text{від}}^{45^\circ}}{Q_{\text{вип}}^{45^\circ}} - S_{21}^H; \quad S_{33}^{45^\circ} = \frac{U_{\text{від}}^{45^\circ}}{U_{\text{вип}}^{45^\circ}} - S_{31}^H; \quad S_{43}^{45^\circ} = \frac{V_{\text{від}}^{45^\circ}}{V_{\text{вип}}^{45^\circ}} - S_{41}^H; \quad (9)$$

$$S_{14}^K = \frac{I_{\text{від}}^K}{I_{\text{вип}}^K} - S_{11}^H; \quad S_{24}^K = \frac{Q_{\text{від}}^K}{Q_{\text{вип}}^K} - S_{21}^H; \quad S_{34}^K = \frac{U_{\text{від}}^K}{U_{\text{вип}}^K} - S_{31}^H; \quad S_{44}^K = \frac{V_{\text{від}}^K}{V_{\text{вип}}^K} - S_{41}^H. \quad (10)$$

Встановимо інформативність кожного коефіцієнта матриці розсіювання об'єкта радіолокаційного спостереження (6):

1. При опроміненні об'єкта неполяризованою хвилею (поперемінне випромінювання двох ортогональних поляризацій – вертикальної та горизонтальної, однаковою інтенсивністю I (з часом опосередкування приймача РЛС більшим за час перемикавання) коефіцієнти матриці (2) $S_{11}, S_{21}, S_{31}, S_{41}$ є коефіцієнтами відбиття від об'єкта і характеризують:

S_{11}^H - повну інтенсивність ортогональних лінійних складових відбитої хвилі I_x і I_y ;

S_{21}^H - різницю інтенсивностей ортогональних лінійних складових відбитої хвилі I_x і I_y ;

S_{31}^H - різницю інтенсивностей лінійних складових відбитої хвилі, орієнтованих $+\frac{\pi}{4}$ і $-\frac{\pi}{4}$,

$I + \frac{\pi}{4}$ і $I - \frac{\pi}{4}$;

S_{41}^H - різниця інтенсивностей ліво і право поляризованих кругових компонентів відбитої хвилі.

2. При опроміненні об'єкта радіолокаційного спостереження електромагнітною хвилею лінійної вертикальної поляризації, коефіцієнти відбиття $S_{12}^{BП}, S_{22}^{BП}, S_{32}^{BП}, S_{42}^{BП}$ матриці (3) характеризують:

$S_{12}^{BП}$ - повну інтенсивність ортогональних лінійних складових відбитої від об'єкта хвилі без інтенсивності відбитої хвилі при опроміненні об'єкта неполяризованою хвилею S_{11}^H ;

$S_{22}^{BП}$ - різницю інтенсивностей ортогональних лінійних складових відбитої хвилі з відрахуванням S_{21}^H ;

$S_{32}^{BП}$ - різницю інтенсивностей лінійних складових відбитої хвилі, орієнтованих $+\frac{\pi}{4}$ і $-\frac{\pi}{4}$ з відрахуванням S_{31}^H ;

$S_{42}^{BП}$ - різниця інтенсивностей ліво і право поляризованих кругових компонентів відбитої хвилі з відрахуванням S_{41}^H .

3. При опроміненні об'єкта радіолокаційного спостереження лінійно поляризованою хвилею з нахилом електричного вектору під кутом 45° , коефіцієнти відбиття $S_{13}^{45^\circ}, S_{23}^{45^\circ}, S_{33}^{45^\circ}, S_{43}^{45^\circ}$ матриці (4) характеризують:

$S_{13}^{45^\circ}$ - повну інтенсивність ортогональних лінійних складових відбитої хвилі з відрахуванням S_{11}^H ;

$S_{23}^{45^\circ}$ - різниця інтенсивностей ортогональних лінійно поляризованих складових відбитої хвилі з відрахуванням S_{21}^H ;

$S_{33}^{45^\circ}$ - різниця інтенсивностей лінійних складових відбитої хвилі, орієнтованих $+\frac{\pi}{4}$ і $-\frac{\pi}{4}$ з відрахуванням S_{31}^H ;

$S_{43}^{45^\circ}$ - різниця інтенсивностей ліво і право поляризованих кругових компонентів відбитої хвилі з відрахуванням S_{41}^H .

4. При опроміненні об'єкта електромагнітною хвилею кругової поляризації, коефіцієнти відбиття $S_{14}^K, S_{24}^K, S_{34}^K, S_{44}^K$ матриці (5) характеризують:

S_{14}^K - повну інтенсивність ортогональних лінійних складових відбитої хвилі з відрахуванням S_{11}^H ;

S_{24}^K - різниця інтенсивностей ортогональних лінійно поляризованих складових відбитої хвилі з відрахуванням S_{21}^H ;

S_{34}^K - різниця інтенсивностей лінійних складових відбитої хвилі, орієнтованих $+\frac{\pi}{4}$ і $-\frac{\pi}{4}$ з відрахуванням S_{31}^H ;

S_{44}^K - різниця інтенсивностей ліво і право поляризованих кругових компонентів відбитої хвилі з відрахуванням S_{41}^H .

В результаті отримання шістнадцяти коефіцієнтів матриці розсіювання шляхом послідовного опромінення об'єкта електромагнітною хвилею чотирьох поляризацій можна отримати інтегральну ефективну поверхню розсіювання об'єкта σ_Σ радіолокаційного спостереження у вигляді:

$$\sigma_\Sigma = |S_{11}|_H^2 + |S_{22}|_{B\Gamma}^2 + |S_{33}|_{45^\circ}^2 + |S_{44}|_K^2. \quad (11)$$

Варіювання поляризаційним базисом не змінює величини σ_Σ , за якою можна проводити розпізнавання об'єктів радіолокаційного спостереження. Рівняння (11) порівняно легко реалізується в комп'ютері суднової РЛС за умови вимірювання всіх модулів елементів матриці розсіювання (6).

При аналізі результатів вимірювань елементів матриці розсіювання об'єкта при його послідовному опроміненні електромагнітними хвилями чотирьох наведених поляризацій, виділення луна-сигналу об'єкта зі складного луна-сигналу (об'єкт + атмосферне утворення) можна проводити коефіцієнтами K_1, K_2, K_3 рівних відношенню основних компонент відбитої хвилі при певних поляризаціях опромінюючої хвилі, тобто:

$$K_1 = \frac{|S_{11}| - |S_{22}|}{|S_{11}| + |S_{22}|}, \quad (12)$$

$$K_2 = \frac{|S_{11}| - |S_{33}|}{|S_{11}| + |S_{33}|}, \quad (13)$$

$$K_3 = \frac{|S_{11}| - |S_{44}|}{|S_{11}| + |S_{44}|}. \quad (14)$$

Використання параметрів Стокса (дійсних енергетичних) при отриманні радіолокаційної інформації про об'єкти спостереження, що представляють собою повну щільність енергії хвилі (перший параметр Стокса $I(t)$), різницю енергій у горизонтально-вертикально поляризованих компонентах (другий параметр Стокса $Q(t)$), різницю енергій лінійно поляризованих під кутами $\beta_1 = 45^\circ$ і $\beta_2 = 135^\circ$ компонент (третій параметр Стокса $U(t)$), різницю поляризованих по правому та лівому колу $\alpha = \pm 45^\circ$ компонентів (четвертий параметр Стокса $V(t)$), дозволяє в реальному часі без вимірювання абсолютної фази отримати максимум інформації про об'єкт.

Зміна базису здійснюється обчислювальними пристроями РЛС в аналоговому вигляді, а операція перетворення базису проводиться в антені. Отримані за допомогою параметрів Стокса матриці є атрибутами об'єкта, і результати їх вимірювання не залежать від дальності до об'єкта радіолокаційного спостереження, вони дозволяють здійснити синтез алгоритмів поляриметричних спостережень об'єктів.

Розглянемо радіолокаційне розпізнавання об'єктів, що мають на своїй поверхні сингулярності типу вібраторів, що знаходяться в зоні випадючих облогових та зливових опадів різної інтенсивності при їх опроміненні електромагнітними хвилями розглянутих поляризацій.

1. Нехай об'єкт спостереження радіолокації знаходиться в зоні облогових опадів. Тоді як частинки облогових опадів мають сферичну форму і є ізотропними для опромінюючої хвилі, то коефіцієнти S_{11}, S_{22}, S_{33} у матриць розсіювання (3) і (4) в лінійному базисі рівні між собою, тобто $S_{11} = S_{22} = S_{33}$, а $K_1 = K_2 = 0$, тоді коефіцієнти $S_{12}, S_{13}, S_{23}, S_{41}, S_{42}, S_{43}$ матриць (3) і (4) характеризують відбивні властивості об'єкта спостереження судновою РЛС, а виділення луна-сигналу об'єкта з луна-сигналу облогових опадів проводиться за коефіцієнтом K_1 .

2. Нехай спостережуваний РЛС об'єкт перебуває у зоні випадючих зливових опадів різної інтенсивності. Частинки таких опадів не є сферами і їх можна представити у вигляді сукупності лінійних вібраторів з довільною орієнтацією та сфер. Лінійні вібратори деполяризують падаючу (випромінену) хвилю лінійної поляризації на зону зливових опадів,

що випадюють. Матриці розсіювання (3) і (4) зливових опадів з урахуванням того, що для вібраторів $S_{22} = S_{33} = 0$ і $K_1 = K_2 = 1$, а для сфер $S_{11} = S_{22} = S_{33}$ і $K_1 = K_2 = 0$ запишеться у вигляді:

- при опроміненні опадів хвилею лінійної вертикальної або лінійної горизонтальної поляризаціями:

$$S_{\text{відВГ}} = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} & 0 & 0 \\ S_{21} & 0 & 0 & 0 \\ S_{31} & S_{32} & 0 & 0 \\ S_{41} & S_{42} & 0 & 0 \end{bmatrix}, \quad (15)$$

а при опроміненні електромагнітною хвилею лінійної поляризації з кутом нахилу 45° у вигляді:

$$S_{\text{від}45^\circ} = \begin{bmatrix} S_{11} & 0 & S_{13} & 0 \\ S_{21} & 0 & S_{23} & 0 \\ S_{31} & 0 & 0 & 0 \\ S_{41} & 0 & S_{43} & 0 \end{bmatrix}, \quad (16)$$

і виділення луна-сигналу об'єкта з зони зливових опадів проводиться за коефіцієнтами K_1 або K_2 .

Для виявлення об'єкта з сингулярностями типу вібраторів на фоні зливових опадів, що випадають, необхідно об'єкт опромінити електромагнітною хвилею кругової поляризації і спостереження за об'єктом проводити в круговому базисі. Потім луна-сигнал від об'єкта у погодженому по поляризації каналі приймача РЛС розділити на луна-сигнал у перехресному каналі і визначити коефіцієнт K_3 відповідно до співвідношення:

$$K_3 = \frac{|S_{44}|}{|S_{41}|}. \quad (17)$$

Оцінка K_3 дозволяє виявити об'єкт на індикаторі РЛС, який знаходиться в зоні зливових опадів.

Межі можливих змін модулів перехресних коефіцієнтів матриць розсіювання (2), (3), (4), (5) у наведеному поляризаційному базисі становитимуть:

$$\left. \begin{aligned} |S_{12}|^2 = |S_{21}|^2 = |S_{31}|^2 = |S_{32}|^2 = |S_{41}|^2 = |S_{42}|^2 &\leq 0.25\sigma_\Sigma \left(1 + \sqrt{1 - K_1^2}\right) \\ |S_{13}|^2 = |S_{21}|^2 = |S_{23}|^2 = |S_{31}|^2 = |S_{41}|^2 = |S_{43}|^2 &\leq 0.25\sigma_\Sigma \left(1 + \sqrt{1 - K_2^2}\right) \\ |S_{14}|^2 = |S_{21}|^2 = |S_{24}|^2 = |S_{31}|^2 = |S_{34}|^2 = |S_{41}|^2 &\leq 0.25\sigma_\Sigma \left(1 + \sqrt{1 - K_3^2}\right) \end{aligned} \right\}, \quad (18)$$

а межі можливих змін модулів узгоджених по поляризації коефіцієнтів матриць розсіювання (2),(3),(4),(5) у приведеному поляризаційному базисі запишуться у вигляді:

$$\left. \begin{aligned} |S_{11}|^2 = |S_{22}|^2 &= 0.5\sigma_\Sigma \left(1 - \sqrt{1 - K_1^2}\right) \\ |S_{11}|^2 = |S_{33}|^2 &= 0.5\sigma_\Sigma \left(1 - \sqrt{1 - K_2^2}\right) \\ |S_{11}|^2 = |S_{44}|^2 &= 0.5\sigma_\Sigma \left(1 - \sqrt{1 - K_3^2}\right) \end{aligned} \right\}. \quad (19)$$

У результаті ми сформували модель розсіювальних властивостей радіолокаційного об'єкта, на вході якого створено чотиривимірний сигнал, представлений параметрами Стокса $I_{\text{вип}}, Q_{\text{вип}}, U_{\text{вип}}, V_{\text{вип}}$, в результаті на виході об'єкта виник відгук - розсіяний сигнал, також представлений чотирма параметрами Стокса $I_{\text{від}}, Q_{\text{від}}, U_{\text{від}}, V_{\text{від}}$. При цьому виконуються такі умови:

1. *Лінійність*, якщо випромінюваним параметрам Стокса $I_{\text{вип}}, Q_{\text{вип}}, U_{\text{вип}}, V_{\text{вип}}$ відповідають Відгуки $I_{\text{від}}, Q_{\text{від}}, U_{\text{від}}, V_{\text{від}}$.

2. *Дійсність*, якщо випромінювані параметри Стокса $I_{\text{вип}}, Q_{\text{вип}}, U_{\text{вип}}, V_{\text{вип}}$ дійсні, то й відбиті параметри Стокса $I_{\text{від}}, Q_{\text{від}}, U_{\text{від}}, V_{\text{від}}$ також дійсні.

3. *Трансляційна інваріантність*, якщо параметрам Стокса $I_{\text{вип}}, Q_{\text{вип}}, U_{\text{вип}}, V_{\text{вип}}$, що випромінюються, відповідають відбиті параметри Стокса $I_{\text{від}}, Q_{\text{від}}, U_{\text{від}}, V_{\text{від}}$, то будь-якого тимчасового зсуву τ справедливо відповідність параметрів Стокса:

$$I_{\text{вип}}(t-\tau) \rightarrow I_{\text{від}}(t-\tau), Q_{\text{вип}}(t-\tau) \rightarrow Q_{\text{від}}(t-\tau), U_{\text{вип}}(t-\tau) \rightarrow U_{\text{від}}(t-\tau), V_{\text{вип}}(t-\tau) \rightarrow V_{\text{від}}(t-\tau).$$

Ці умови еквівалентні існуванню єдиної матриці (6), коефіцієнти якої змінюються кожної поляризації випромінюваної хвилі і у якої коефіцієнти $S_{11}-S_{44}$ є узагальненими функціями лінійного простору.

Подання об'єкта радіолокаційного спостереження матрицею (6) є універсальним, оскільки за допомогою її коефіцієнтів можна визначити відбитий сигнал при опроміненні об'єкта електромагнітною хвилею чотирьох фіксованих поляризацій. Елементи матриці не залежать від часу розповсюдження електромагнітної хвилі (t) і відстані від РЛС до об'єкта і характеризують тільки здатність об'єкта розсіювати.

Висновки

1. Синтезована процедура радіолокаційного вимірювання характеристик розсіювання об'єкта, що спостерігається за наявності природного фону.
2. При прийомі відбитих від об'єкта сигналів реалізовано процедуру відбудови сигналів від навколишнього об'єкта фону, що підвищує достовірність та надійність радіолокаційного спостереження об'єктів.
3. Підвищення достовірності та надійності радіолокаційної інформації про об'єкт здійснюється вибором поляризації зондувального сигналу, а також врахуванням відмінностей поляризаційного стану прийнятих від об'єкта та навколишнього фону сигналів за певних умов радіолокаційного спостереження за об'єктом.

ЛІТЕРАТУРА

1. Теоретические основы радиолокации: Учебн. Пособие для вузов /А.А. Коростылев, Н.Ф. Ключев,Ю.А. Мельник и др.; Под ред. В.Е. Дулевича. – 2-е изд., перераб. И доп. - М.: Изд-во «Советское радио», 1978. – 608 с.
2. Голиков В.В. Повышение безопасности судовождения методами радиолокационной поляриметрии / В.В. Голиков, Д.В. Корбан // Судовождение: сб. научных трудов. Вып.21. - Одесса: ОНМА, 2012. - С.78-85.
3. Матросов С.Ю. Матричные характеристики радиолокационного рассеяния жидкокапельных облаков и осадков / С.Ю. Матросов // Труды ГГО, 1991, вып.535. – С.96 - 99.
4. Матросов С.Ю. Оценка степени поляризации радиотеплового излучения облаков, дающих осадки / С.Ю. Матросов, Щукин Г.Г// Труды ГГО, 1991, вып.535. – С.100-102.
5. Вагущенко Л.Л. Судовые навигационные информационные системы/ Л.Л. Вагущенко. – Одесса: «Феникс», 2004. - 302 с.
6. Томашевський В.М. Моделювання систем / В.М. Томашевський. – К.: ВНУ, 2005. – 352 с.
7. Борзов А.Б. Анализ полей рассеяния сложных радиолокационных сцен на основе полигональных моделей / А.Б. Борзов, В.Б. Сучков // Наукоемкие технологии, 2001. - №3. – С. 175 – 184.
8. Афанасьев В.В. Судовые радиолокационные системы: Учебник под ред. Ю. М. Устинова / В.В. Афанасьев, А.Н. Маринич, А.В. Припотнюк, Ю.В. Устинов. - СПб.: Веленара, 2009. - 366 с.

9. Кораблев А.Ю. Determination of radar contrast using various polarization and evaluation of its limiting significance. Determination of statistical characteristics for polarization-radar contrast. IRCTR-S-011-03, Delft, Netherlands, 2003, p. 15-18.
10. Кораблев А.Ю. Criteria for evaluation of methods to distinguish targets and geophysical objects on the basis for various polarization parameters. IRCTR-S-011-03, Delft, Netherlands, 2003, p. 9-11.
11. Кораблев А.Ю. Measurement Campaigns Using 1,8cm and 3,2 cm Coherent Radar with Controlled Polarization Capabilities. IRCTR-S-035-01, Delft, Netherlands, 2000, p. 14-16.
12. Козлов И.М. Параметры двухточечной статистической модели для имитации сложного радиолокационного объекта // Известия вузов. Радиоэлектроника, 2000. - № 5-6. - С.19-23.
13. Шахтарин Б.И. Цифровое моделирование однородных случайных полей с заданными корреляционно-спектральными характеристиками / Б.И. Шахтарин, Л.В. Лабунец // Научный вестник МГТУ ГА, серия Радиофизика и радиотехника, 2000. - №24. -
14. Колядов Д.В. Моделирование наземных подстилающих поверхностей при их дистанционном зондировании // Научный вестник МГТУ ГА, серия Радиофизика и радиотехника, 2001. - №36. - С.25-61.
15. Морозов А.В. РЛС в судовождении / А.В. Морозов. –Одеса: Друкарський дім, 2013. – 464с.
16. Bebbington D., Carrea L., Krogager E. Geometric polarimetry - Part 1: Spinors and wave states // arXiv.org: архив электронных публикаций статей и препринтов. 2008. URL: <http://arxiv.org/abs/0804.0745>.

REFERENCES

1. Teoreticheskie osnovy radiolokatsii: Uchebn. Posobie dlia vuzov /A.A. Korostylev, N.F. Kliuev, Iu.A. Melnik i dr.; Pod red. V.E. Dulevicha. – 2-e izd., pererab. I dop. - M.: Izd-vo «Sovetskoe radio», 1978. – 608 s.
2. Golikov V. V. Povyshenie bezopasnosti sudovozhdeniia metodami radiolokatsionnoi poliarimetrii / V.V. Golikov, D.V. Korban // Sudovozhdenie: sb. nauchnykh trudov. Vyp.21. - Odessa: ONMA, 2012. - S.78-85.
3. Matrosov S.Iu. Matrichnye kharakteristiki radiolokatsionnogo rasseianiia zhidkokapelnykh oblakov i osadkov / S.Iu. Matrosov // Trudy GGO, 1991, vyp.535. – S.96 - 99.
4. Matrosov S.Iu. Otsenka stepeni poliarizatsii radioteplovogo izlucheniia oblakov, daiushchikh osadki / S.Iu. Matrosov, Shchukin G.G// Trudy GGO, 1991, vyp.535. – S.100-102.
5. Vagushchenko L.L. Sudovye navigatsionnye informatsionnye sistemy/ L.L. Vagushchenko. – Odessa: «Feniks», 2004. - 302 s.
6. Tomashevskii V.M. Modeliuvannia sistem / V.M. Tomashevskii. – K.: VNV, 2005. – 352s.
7. Borzov A.B. Analiz polei rasseianiia slozhnykh radiolokatsionnykh stsen na osnove poligonalnykh modelei / A.B. Borzov, V.B. Suchkov // Naukoemkie tekhnologii, 2001. - №3. – S. 175 – 184.
8. Afanasev V. V. Sudovye radiolokatsionnye sistemy: Uchebnik pod red. Iu. M. Ustinova / V.V. Afanasev, A.N. Marinich, A.V. Pripotniuk, Iu.V. Ustinov. - SPb.: Velenara, 2009. - 366 s.
9. Korablev A.Iu. Determination of radar contrast using various polarization and evaluation of its limiting significance. Determination of statistical characteristics for polarization-radar contrast. IRCTR-S-011-03, Delft, Netherlands, 2003, p. 15-18.
10. Korablev A.Iu. Criteria for evaluation of methods to distinguish targets and geophysical objects on the basis for various polarization parameters. IRCTR-S-011-03, Delft, Netherlands, 2003, p. 9-11.

11. Korablev A.Iu. Measurement Campaigns Using 1,8 cm and 3,2 cm Coherent Radar with Controlled Polarization Capabilities. IRCTR-S-035-01, Delft, Netherlands, 2000, p. 14-16.
12. Kozlov I.M. Parametry dvukhtocheknoi statisticheskoi modeli dlia imitatsii slozhnogo radiolokatsionnogo ob'ekta // Izvestiia vuzov. Radioelektronika, 2000. - № 5-6. - S.19-23.
13. Shakhtarin B.I. Tsifrovoe modelirovanie odnorodnykh sluchainykh polei s zadannymi s zadannymi korreliatsionno-spektralnymi kharakteristikami / B.I. Shakhtarin, L.V. Labunets // Nauchnyi vestnik MGTU GA, seriia Radiofizika i radiotekhnika, 2000. - №24. -
14. Koliadov D.V. Modelirovanie nazemnykh podstilaiushchikh poverkhnostei pri ikh distantsionnom zondirovanii // Nauchnyi vestnik MGTU GA, seriia Radiofizika i radiotekhnika, 2001. - №36. - S.25-61.
15. Morozov A.V. RLS v sudovozhdenii / A.V. Morozov. –Odesa: Drukarskii dim, 2013. – 464 s.
16. Bebbington D., Carrea L., Krogager E. Geometric polarimetry - Part 1: Spinors and wave states // arXiv.org: архив электронных публикаций статей и препринтов. 2008. URL: <http://arxiv.org/abs/0804.0745>.

Korban D.V.

RADAR MEASUREMENT OF OBJECT SCATTERING CHARACTERISTICS IN THE PRESENCE OF A NATURAL BACKGROUND

The article synthesized a procedure for radar simulation of the characteristics of a guarded object for the presence of a natural background. With the reception of the received signals from the object of the implementation of the process, the process of using the background in the background looks like falling of different intensity, which should fall. This ensures the reliability and reliability of radar information. Increasing the credibility and reliability of radar information about the object of remote surveillance is carried out by choosing the polarization of the sounding signal, as well as taking into account the differences in the polarization state of signals received from the object and the surrounding natural background under certain conditions of radar observation of the object. As informative parameters, the complete effective scattering surface of the object, obtained during successive irradiation of the object with an electromagnetic wave of four fixed polarizations in linear and circular bases, and the measurement of the coefficients of the scattering matrix of the object for each polarization of the irradiating wave were used. The polarization method of radar measurement of the object's scattering characteristics in the presence of an echo-signal of the atmospheric formation was established, which allows for radar observation of the object in difficult atmospheric conditions. When analyzing the results of radar measurements of the elements of the scattering matrix of an object when it is successively irradiated by electromagnetic waves of the four specified polarizations of the separation of the echo-signal of the object from the echo-signal of a complex object (object + atmospheric formation), coefficients K_1 , K_2 , K_3 are used, equal to the ratio of the main components of certain polarizations of the irradiated wave, such as an unpolarized wave (using the coefficient S_{11}^H), an electromagnetic wave of linear vertical polarization using the coefficient $S_{22}^{B\pi}$), a linearly polarized wave with an inclination of the electric vector 45° (coefficient $S_{33}^{45^\circ}$), an electromagnetic wave of circular polarization (coefficient S_{44}^K). It is shown that if the object is located in the area of heavy precipitation, then its echo-signal is separated from the echo-signal of a complex object using the K_3 coefficient, and when the object is located in the area of torrential precipitation, its echo-signal is separated from the echo-signal of a complex object is produced by coefficients K_1 , K_2 .

Keywords: polarization, object of radar observation, natural background, effective scattering surface, object scattering matrix, modules of consistent and cross coefficients, Stokes parameters.

Пліта Л.Л., Урум Н.С., Трофименко І.В., Бажак О.В.

МЕТОД ФОРМАЛІЗАЦІЇ ОЗНАКОВОГО ПРОСТОРУ ДЛЯ КЛАСИФІКАЦІЇ ПРОГНОЗНОГО СТАНУ ПОГОДИ ЗА МІСЦЕВИМИ ФАКТОРАМИ

Метою статті є розробка методу формалізації ознакового простору для класифікації прогнозного стану погоди за місцевими факторами на певних територіях (ділянках). Поставлена мета досягається шляхом аналізу джерел інформації щодо можливих підходів до формалізації місцевих ознак погоди у різних місцевостях для їх подальшого виділення та проведення класифікації. Запропонований та реалізований принцип детермінованості для формалізації опису місцевих ознак прогнозного стану погоди. При формуванні ознакового простору для класифікації прогнозного стану погоди за місцевими факторами на певних територіях (ділянках) визначені групові ознаки динаміки зміни погоди; проведено їх дихотомізацію і визначено еталонний набір ознак для кожного класу типу погоди. Реалізація матриці відповідності ознак та індексів належності типів погоди у бінарному ознаковому просторі дозволила перейти від лінгвістичних змінних у базі знань до булевих. Найбільш суттєвим результатом є розробка методу формалізації ознакового простору для класифікації прогнозного стану погоди за місцевими факторами на певних територіях (ділянках), який відрізняється застосуванням бінарних відносин та дівізимних процедур; ієрархічною структурою класифікації типів погоди; особливостями структури синглетонної бази знань про місцеві ознаки погоди та її зміни. Подальшим напрямом роботи є формалізація місцевих ознак погоди іншого типу з більш складними властивостями; аналіз повноти і достовірності вхідної інформації для визначення переваги пропонованих варіантів рішення; реалізація механізму логічного виведення, що відповідатиме обраному апарату формалізації, з формуванням вектору “довіри” до варіантів рішення.

Ключові слова: *ознаковий простір, місцеві ознаки, формалізація, база знань, прогноз, класифікація, дихотомізація, зміна погоди, безпека судноплавства.*

Постановка проблеми. Спеціальні метеорологічні супутники, метеорологічні станції, інші джерела інформації щомиті передають мільйони біт інформації задля створення на Землі точних прогнозів погоди. Такі прогнози погоди на наступні 12, 24, 48 і 72 години регулярно передаються у підсистемах передачі даних NAVTEX і SafetyNet, по радіо, в інтернеті та іншими способами. Їх користувачами є конкретні фізичні особи, сільськогосподарські підприємства, авіаційні та судноплавні компанії тощо. Ці дані використовують військові, доповнюючи їх інформацією з власних метеорологічних джерел.

Величезні об'єми інформації вже давно не обробляються вручну. Не вистачить ні часу, ні людських ресурсів. Потужні обчислювальні центри, ядром яких є сучасні суперкомп'ютери і просунуте програмне забезпечення, дозволяють майже в режимі реального часу оцінювати поточну синоптичну обстановку, її найближчий та віддалений прогноз, планувати і, за необхідності, корегувати маршрути переходу суден, призупиняти виловлення риби, приймати певні заходи щодо добування корисних копалин, видобутку нафти, газу тощо, проводити інші дії, на які суттєво впливає погода. Дуже важливу роль у функціонуванні синоптичних центрів грає якість застосовуваного програмного забезпечення. На торгових судах широке використання знайшло програмне забезпечення SPOS від компаній MeteoGroup, PassageWeather, Windfinder та ін.

Однак, не дивлячись на постійне вдосконалення наявних у розпорядженні моряків технічних та програмних засобів для отримання точних, оперативних, регулярних і всеохоплюючих прогнозів погоди, сучасних інструментів для аналізу синоптичної

обстановки, для забезпечення безпеки судноплавства важливим залишається уміння капітана і штурманів визначати зміну погоди за місцевими ознаками.

Використання моряками місцевих ознак, зроблені ними протягом століть спостереження над станом вітрів і штормів і у теперішні часи є вельми корисними. Так, відомості про вітри і шторми, наприклад у районі Британських островів, є актуальними під час плавання в Балтійському, Північному, Норвезькому морях і біля берегів Німеччини, Нідерландів, Великої Британії, Ірландії та Франції.

Розглянемо детальніше ці місцеві ознаки, спираючись на роботу [1].

Відомо, що біля англійських берегів найчастіше дмуть південно-західний і північно-східний вітри.

За більш частим теплим і вологим південно-західним вітром (екваторіальна течія повітря) барометр стоїть низько, а погода є хмарною і сирою. Перед переходом північно-східного вітру в південно-західний барометр опускається. Ця зміна починається переходом вітру в SO або SSO, який дме кілька годин із сильним дощем. Південно-західному вітру часто передує раптове недовге піднесення барометра, яке доволі швидко зупиняється, і барометр починає стрімко падати.

Північно-східний вітер (полярна течія повітря) відрізняється тим, що барометр стоїть високо, і погода зазвичай є ясною і сухою. Барометр піднімається перед переходом південно-західного вітру у північно-східний. Дана зміна починається переходом вітру в NW або NNW, який взимку часто супроводжується снігом.

Також помічено, що шторми біля Британських островів здебільшого бувають від південного заходу, а вітер при цьому може дати від будь-якого румба між SO, W і WNW через S.

Цікаве спостереження стосується зими. Після східних вітрів, якщо барометр почне падати, а температура підвищуватися, то слід очікувати південно-східного вітру, який перейде в південно-західний, причому барометр буде постійно падати. Але щойно вітер задує від SW, як барометр почне підвищуватися, то піде сильний дощ, який може змінитися міцним вітром від WNW або NW. Після цього небо проясняється, і погода стає холодною. Іноді, хоча й рідко, північно-західний вітер може перейти в північний або північно-східний.

Ось такі місцеві ознаки характеризують зміну вітру, тиску, температури, наявність дощу і хмар взимку.

І продовження цього опису. Якщо вітер повертається від NW через W і SW і продовжує залишатися свіжим, то можна розраховувати на продовження штормової погоди. Найчастіше ці вітри починаються на західному березі Ірландії і потім поширюється на схід. Якщо напрямок вітру змінюється раптово, то шторм може дати від NW на березі Ірландії, тоді як на східному березі Англії він почнеться тільки від S або SSO.

Причиною цих вітрів є зіткнення екваторіальної та полярної течій. Їх сила відбивається на силі вітрів, які бувають дуже сильними, на дуже швидкій зміні повітряного тиску й температури, на супроводженні штормів громом і блискавкою.

Встановлено, що північно-східні шторми бувають рідше, ніж південно-західні. Наближення північно-східних штормів зазвичай не позначено такими вірними ознаками, як наближення південно-західних штормів, що є серйозною небезпекою на східному узбережжі Великої Британії. Таким штормам часто передує низька за порою року температура. Починаються вони зазвичай вітрами від NW або NNW і великою кількістю снігу, потім небо швидко проясняється, і вітер дме з великою силою від північного сходу.

Полярні або північно-східні шторми характеризуються відносною стабільністю вітру у порівнянні з південно-західними штормами: вітер рідко переходить на 2 або на 3 румба. Навпаки, під час екваторіальних або південно-західних штормів вітер нерідко змінюється за годинниковою стрілкою на 6 або на 7 румбів.

Ось такий дуже стислий опис свідчить, що не лише дані від Служби погоди, але й знання місцевих умов плавання, особливих місцевих ознак, є запорукою досягнення заданих показників безпеки судноплавства, надійною основою збереження життів екіпажу, пасажирів

і цілісності вантажу. Але ж слід пам'ятати, що завжди пальма першості слід віддавати прогнозам бюро погоди, а місцеві ознаки залишати як гарне доповнення до них.

Разом з тим, у часи стрімкого розвитку інформаційних технологій, застосування принципів штучного інтелекту у різних прикладних додатках все чіткіше вирисовується можливість використання місцевих ознак для створення прототипу системи підтримки прийняття рішення щодо прогнозу стану очікуваної погоди у певному районі (території).

Після виділення місцевих ознак, їх можливого групування та класифікаційного опису для уточнення прогнозу погоди на певних територіях необхідно розробити метод формалізації сукупності місцевих ознак погоди. На теперішній день це питання залишається невирішеним. Тому розробка методу формалізації ознакового простору для класифікації прогнозного стану погоди за місцевими факторами є актуальним завданням, яке, сподіваємось, знайде подальше вирішення у роботах однодумців.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Для визначення прогнозу погоди необхідно провести аналіз методів формалізації процесів прийняття рішень.

У загальному випадку формалізації процесів прийняття рішень у будь-якій сфері застосовують інформаційний або когнітивний підходи.

Зазвичай інформаційний підхід знайшов місце у системах, що працюють у типових умовах, коли є достатньо часу для глибокого аналізу обстановки і прийняття рішень. Комп'ютер тоді є допоміжним засобом для оцінки варіантів рішень [2]. Такий підхід є підходящим для здійснення середньострокових прогнозів.

Системи управління з високим ступенем адаптивності до зовнішніх умов застосовують когнітивний підхід. Отже, для прогнозування погоди важливим завданням є представлення знань [3].

Представлення знань базується на використанні формальних або неформальних моделей. Формальні моделі будуються на строгій математичній теорії, а кожна неформальна модель розробляється під конкретну предметну область із застосуванням логічних, фреймових і продукційних моделей, нейронних або семантичних мереж [2, 4, 5]. Неформальні системи у певному сенсі є суб'єктивними.

Навіть поверховий аналіз предметної області свідчить, що для визначення прогнозу погоди за місцевими ознаками найбільш підходять продукційні моделі. Вони дуже наочні, подібні до людських міркувань, близькі до логічних моделей, їх порівняно легко інтерпретувати, характеризуються ефективними процедурами виведення.

У загальному випадку продукція являє собою конструкцію такого вигляду: $\langle \text{ім'я продукції} \rangle \langle \text{умова } (\alpha) \rangle \langle \text{вираз } (\beta) \rangle$.

Формалізація завдання з прогнозу погоди характеризується невизначеністю, для зниження рівня якої пропонується використовувати теорію нечітких множин [4-7].

Прогнозований стан погоди може бути описано природною мовою і формалізовано сукупністю логічних висловлювань. Задіяний принцип причинно-наслідкового зв'язку між інформаційними (місцевими) ознаками та результатом (прогнозованим станом погоди) реалізується за допомогою таких механізмів логічного виведення [8]:

- нечітких продукційних правил;
- алгоритмів багатокритеріального вибору;
- прецедентів і вибору за аналогією (нечіткого розпізнавання ситуацій).

Визначення стану погоди за певними місцевими ознаками може бути віднесено у загальному випадку до завдань розпізнавання ситуацій. Тоді для прийняття рішення про клас стану погоди необхідно порівняти поточні значення спостережуваних місцевих ознак з еталонними, заздалегідь введеними до бази знань. Відповідність певного стану погоди деякому апіорному класу (алфавіту) може вибиратись за правилом, що сума відстаней від якогось класу S^* до всіх інших класів S_i є мінімальною $\sum_i^N D(S_i, S^*) \rightarrow \min$.

Ступінь подібності може визначатися шляхом використання міри схожості за Дейком, Лукасевичем, Танімото та ін. [4, 6, 7]. Але при прогнозуванні погоди за місцевими ознаками

процеси можуть відбуватися швидкоплинно, навіть стрибкоподібно. Протягом невеликого проміжку часу кількість (і значення) спостережуваних ознак можуть змінюватися у досить широких межах. Тому використання методу вибору за аналогією для вирішення завдання прогнозування стану погоди за місцевими ознаками з неповнотою інформації є проблематичним. Виходом з такої ситуації, можливо, є комбінація методу вибору за аналогією з іншими методами за умов достатності інформації.

У відомій літературі відсутня інформація щодо формалізації процесу прийняття рішень з класифікації стану погоди за місцевими ознаками. Але в інших предметних областях просунулися значно далі. Так, при класифікації повітряних суден застосовується метод, заснований на продукційних моделях і нечіткій логіці [9]. Використаний там концептуальний підхід щодо побудови бази знань можна взяти за основу для розробки методу класифікації прогнозованого стану погоди.

Для формального представлення знань з класифікації прогнозованого стану погоди пропонується застосувати комбінацію нечітких продукційних моделей з розвинутим апаратом виведення, моделей з детермінованим логічним виведенням на основі звичайної булевої логіки і методу вибору за аналогією. Обраний формально-логічний апарат потребує у подальшому розробки двох механізмів логічного виведення – детермінованого та в умовах нечіткості. Причому необхідно математично описати класи шляхом порівняння еталонних і поточних значень ознак, визначити класи типу погоди за обраним критерієм близькості або за допомогою обраних механізмів логічного виведення, оцінити ступінь відповідності отриманих класів типів погоди розробленим на етапі концептуалізації.

Метою статті є розробка методу формалізації ознакового простору для класифікації прогнозного стану погоди за місцевими факторами на певних територіях (ділянках).

Викладення основного матеріалу дослідження.

Формалізація місцевих ознак погоди шляхом дихотомізації

Для впевненої класифікації стану погоди необхідно дотримуватися таких вимог [10]:

– відповідність формалізованого опису знань про стан погоди математичній моделі класів;

– повнота і бажана несуперечність формалізованих знань щодо класифікації стану погоди. Але тут необхідно виходити з очевидного факту, що неоднозначні (нестійкі) процеси в атмосфері описуються суперечливими ознаками. У такому разі необхідно керуватися ознаками, що виражені більш різко, яскраво;

- оперативність надходження інформації;
- відкритість системи підтримки прийняття рішення (СППР);
- надходження даних від різних джерел.

Для опису прогнозованого стану погоди можна використати сукупність груп ознак про [11, 12]:

- вигляд Сонця, Місяця і зорі;
- зірки;
- хмари і колір неба;
- барометр;
- вітер;
- температуру;
- тумани;
- видимість;
- вологість;
- інші різні прикмети.

Для кожного класу (стану) погоди властивий свій набір кількісних і якісних ознак [13]. Кількісні ознаки є вимірюваними, можуть оцінюватися і кількісно порівнюватися між собою. Якісні ознаки визначають семантичний опис властивостей стану.

Окремо для кожної групи ознак визначають значення (діапазон, інтервал, проміжок і т. п.) на основі експериментальних даних або експертних оцінок. У статті використаний саме спосіб експертних оцінок. У кожній групі деякі ознаки можуть представлятися у бінарному просторі (“1” або “0”) шляхом дихотомізації даних [14]. Для чого це робиться? Дихотомізація або дивізімна процедура дозволяє перейти від лінгвістичних змінних у базі знань до булевих і, таким чином, визначити їх в єдиній безрозмірній метриці. А сам процес уявляє собою послідовну декомпозицію узагальненої ознаки A_i на простір часткових $\alpha_{i,j}$ (табл. 1). З іншого боку, можна сказати, що часткові ознаки $\alpha_{i,j}$ стану погоди зібрані у групи A_i за типом.

Таблиця 1 – Інформаційні ознаки, що описують стан погоди (фрагмент)

Ознаки	Семантичний опис ознак
1	2
A_1	<i>За виглядом Сонця, Місяця і зорі</i>
$\alpha_{1,1}$	Наявність кола навколо Сонця і Місяця
$\alpha_{1,2}$	Відсутність кола навколо Сонця і Місяця
$\alpha_{1,3}$	Викривлення диска Сонця або Місяця під час сходу або заходу
$\alpha_{1,4}$	Розділення на частини темними смугами диска Сонця або Місяця під час сходу або заходу
$\alpha_{1,5}$	Відсутність викривлення або розділення на частини темними смугами диска Сонця або Місяця під час сходу або заходу
$\alpha_{1,6}$	Наявність пурпурового забарвлення по краях густих хмар, за які заходить Сонце
$\alpha_{1,7}$	Відсутність пурпурового забарвлення по краях густих хмар, за які заходить Сонце
$\alpha_{1,8}$	Наявність спочатку просвічення Сонця тьмяним, розмитим диском, а потім його зникнення (невидимість)
$\alpha_{1,9}$	Відсутність явища, описаного ознакою $\alpha_{1,8}$
$\alpha_{1,10}$	Наявність червоної або багряно-червоної зорі під час заходу Сонця
$\alpha_{1,11}$	Відсутність червоної або багряно-червоної зорі під час заходу Сонця
$\alpha_{1,12}$	Наявність жовтої і жовто-рожевої зорі
$\alpha_{1,13}$	Відсутність жовтої і жовто-рожевої зорі
$\alpha_{1,14}$	Наявність ніжно-рожевої зорі у вигляді кола над сонцем, що зайшло за обрій
$\alpha_{1,15}$	Відсутність ніжно-рожевої зорі у вигляді кола над сонцем, що зайшло за обрій
$\alpha_{1,16}$	Перехід ніжно-рожевої зорі у рожево-червону у вигляді кола над сонцем, що зайшло за обрій
$\alpha_{1,17}$	Наявність золотої зорі
$\alpha_{1,18}$	Відсутність золотої зорі

Аналогічно будуються таблиці з частковими ознаками $\alpha_{i,j}$ стану погоди для інших груп A_i ($i = 2 - 10$). Групування ознак у цьому випадку здійснюється за таким принципом: по зірках; по хмарах і кольору неба; по барометру; за вітром; за температурою; за туманами; за видимістю; за вологістю; за іншими різними прикметами.

Вказані часткові ознаки $\alpha_{i,j}$ є підставою для визначення класів стану погоди $\beta_{i,j}$. Опис класів станів погоди наведений у табл. 2.

Таблиця 2 – Опис класів станів очікуваної погоди

Класи	Семантичний опис класів
І рівень	За ступенем стабільності
$\beta_{1,1}$	Погіршення погоди
$\beta_{1,2}$	Покращення погоди
$\beta_{1,3}$	Збереження характеру погоди на найближчі 8-12 год.
$\beta_{1,4}$	Гарна антициклонічна погода зі слабким вітром або безвітрям, невеликою хмарністю і хорошою видимістю протягом найближчих 12 год.

$\beta_{1.5}$	Погана погода (похмура, з опадами, сильним вітром, поганою видимістю) протягом найближчих 6 год. і більше
---------------	---

Крім того, два типи очікуваної погоди погіршення $\beta_{1.1}$ і покращення $\beta_{1.2}$ мають по два проміжні стани. Перший стан $\beta_{1.1}$ має два проміжні стани: $\beta_{1.1.1}$ – наближення теплового фронту циклону з похмурою погодою і свіжим вітром через 6-12 год і $\beta_{1.1.2}$ – наближення холодного фронту, грози та шторму за 1-2 год до його початку. Другий очікуваний стан погоди також має два проміжні стани: $\beta_{1.2.1}$ – припинення опадів і послаблення вітру в найближчі 4 год після проходження теплового фронту або фронту оклюзії 6-12 год і $\beta_{1.2.2}$ – припинення опадів, зміна напрямку вітру та прояснення через 2-4 год після проходження холодного фронту другого роду.

Представимо процедуру класифікації станів погоди у вигляді графу, в якому $\alpha_{i,j}$ – ознаки, $\beta_{m,n}$ – клас стану погоди, i – група ознаки, j – черговий номер ознаки у групі, m – рівень класифікації, n – черговий номер класу на цьому рівні (рис. 1). На цьому рисунку введені позначки: 1 відповідає ознаці $\alpha_{1.1}$; 2 – $\alpha_{1.2}$; 3 – $\alpha_{1.3}$; ...; 18 – $\alpha_{1.18}$.

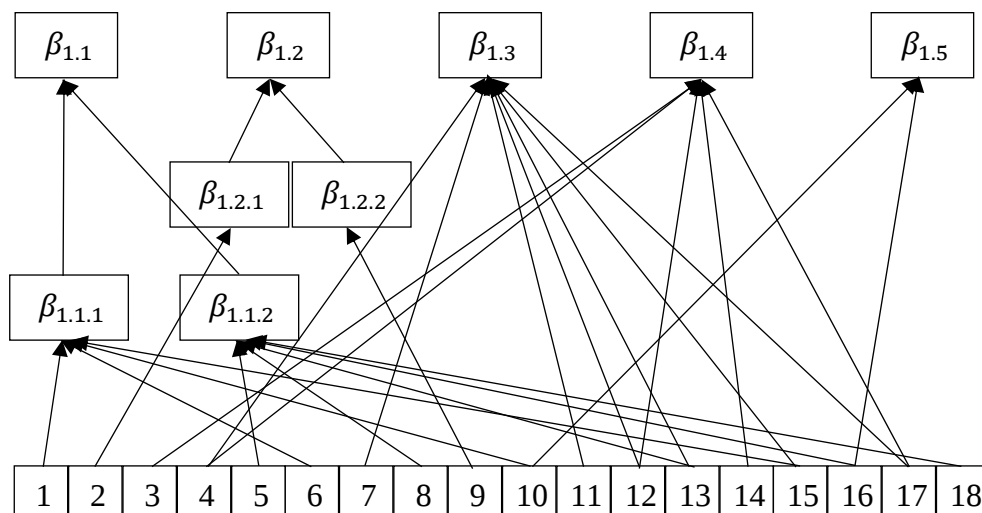


Рисунок 1 – Граф відповідності інформаційних місцевих ознак станам очікуваної погоди

Бінарний ознаковий простір дозволяє сформувати матрицю відповідності ознак та індексів належності типів очікуваної погоди (матрицю знань) (таблиця 3), а в подальшому перейти від лінгвістичних змінних у базі знань до булевих.

Таблиця 3 – Матриця відповідності ознак та індексів належності типів очікуваної погоди

	$\beta_{1.1.1}$	$\beta_{1.1.2}$	$\beta_{1.2.1}$	$\beta_{1.2.2}$	$\beta_{1.1}$	$\beta_{1.2}$	$\beta_{1.3}$	$\beta_{1.4}$	$\beta_{1.5}$
$\alpha_{1.1}$	1								
$\alpha_{1.2}$			1						
$\alpha_{1.3}$								1	
$\alpha_{1.4}$							1	1	
$\alpha_{1.5}$		1							
$\alpha_{1.6}$	1								
$\alpha_{1.7}$							1		
$\alpha_{1.8}$		1							
$\alpha_{1.9}$				1					
$\alpha_{1.10}$	1								1
$\alpha_{1.11}$							1		

Закінчення таблиці 3

$\alpha_{1.12}$							1	1	
$\alpha_{1.13}$		1					1		
$\alpha_{1.14}$								1	
$\alpha_{1.15}$	1						1		
$\alpha_{1.16}$		1							1
$\alpha_{1.17}$							1	1	
$\alpha_{1.18}$		1							
$\beta_{1.1.1}$					1				
$\beta_{1.1.2}$					1				
$\beta_{1.2.1}$						1			
$\beta_{1.2.2}$						1			

Висновки. Отже, у статті вирішене актуальне завдання з розробки методу формалізації ознакового простору для класифікації прогнозного стану погоди за місцевими факторами на певних територіях (ділянках).

1. Формалізація опису місцевих ознак прогнозного стану погоди базується на принципі детермінованості. Запропонований метод формування ознакового простору для класифікації прогнозного стану погоди за місцевими факторами на певних територіях (ділянках) містить визначення групових (узагальнених) ознак динаміки зміни погоди; їх дихотомізацію і визначення еталонного набору ознак для кожного класу типу погоди. Матриця відповідності ознак та індексів належності типів погоди формується у бінарному ознаковому просторі. Це дозволяє перейти від лінгвістичних змінних у базі знань до булевих.

2. Запропонована ієрархічна система класифікації типів погоди. Введена система класифікації дозволяє визначити небезпечні типи погоди, які потребують особливої уваги з боку судноводія та команди; і зіставити існуючу систему класифікації типів погоди за індексами належності з сучасними вимогами до її визначення Службою погоди.

3. Розроблений метод формалізації ознакового простору для класифікації прогнозного стану погоди за місцевими факторами на певних територіях (ділянках), який відрізняється застосуванням бінарних відносин та дівізімних процедур; ієрархічною структурою класифікації типів погоди; особливостями структури синглетонної бази знань про місцеві ознаки погоди та її зміни.

4. Місцеві фактори, за допомогою яких можна покращувати прогнози погоди, не є однорідними. Розроблений підхід дозволив формалізувати лише одну частину місцевих ознак погоди. Попереду ще велика ділянка роботи, яка стосується формалізації другого кола місцевих ознак погоди, які володіють іншими властивостями. Після виконання формалізації місцевих ознак погоди ще багато зусиль потребує аналіз повноти і достовірності вхідної інформації для визначення переваги пропонованих варіантів рішення; вивчення та реалізації особливостей механізму логічного виведення, який, на нашу думку, матиме детерміновані гілки прийняття рішень про стан погоди та гілки прийняття рішень на основі нечіткого логічного виведення з формуванням вектору “довіри” до варіантів рішення. Але найважливішим кроком на шляху створення прототипу системи підтримки прийняття рішень про передбачення погоди, яка базуватиметься на прогнозі, що надходить від Служби погоди, та знаннях про місцеві прикмети й ознаки, є розробка методу формалізації ознак, з якою ми впоралися.

ЛІТЕРАТУРА

1. Местные признаки погоды. [режим доступу <https://www.google.com/> , дата звернення: 02.11.2022].
2. Бондарев А.В. Искусственный интеллект: Учеб. пособие для вузов / А.В. Бондарев, Ф.Г. Аде. – Севастополь: Издательство СевНТУ, 2002. – 615 с.

3. Кушлик-Дивульська О.І., Кушлик Б.Р. Основи теорії прийняття рішень. – К., 2014. – 94 с.
4. Ротштейн А.П. Интеллектуальные технологии идентификации: нечеткие множества, генетические алгоритмы, нейронные сети / А.П. Ротштейн. – Винница: УНИВЕРСУМ, 1999. – 320 с.
5. Тімочко О.О. Розробка методів формалізації знань про процес класифікації повітряних об'єктів / О.О. Тімочко, Д.М. Обідін // Системи управління, навігації та зв'язку. – 2015. – Вип. 1(33). – С. 61-65. – Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/suntz_2015_1_18.
6. Герасимов Б.М. Нечеткие множества в задачах проектирования, управления и обработки информации / Б.М. Герасимов, Г.Г. Грабовский, Н.А. Рюшин. – К.: Техніка, 2002. – 140 с.
7. Катренко А.В. Теорія прийняття рішень. Підручник/ А.В. Катренко, В.В. Пасічник, В.П. Пасько. – К.: БНУ, 2009. – 448с.
8. Зуєв, П.П. Пропозиції щодо удосконалення методів вироблення рішень в автоматизованих системах управління черговими силами об'єднання Повітряних Сил / П.П. Зуєв, О.О. Тімочко, А.А. Кизима // Системи управління, навігації та зв'язку. – 2016. – Вип. 1(37). – С. 26-28. – Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/suntz_2016_1_9.
9. Олизаренко С.А. Перепелица А.В., Брежнев Е.В. Нечеткие множества типа 2. Терминология и представление / С.А. Олизаренко, А.В. Перепелица, Е.В. Брежнев // Системи обробки інформації. – Х.: ХУПС, 2010. – Вип. 8 (89). – С. 131-140.
10. Тімочко О.О. Вдосконалений метод класифікації повітряних об'єктів / О.О. Тімочко // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. – 2019. – № 1. – С. 58-63. – Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nitps_2019_1_10.
11. Місцеві ознаки погоди. [режим доступу <https://pogoda.rovno.ua/node/206>, дата звернення: 02.11.2022].
12. Артеменко А.М. Вимоги до складу та якості радіолокаційної інформації, необхідної для виявлення терористичних загроз з повітря / А.М. Артеменко, Г.Г. Камалтинов, О.С. Маляренко // Системи управління, навігації та зв'язку – К.: Центральний науково-дослідний інститут навігації і управління, 2009. – Вип. 2 (10). – С. 28-31.
13. Грачев В.М. Методика распознавания классов воздушных объектов в АСУ ПВО с использованием однородной функциональной сети / В.М. Грачев, А.Н. Попрыгин // Сб. научн. тр. ХВУ – Х.: ХВУ, 1995. – Вип. 8. – С. 49-54.
14. Теорія прийняття рішень [текст] підручник. / За заг. ред. Бутка М. П. [М. П. Бутко, І. М. Бутко, В. П. Мащенко та ін.] – К. : «Центр учбової літератури», 2015. – 360 с.

REFERENCES

1. *Local signs of weather*. [access mode <https://www.google.com/> , date of the application: 02.11.2022].
2. Bondarev A.V. "Artificial intelligence" : Proc. allowance for universities ["*Iskusstvennyy intellekt*"] / A.V. Bondarev, F.G. Ade. - Sevastopol: SevNTU Publishing House, 2002. - 615 p.
3. O.I. Kushlyk-Dyvulska, B.R. Kushlyk "Basics of decision-making theory" ["*Osnovy teorii pryynyattya rishen*"]. - K., 2014. - 94 p.
4. Rotstein A.P. "Intelligent identification technologies: fuzzy sets, genetic algorithms, neural networks" ["*Iskusstvennyy intellekt: V 3 kn. Kn. 1. Sistemy obshcheniya i ekspertnyye sistemy: spravochnik*"] / A.P. Rothstein. - Vinnitsa: UNIVERSUM, 1999. - 320 p.
5. Timochko, O.O. "Development of methods for formalizing knowledge about the process of classifying repeated objects" ["*Rozrobka metodiv formalizatsiyi znan' pro protses klasyfikatsiyi povitryanykh ob'yektiv*"] / O.O. Timochko, D.M. Obidin // Management systems, navigation and communication. - 2015. - VIP. 1(33) . - S. 61-65. - Access mode: http://nbuv.gov.ua/UJRN/suntz_2015_1_18.

6. Gerasimov B.M. *"Fuzzy sets in the problems of design, management and information processing"* ["Nechetkiye mnozhestva v zadachakh proyektirovaniya, upravleniya i obrabotki informatsii"] / B.M. Gerasimov, G.G. Grabovsky, N.A. Ryumshin. - K.: Tekhnika, 2002. - 140 p.
7. Katrenko A.V. *"Decision making theory"*. ["Teoriya pryynyattya rishen"]. Textbook/ A.V. Katrenko, V.V. Pasichnik, V.P. Pasko - K.: BHV, 2009. - 448p.
8. Zuev, P.P. *"Proposals for the improvement of decision-making methods in the automated control systems of the active forces of the Air Force Association"* ["Propozytsiyi shchodo udoskonalennya metodiv vyroblennya rishen' v avtomatyzovanykh systemakh upravlinnya chervovymy sylamy ob'yednannya Povitryanykh Syl"] / P.P. Zuev, O.O. Timochko, A.A. Kyzyma // Management, navigation and communication systems. - 2016. - Issue 1(37). - P. 26-28. - Access mode: http://nbuv.gov.ua/UJRN/suntz_2016_1_9.
9. Olizarenko S.A. Perepelitsa A.V., Brezhnev E.V. *"Fuzzy sets of type 2. Terminology and representation"* ["Nechetkiye mnozhestva tipa 2. Terminologiya i predstavleniye"] / S.A. Olizarenko, A.V. Perepelitsa, E.V. Brezhnev // Information processing systems. - H.: HUPS, 2010. - VIP. 8 (89). - S. 131-140.
10. Timochko, O.O. *"The improved method of classification of air objects"* ["Vdoskonalenyy metod klasyfikatsiyi povitryanykh ob'yektiv"] / O.O. Timochko // Science and technology of the Air Force of the Armed Forces of Ukraine. - 2019. - No. 1. - P. 58-63. - Access mode: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nitps_2019_1_10.
11. Місцеві ознаки погоди. [режим доступу <https://pogoda.rovno.ua/node/206>, дата звернення: 02.11.2022].
12. Artemenko A.M. *"Requirements for the composition and quality of radar information necessary for the detection of terrorist threats from the air"* ["Vymohy do skladu ta yakosti radiolokatsiyanoi informatsiyi, neobkhidnoyi dlya vyyavlennya terorystychnykh zahroz z povitrya"] / A.M. Artemenko, H.G. Kamaltinov, O.S. Malyarenko // Management, navigation and communication systems - K.: Central research institute of navigation and management, 2009. - Vol. 2 (10). - P. 28-31.
13. Grachev V.M. *"A technique for recognizing classes of air objects in an air defense automated control system using a homogeneous functional network"* ["Metodika raspoznavaniya klassov vozdushnykh ob'yektiv v ASU PVO s ispol'zovaniyem odnorodnoy funktsional'noy seti"] / V.M. Grachev, A.N. Poprygin // Sat. scientific tr. HVU - H.: HVU, 1995. - VIP. 8. - S. 49-54
14. *"Theory of decision-making"* ["Teoriya pryynyattya rishen"] [text] textbook. / In general ed. Butka M. P. [M. P. Butko, I. M. Butko, V. P. Mashchenko, etc.] - K.: "Center for Educational Literature", 2015. - 360 p.

Plita L.L., Urum N.S., Trofymenko I.V., Bazhak O.V.

A METHOD OF FORMALIZATION OF THE FEATURE SPACE FOR CLASSIFICATION OF THE FORECAST WEATHER CONDITION BY LOCAL FACTORS

The aim of the article is to develop a method of formalization of the feature space for classification of the forecast weather condition by local factors in certain territories (areas). This goal is achieved by analysing the sources of information on approaches to the formalization of local weather features in different areas for their further selection and classification. The principle of determinism is proposed and implemented to formalize the description of local features of the forecast weather condition. In the formation of the feature space for the classification of the forecast weather condition according to local factors in certain areas (sites), group features of the dynamics of weather change are determined; their dichotomization is conducted and a reference set of features for each class of weather type is determined. The implementation of the matrix of correspondence of features and indices of belonging to weather types in the binary feature space allowed to move from linguistic variables in the knowledge base to Boolean ones. The most

significant result is the development of a method of formalization of the feature space for the classification of the forecast weather condition according to local factors in certain territories (areas), which is distinguished by the use of binary relations and divisive procedures; hierarchical structure of the classification of weather types; features of the structure of the singleton knowledge base of local weather signs and its changes. The further direction of work is the formalization of local weather signs of another type with more complex properties; analysis of the completeness and reliability of input information to determine the advantage of the proposed solution options; implementation of a logical inference mechanism that will correspond to the chosen formalization apparatus, with the formation of a vector of "trust" in the solution options.

Keywords: feature space, local features, formalization, knowledge base, forecast, classification, dichotomization, weather change, navigation safety.

УДК 629

doi.org/10.33298/2226-8553.2022.1.37.03

Войченко Т.О., Бойко С.О., Штрибець В.В., Маннапова О.В.

ОСНОВНІ НАПРЯМКИ РОЗВИТКУ СУЧАСНИХ СУДНОВИХ ГВИНТО-РУЛЬОВИХ КОМПЛЕКСІВ

Метою статті є дослідження основних напрямів розвитку сучасних суднових гвинто-рульових комплексів на користь підвищення керованості судна та економії споживання палива на судні з акцентом на розвиток рулів. Поставлена мета досягається шляхом аналізу результатів досягнень у відповідній галузі сучасних компаній-розробників гвинто-рульових комплексів. В результаті дослідження основних напрямів розвитку сучасних суднових гвинто-рульових комплексів виділені такі підходи: зміна конструкції гвинто-рульового комплексу за допомогою, наприклад, добування таких елементів, як обтічник, вставка обтічника та маточина гребного гвинта (компанія Wärtsilä); використання гвинто-рульового комплексу із закрилком та в комбінації зі спеціальним підшипниковим вузлом KSR Rudder support (компанія Bekker Marine System); зміна положення гвинто-рульового комплексу з конструкцією руля зі скривленою передньою кромкою (компанія Bekker Marine System); реалізація гвинто-рульового комплексу у вигляді гвинто-рульової кутової колонки (компанія Aquamaster – Rauma Ltd); запропонована інноваційна система гвинта з активною рульовою насадкою Gate Rudder (компанія Wärtsilä, Kuribayashi Steamship Co та ін.). Результатом запропонованих інновацій є, наприклад, зниження споживання палива на 3-7% (компанія Wärtsilä), або підвищення керованості судном за рахунок того, що кут перекладки руля становить +/- 65 градусів і додатковий кут у 45 градусів повороту закрилка забезпечують високу маневреність судна та гарне утримання позиції (компанія Bekker Marine System).

Ключові слова: судно, гвинто-рульовий комплекс, руль, конструкція, керованість, маневреність, паливо.

Постановка проблеми. Керованість судна є одним з найважливіших теоретичних та практичних якостей судна – це здатність утримувати заданий напрямок або зміну напрямку при русі судна. Керованість судна забезпечується силою, що створює крутний момент навколо вертикальної осі, що проходить через центр тяжіння судна. Кожне судно повинне мати надійний пристрій, що забезпечує його поворотність та стійкість на курсі. Таку вимогу можуть задовольняти, зокрема, гвинто-рульові комплекси судна.

Складовими частинами гвинто-рульового комплексу, що становить більшість пристроїв морських суден, для керування судном є: пір'я руля, поворотні насадки, балер руля, знімний рудерпост, штирі руля та поворотні насадки, підшипники рульового пристрою і т. д. Усі вищеописані складові рульового пристрою, розташовуються в підводній частині судна. До надводних складових частин рульового пристрою відносяться румпель, сектор, рульовий привід і т. д. При цьому необхідно зазначити, що споживання палива на судні багато в чому залежить від ефективності роботи саме гвинто-рульового комплексу.

У цій статті розглядається конструкція сучасних гвинто-рульових комплексів суден та основні напрями їх розвитку з метою підвищення керованості судна та економії споживання палива на судні з основним акцентом на розвиток рулів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У галузі розвитку гвинто-рульових комплексів суден у публікаціях на даний час особливу увагу приділялося розвитку конструкцій гребних гвинтів, наприклад, [1 - 4]. Дослідження напрямів розвитку конструкції рулів гвинто-рульових комплексів суден висвітлено в літературі менше, в основному, в рамках досліджень компаній виробників гвинто-рульових комплексів суден, наприклад, [5 - 7]. У роботі [8] показані результати досліджень, зокрема, лише компаній Wärtsilä та Bekker, без порівняння з традиційною конструкцією рулів і без розгляду подальших тенденцій розвитку у цій галузі.

Тому проведення дослідження щодо основних напрямів розвитку сучасних суднових гвинто-рульових комплексів є актуальним завданням.

Метою статті є дослідження основних напрямів розвитку сучасних суднових гвинто-рульових комплексів на користь підвищення керованості судна та економії споживання палива на судні з акцентом на розвиток рулів.

Викладення основного матеріалу дослідження. Гвинто-рульові комплекси суден класифікують за такими ознаками: розташування осі обертання руля, розміщення руля щодо елементів конструкції кормового краю і за типом кріплення руля.

Основними елементами гвинто-рульового комплексу є такі (рис. 1):

- 1) руль – плоска конструкція, поворот якої за рахунок взаємодії з водою під час руху судна призводить до утворення сили, необхідної для управління судном;
- 2) балер – вал, призначений для повороту руля;
- 3) рульовий привід – пристрій, що забезпечує передачу на балер моменту, необхідного для повороту руля;
- 4) рульова передача – силовий або керуючий сполучний елемент між рульовою машиною та рульовим приводом;
- 5) привід управління – пристрій, що забезпечує зв'язок посту управління з рульовою машиною;
- 6) рульова машина – механізм, що створює момент, необхідний для перекладки руля.

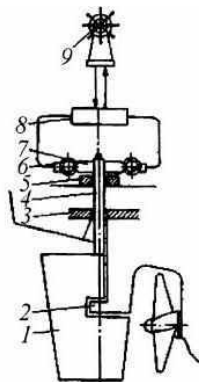


Рисунок 1 – Узагальнена схема гвинто-рульового комплексу:

- 1 – перо руля;
- 2 – опора пера руля;

- 3 – нижній підшипник балера;
- 4 – балер;
- 5 – верхній підшипник балера;
- 6 – рульова машина з рульовою передачею;
- 7 – рульовий привід;
- 8 – привід управління;
- 9 – пост управління.

Гвинто-рульовий комплекс має також запасні та аварійні рульові приводи, обмежувачі перекладки руля та багато інших елементів, що забезпечують ефективну та надійну роботу пристрою.

Надалі пропонується розглянути конструкції сучасних гвинто-рульових комплексів суден та основні напрями їх розвитку, а саме:

- гвинто-рульовий комплекс компанії Wärtsilä;
- гвинто-рульовий комплекс компанії Bekker;
- гвинто-рульовий комплекс компанії Aquamaster - Rauma Ltd.

На рис. 2 представлені для порівняння традиційна та інноваційна конструкція гвинто-рульового комплексу компанії Wärtsilä [5, 8].

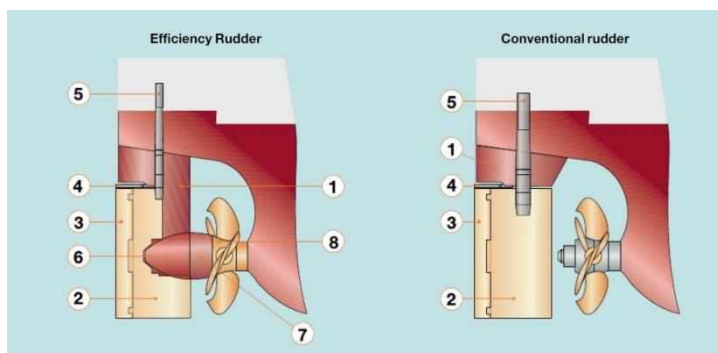


Рисунок 2 – Зіставлення конструкції традиційного (Conventional rudder) та інноваційного (Efficiency rudder) гвинто-рульового комплексу компанії Wärtsilä:

- 1 – кронштейн проміжної опори руля судна;
- 2 – перо руля;
- 3 – закрилок;
- 4 – механізм закрилка;
- 5 – балер руля;
- 6 – обтічник;
- 7 – вставка обтічника;
- 8 – маточина гребного гвинта.

Efficiency rudder компанії Wärtsilä з обтічником має такі переваги:

- при зниженій швидкості вхідного потоку особливо в районі маточини, гребний гвинт може працювати більш ефективно;
- більш однорідний та менш звужений супутній потік за гребним гвинтом знижує втрати кінетичної енергії;
- тертя на маточині гребного гвинта знижено за рахунок того, що в порівнянні з традиційним гвинто-рульовим комплексом вдається уникнути поділу потоку.

Всі перелічені фактори роблять свій внесок у зниження необхідної потужності для підтримки еквівалентного упору гребного гвинта. Результатом зниження є споживання палива на 3-7%, зниження вібрації та шуму на борту судна; підвищуючи тим самим комфортабельність для екіпажу та пасажирів. Обтічник, встановлений за гребним гвинтом,

знижує флуктуації потоку, що набігає. Пульсації тиску, що виникають від роботи гребного гвинта, знижуються на 20-40%. Пульсації тиску корпус судна також знижуються на 20-40%.

Основні вузли гвинто-рульового комплексу компанії Wärtsilä представлені на рис. 3, де:

1. Rudder stock – шток руля, верхня частина якого з'єднана з рульовим механізмом, а нижня входить у стяжне кільце руля.

2. Bearings – підшипники з композитних матеріалів з водяним мастилом, що забезпечує їх мінімальний знос.

3. Flap – закрилок руля: зварна конструкція, посилена у верхній частині для забезпечення надійності його роботи, з'єднується з рулем за допомогою штока.

4. Horn pintle – рульовий штир, стрижень їхньої нержавіючої сталі, що забезпечує кріплення підвісного руля до обтічника.

5. Torpedo – обтічник: міцна, зварна конструкція, з'єднана з рудерпостом болтовим з'єднанням.

6. Fore torpedo – передня частина обтічника: зварна конструкція скріплена болтами з обтічником, що має зовнішню обшивку профілю, що обтікається.

7. Propeller blades – лопаті гребного гвинта: мають оптимізовану конструкцію, яка важлива для взаємодії між гребним гвинтом, рулем та корпусом судна.

8. Fairing – обтічник маточини гребного гвинта: виливок з нікель-алюмінієво-бронзового сплаву, форма якої забезпечує ефективну взаємодію зі маточиною та лопатями гребного гвинта. Повертається разом із гребним гвинтом.

9. Rudder horn – рудерпост, міцна, обтічна форма, лита/зварна конструкція з міцним кріпленням до корпусу судна. На вимогу замовника може з'єднуватися з палубою, де розміщена рульова машина.

10. Flap mechanism – механізм, керуючий закрилком: міцна конструкція щоб уникнути проблем у процесі роботи. Штирі з нержавіючої сталі, стійкої до зносу, з'єднання яких з рудерпостом виконується гарячою посадкою.

11. Rudder blade: rigid, slender cast/welded structure – перо руля: міцна, обтічної форми, лита/зварна конструкція. З'єднується з обтічником за допомогою рульового штиря.

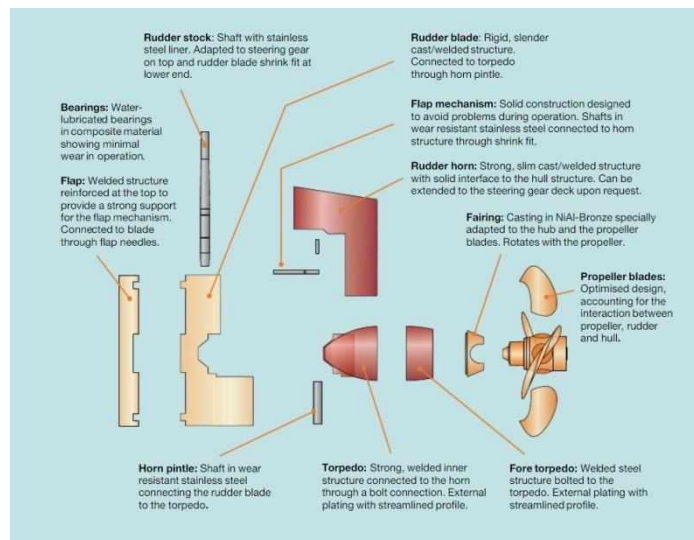


Рисунок 3 - Вузли гвинто-рульового комплексу компанії Wärtsilä

Однією з провідних компаній у галузі розробки конструкцій ефективних гвинто-рульових комплексів є компанія Bekker [6, 8].

На рис. 4 представлена схема конструкції гвинто-рульового комплексу із закрилком цієї компанії.

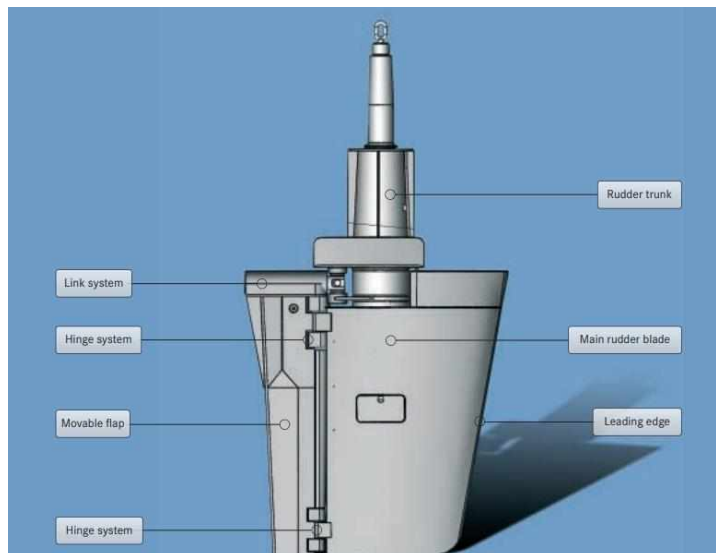


Рисунок 4 – Гвинто-рульовий комплекс із закрилком компанії Bekker Marine System:

- 1) Link system – система кріплення;
- 2) Hinge system – система шарнірів;
- 3) Movable flap – закрилок;
- 4) Rudder trunk – гелмпорт;
- 5) Main rudder blade – перо руля;
- 6) Leading edge – передня кромка руля.

Гвинто-рульовий комплекс із закрилком або руль Беккера – це ефективна система, що дозволяє підвищити маневреність судна. Оптимізований профіль пера руля, балансування руля, співвідношення між пером руля та закрилком, система петель гарантують надійну та ефективну роботу руля. Кут перекладки руля становить ± 65 градусів і додатковий кут у 45 градусів повороту закрилка забезпечують високу маневреність судна та гарне утримання позиції. У комбінації зі спеціальним підшипниковим вузлом KSR Rudder support компанії Becker, руль із закрилком може мати необмежений діапазон розмірів. З цим вузлом гелмпортובה труба (rudder trunk) продовжується в перо руля таким чином, що нижній проміжний підшипник розміщується, наскільки це можливо, ближче до центру докладання зусилля, що впливає на руль. Завдяки укороченому плечу важеля, напруги та згинальні моменти в балері руля та гелмпортбовій трубі значно знижуються. Реактивні зусилля в несучому підшипнику будуть при цьому значно менше, що робить руль менш схильним до вигину.

Наступним інноваційним підходом є зміна положення гвинто-рульового комплексу. Рулі традиційної конструкції розміщуються за гребним гвинтом, причому в поперечному перерізі руль має симетричну конфігурацію щодо його вертикальної центральної площини. Однак, така конструкція не враховує того факту, що гребний гвинт генерує завихрений потік, що впливає на перо руля. Результатом є утворення областей низького тиску на кермі, що викликає кавітацію та пов'язані з нею проблеми ерозії металу руля. Щоб уникнути кавітації та підвищити маневреність балансірного руля, компанія Becker Marine System розробила конструкцію руля з викривленою передньою кромкою. Основними характеристиками такого гвинто-рульового комплексу є:

- більший критичний кут атаки руля;
- немає рудерпоста, немає кавітації;
- оптимізований профіль руля;
- висока пропульсивна ефективність;
- зменшена товщина профілю руля.

Наступний похід, реалізація гвинто-рульового комплексу у вигляді гвинторулевої кутової колонки, наприклад, компанії Aquamaster – Rauma Ltd., у якого момент, що крутить,

від приводного двигуна, дизеля або електродвигуна, розташованого вище ватерлінії (звичайно в кормовому краю судна), передається на гребний вал, розташований нижче за ватерлінію, за допомогою кутового редуктора (КР). КР розміщений у герметичному корпусі (гондолі), заповненому мастилом. Вихідний вал КР проходить через дейдвудний пристрій (сальник) і з'єднаний через муфту та головний упорний підшипник з гребним гвинтом. Недоліками такого пристрою є [7]:

- наявність дейдвудного пристрою, який не може повністю виключити попадання води в редуктор, що знижує надійність всього пристрою, оскільки редуктор не може працювати на обводненому маслі;

- наявність кутової редукторної передачі, що призводить до збільшення рівня шуму та вібрації (структурний та підводний компонент);

- великий діаметр гондолої, в якій розташовується нижній кутовий редуктор і головний упорний підшипник, порівняно з діаметром гребного гвинта, що знижує коефіцієнт пропульсивної корисної дії.

Останній недолік пов'язаний з тим, що висока потужність, що передається кутовою передачею на гребний гвинт, вимагає застосування шестерень великого діаметра. У той самий час пропульсивний коефіцієнт корисної дії (ККД) залежить від відношення діаметра гондолої до діаметру гребного гвинта – Кд. Що менше Кд, то вище ККД. На даний час у гвинтових комплексах з кутовими редукторами (а також у варіанті з вбудованими в гондолу гребними електродвигунами) значення Кд лежить в межах 0,5-0,6.

На закінчення відзначимо, що на цьому передові компанії не зупиняються і продовжують активні дослідження та розробки у галузі конструкцій сучасних судових гвинто-рульових комплексів. Так, наприклад, технологічна група компанії Wartsila за згодою всіх японських патентовласників, які розробляють нову систему гвинта з активною рульовою насадкою Gate Rudder, підписала ліцензійну угоду та угоду про співпрацю з компанією Kuribayashi Steamship Co для розробки, продажу та обслуговування системи гвинт – активний руль. Крім Kuribayashi Steamship Co, іншими патентовласниками технології Gate Rudder є Kamome Propeller, Національний морський Інститут, японський розробник портів і авіаційних технологій NIMPAT, Yamanaka Shipbuilding і японський професор Норіюкі Сасаки. Комплекс гвинта з поворотними бічними рулями як невід'ємна частина ефективних рішень Wartsila для нових суден допоможе покращити індекс енергоефективності проекту судна (EEDI). Дана технологія буде доступна як для суден, що будуються, так і для модернізації діючих. Для судовласників це може вплинути на підвищення паливної ефективності, поліпшення маневреності та стійкості на курсі як при штилі, так і при хвилюванні на морі, а також на рівні шумів та вібрації. Крім того, цю конструкцію можна буде використовувати для модернізації звичайних двигунів.

Висновки. В результаті дослідження основних напрямів розвитку сучасних судових гвинто-рульових комплексів на користь підвищення керованості судна та економії споживання палива на судні можна виділити такі підходи:

- зміна конструкції гвинто-рульового комплексу за допомогою, наприклад, добування таких елементів, як обтічник, вставка обтічника та маточина гребного гвинта (компанія Wärtsilä);

- використання гвинто-рульового комплексу із закрилком та в комбінації зі спеціальним підшипниковим вузлом KSR Rudder support (компанія Bekker Marine System);

- зміна положення гвинто-рульового комплексу з конструкцією руля зі скривленою передньою кромкою (компанія Bekker Marine System);

- реалізація гвинто-рульового комплексу у вигляді вінторульової кутової колонки (компанія Aquamaster – Rauma Ltd);

- запропонована інноваційна система гвинта з активною рульовою насадкою Gate Rudder (компанія Wärtsilä, Kuribayashi Steamship Co та ін.).

Реалізація розглянутих напрямів розвитку сучасних суднових гвинто-рульових комплексів дозволяє безпосередньо підвищити керованість судна та забезпечити економію споживання палива на судні.

ЛІТЕРАТУРА

1. Litwin, W. and Dymarski, C. (2016), "Experimental Research on Water-Lubricated Marine Stern Tube Bearings in Conditions of Improper Lubrication and Cooling Causing Rapid Bush Wear," *Tribology International*, 95, pp 449–455.
2. Коноплёв А.В., Кононова О.Н. Оценка сопротивления усталости восстановленных деталей судовых машин и механизмов // Вісник ОНМУ: Збірник наукових праць. Випуск 2 (55) [Фахове видання України]. – Одеса: ОНМУ, 2018. – С. 68-74.
3. Шумило О.М., Кононова О.М., Вітюк Л.С. Технічна експертиза зруйнування суднового гребного валу // Вісник ОНМУ: Збірник наукових праць. Випуск 4 (57) [Фахове видання України]. – Одеса: ОНМУ, 2018. – С.73-92.
4. Стальниченко О.И., Иоргачёв Д.В., Иоргачёв В.Д. Технологии восстановления и упрочнения деталей судов технического флота. – Одесса: Изд-во ОНМУ. – 2019. – 240 с.
5. Propulsors and gears [режим доступу <https://www.wartsila.com/marine/products/propulsors-and-gears>, дата звернення: 02.11.2022]
6. Becker Marine Systems [режим доступу <https://www.becker-marine-systems.com/>, дата звернення: 02.11.2022]
7. Kongsberg [режим доступу <https://www.kongsberg.com/>, дата звернення: 02.11.2022]
8. Особенности устройства новейших судовых рулей [режим доступу <https://sudostroenie.info/novosti/22517.html>, дата звернення: 02.11.2022].

REFERENCES

1. Litwin, W. and Dymarski, C. (2016), "Experimental Research on Water-Lubricated Marine Stern Tube Bearings in Conditions of Improper Lubrication and Cooling Causing Rapid Bush Wear," *Tribology International*, 95, pp 449–455.
2. Konoplyov A.V., Kononova O.N. Evaluation of fatigue resistance of restored parts of ship machines and mechanisms // Bulletin of ONMU: Collection of science practices. Issue 2 (55) [Fahov's view of Ukraine]. - Odessa: ONMU, 2018. - S. 68-74.
3. Shumilo O.M., Kononova O.M., Vityuk L.S. Technical expertise of the ship's propeller shaft bearing // Bulletin of ONMU: Collection of scientific work. Issue 4 (57) [Fahov's view of Ukraine]. - Odessa: ONMU, 2018. - P.73-92.
4. Stalnichenko O.I., Iorgachev D.V., Iorgachev V.D. Technologies for the restoration and hardening of parts of ships of the technical fleet. - Odessa: ONMU Publishing House. - 2019. - 240 p.
5. Propulsors and gears [available at <https://www.wartsila.com/marine/products/propulsors-and-gears>, date of launch: 02.11.2022]
6. Becker Marine Systems [available at <https://www.becker-marine-systems.com/>, date of entry: 02.11.2022]
7. Kongsberg [available at <https://www.kongsberg.com/>, date of entry: 02.11.2022]
8. Features of the device of the latest ship rudders [access mode <https://sudostroenie.info/novosti/22517.html>, date of completion: 02.11.2022].

Voichenko T.O., Boiko S.O., Stribets V.V., Mannapova O.V.

MAIN DIRECTIONS OF DEVELOPMENT OF MODERN SHIP PROPELLER-STEERING COMPLEXES

The purpose of the article is to study the main directions of development of modern propeller-rudder ship complexes in favor of increasing the controllability of the ship and saving fuel consumption on the ship, with an emphasis on the development of rudders. This goal is achieved by analyzing the results of achievements in the relevant industry by modern companies developing rudder propeller systems. As a result of the study of the main directions of development of modern marine rudder propeller complexes, the following approaches were identified: changing the design of the rudder propeller complex by, for example, extracting such elements as a fairing, a fairing insert and a propeller hub (Wärtsilä company); the use of a propeller-rudder complex with a flap and in combination with a special KSR Rudder support bearing unit (Bekker Marine System); changing the position of the propeller-rudder complex with a rudder design with a curved leading edge (Bekker Marine System); implementation of a propeller-rudder complex in the form of a propeller-rudder angular column (Aquamaster - Rauma Ltd); an innovative propeller system with an active steering nozzle Gate Rudder (Wärtsilä, Kuribayashi Steamship Co, etc.) was proposed. The proposed innovations result in, for example, a 3-7% reduction in fuel consumption (Wärtsilä) or an increase in the ship's controllability due to the fact that the rudder angle of +/- 65 degrees and an additional 45 degrees of flap angle provide high maneuverability of the vessel. and good position holding (Bekker Marine System).

Keywords: ship, propeller-steering complex, rudder, structure, controllability, maneuverability, fuel.

УДК 629.12

doi.org/10.33298/2226-8553.2023.1.37.04

Яремчук С.О., Маслов І.З.**МУЛЬТИДИСЦИПЛІНАРНИЙ ПІДХІД ДО ФАХОВОЇ ПІДГОТОВКИ МОРСЬКИХ ІНЖЕНЕРІВ: МЕТОД ЕФЕКТИВНОГО ВИКОРИСТАННЯ БІОДИЗЕЛЯ В СЕУ**

Важливим напрямом розвитку водного транспорту України є підвищення рівня підготовки морських інженерів шляхом мультидисциплінарного підходу, який поєднує знання, навички, та методи фізики, інформаційних технологій, основи наукових досліджень, та фахових дисциплін морської інженерії. Для зменшення викидів суднових енергетичних установок (СЕУ) застосовується біодизель (БД), який суттєво зменшує шкідливий вплив на довкілля, однак чинить специфічний вплив на СЕУ. Метою роботи є розвиток фахових компетентностей морських інженерів щодо ефективного використання біодизеля в СЕУ шляхом мультидисциплінарного підходу. Проведено ряд фізичних експериментів вимірювання в'язкості БД методом Стокса. Запропонована програма на Python використана для автоматизації розрахунків динамічної та кінематичної в'язкості БД. Виконано критичний аналіз публікацій. Систематизовано позитивний та негативний вплив БД на СЕУ, визначені основні проблеми, запропонована матриця відповідності складових БД, їх негативного впливу, та основних несправностей СЕУ і паливної апаратури. Запропоновано фаховий метод ефективного використання БД в СЕУ. Метод може бути

використаний в підготовці суднових механіків, та дозволить застосовувати БД в СЕУ з високою ефективністю. Мультидисциплінарний підхід розвиває у здобувачів уміння: проводити експерименти, розвивати навички спостереження, обирати методи та засоби обчислення експериментальних даних, застосовувати інноваційні підходи до розв'язання складних професійних задач; шукати та аналізувати інформацію, осмислювати та піддавати критичному аналізу основні поняття, принципи, теорії і методи сучасної морської інженерії; обґрунтовувати власну точку зору; навчатися впродовж усього життя.

Ключові слова: біопаливо, біодизель, в'язкість, суднова енергетична установка, паливна арматура.

1. Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями.

Значне зростання обсягів експорту морським та річковим транспортом має вкрай важливе значення для відновлення економіки України, та створює суттєвий позитивний вплив на її фінансову систему. У 2022 році порти забезпечили 54% обсягів експорту з України [1]. Для розвитку морської та річкової галузі потрібно залучення інвестицій у судноплавство, суднобудування та судноремонт, підвищення привабливості морських та річкових портів. Не менш важливим напрямом розвитку є підвищення рівня підготовки морських інженерів шляхом застосування мультидисциплінарного підходу, який передбачає застосування теоретичних знань та практичних навичок з декількох дисциплін для вирішення фахової задачі.

В нашому контексті під мультидисциплінарним підходом ми розуміємо поєднання знань, навичок, та методів дисциплін «Фізика», «Інформаційні технології», «Основи наукових досліджень», та фахових дисциплін сфери морської інженерії. Методи фізики передбачають проведення фізичних експериментів та спостереження. ІТ-методи необхідні для автоматизації інженерних розрахунків. Методи аналізу та синтезу потрібні для розробки нового або вдосконалення існуючого методу вирішення інженерної задачі.

Дослідна робота здобувачів вищої освіти за спеціальністю 271 Морський та внутрішній водний транспорт є невід'ємною частиною процесу отримання знань та розумінь фізичних понять, законів, теорій, явищ та процесів, що застосовуються в галузі морської інженерії, та лежать в основі як побудови нових, так і в експлуатації діючих суднових систем. Невід'ємною складовою підготовки є набуття умінь та навичок з проведення фізичного експерименту, спостереження, безпечного користування інструментами, приладами та лабораторними установками. На ефективність роботи двигуна суттєвий вплив чинять такі характеристики палива як: *кінематична в'язкість* (внутрішнє тертя), густина, фракційний та хімічний склад. В'язкість впливає на якість розпилу, величину циклової подачі і на повноту згоряння палива. Морським інженерам, а особливо судновим механікам, необхідно спостерігати та зрозуміти явище в'язкості на молекулярному рівні. Тому пропонується провести ряд фізичних експериментів, які ґрунтуються на законах молекулярної фізики, гідростатики та гідродинаміки, та описані у ґрунтовному навчальному посібнику [2].

Багаторазові фізичні експерименти потребують розрахунків значень фізичних величин та їх похибок із встановленою точністю. Розрахунки доцільно проводити із застосуванням сучасних мов програмування, що значно спрощує, прискорює та уніфікує процеси обчислення. Однією із простих сучасних мов для обчислень є *Python* – інтерпретована об'єктно-орієнтована мова програмування високого рівня зі строгою динамічною типізацією [3]. *Python* отримав широке поширення завдяки тому, що лаконічний програмний код легко читати і писати. Вагомою перевагою *Python* є наявність багатоцільових стандартних бібліотек, та численних бібліотек сторонніх виробників, що надає потужні можливості. Тому для обчислень ми пропонуємо застосувати *Python*.

Аналіз – це розкладання складного явища, об'єкту чи процесу на більш прості елементарні складові, і виділення окремих сторін, властивостей та зв'язків [4]. Аналіз

спрямований на виявлення внутрішніх можливостей розвитку об'єкта. Проте аналіз не є кінцевою метою наукового дослідження. Синтез поєднує компоненти складного явища, виходить за рамки попереднього досвіду, розширює результати аналізу та створює нові знання. Використання аналізу та синтезу необхідні морським інженерам для підвищення ефективності експлуатації СЕУ на різних видах палива.

Наразі як у всьому світі, так і в Україні, стоїть гостра проблема зменшення викидів шкідливих газів у навколишній повітряний простір. Для зменшення викидів суднових енергетичних установок (СЕУ) застосовуються різні види палива та енергії. Це енергія вітру, сонця та морських хвиль, нафтовий (LPG) та природний газ (LNG), водень, метанол, аміак, біодизель (БД) тощо [5], що суттєво зменшує шкідливий вплив на довкілля, однак чинить специфічний вплив на СЕУ. При застосуванні БД в СЕУ виникає низка проблем, пов'язаних з його фізичними властивостями, які призводять до зниження ефективності та потужності суднового двигуна внутрішнього згоряння (СДВЗ), та зменшення ресурсу паливної апаратури. Для дослідження фізичних властивостей БД, аналізу впливу БД на СЕУ, та синтезу методу ефективного використання БД пропонується застосувати мультидисциплінарний підхід.

2. Аналіз останніх досліджень і публікацій, у яких започатковано розв'язання даної проблеми, і на які спираються автори.

Проблеми, що виникають при застосуванні БД в СЕУ, були розглянуті в роботах [6-9]. В роботі [6] було встановлено, що при експлуатації СДВЗ на БД відбувається суттєве скорочення викидів SO_2 в порівнянні з дизельним паливом (ДП). Вміст сірки в БД складає не більше 0,0015%, тому у відпрацьованих газах її практично немає. В роботі [7] були розглянуті сировина, особливості виробництва, екологічні властивості БД, деякі аспекти позитивного та негативного впливу БД на СЕУ, а також області застосування БД на флоті. В роботі [8] розглянуті принципи маркування БД, вплив БД на живі організми, аналіз деяких проблем застосування в СЕУ, та напрями їх вирішення. Для визначення вмісту БД в паливній суміші використовують наступні позначення: 100% БД маркують як В100; 20% БД, 80% ДП маркують як В20; 5% БД, 95% ДП маркують як В5; 2% БД, 98% ДП маркують як В2. На рис. 1 показаний В100, виготовлений із соєвих бобів.



Рисунок 1. В100, виготовлений із соєвих бобів

Аналіз робіт [6-8] дозволив визначити властивості БД, що створюють значний вплив на СЕУ та навколишнє середовище. Це хороші змащувальні властивості; присутністю кисню, завдяки чому відбувається більш повне згоряння палива; нейтральність щодо викидів CO_2 ; в'язкість, що становить 1,9-7,2 $\text{мм}^2/\text{с}$, та погіршує процеси розпилювання та згоряння; збільшення емісії NO_x , що спостерігається при роботі дизеля на низьких швидкостях з високим навантаженням або обертальним моментом; висока гігроскопічність, що може

призвести до корозії паливної апаратури і виникнення відкладень біологічного походження в паливній системі, до утворення шламу, закупорки фільтрів і трубопроводів; присутність залишкового метанолу, що значно знижує температуру спалаху, та негативно впливає на паливні насоси, еластomers і сальникові ущільнення. Для нормальної роботи дизеля паливо повинно мати цетанове число не менше 40. БД має високе цетанове число (від 47 до 51) і температуру займання вище 150°C. Теплотворна здатність БД становить близько 37,27 МДж/кг, що на 13% нижче, ніж у ДП, тому при роботі двигуна на БД спостерігається зниження потужності БД хімічно і корозійно-активна рідина. При тривалому контакті БД розм'якшує і розкладає натуральну гуму, нітрil, синтетичний каучук, еластomers, деякі клеї, фарби і покриття. Це призводить до його просочування через ущільнювальні сполуки і шланги. Результатом можливих протікань може бути спалах палива при потраплянні на нагрітий двигун, поломка паливного насоса і засмічення фільтра. Обладнання зі свинцю, міді, латуні, бронзи, та цинку слід захищати від тривалого контакту з БД, а краще замінити на обладнання з нержавіючої сталі або алюмінію.

В даний час БД застосовують на судах замість ДП або в суміші з ним у різних пропорціях. Перспективним сегментом флоту для застосування БД є судна внутрішнього і прибережних районів плавання різного призначення із середньо- і високооборотними дизельними двигунами: пасажирські і круїзні судна, яхти, муніципальний водний транспорт, катери берегової охорони, баржі, дослідницькі судна річкового та озерного районів плавання [7]. Ціна БД залежить від регіону виробника, сировини, технології виробництва, та інших факторів. У деяких країнах БД дешевше звичайного ДП. В99 і В100 зазвичай коштують дещо дорожче, ніж ДП, за винятком випадків, коли місцеві органи влади надають виробникам податкові пільги або субсидії. Наприклад, у жовтні 2016 року у США В20 був на 2 центи дешевший, ніж ДП [8].

У роботах [6-8] описані деякі проблеми використання БД. Перша проблема полягає в тому, що при низьких температурах БД втрачає рухливість, стає гелеподібним, починає кристалізуватися, що призводить до забивання фільтрів, трубопроводів, утруднення перекачування насосами, утворення лакових відкладень на паливних форсунках, корозії і заклинювання внутрішніх компонентів системи впрыску палива, утворення шламу і осаду, підвищеного зносу картеру, що викликає зниження міжремонтного ресурсу двигуна. Наступна проблема виникає, коли БД містить деяку кількість води, яка може бути результатом конденсації в танках зберігання. Вода знижує теплоту згоряння палива, викликає дим, ускладнює запуск і знижує потужність СДВЗ, викликає корозію компонентів паливної системи (насоси, паливопроводи тощо). Для подолання цих проблем в роботі [8] запропоновано: застосування присадок, використання суміші БД з іншими рідкими паливами та додаткова обробка БД перед його подачею в СЕУ.

В роботі [9] показана світова динаміка використання біопалива в двигунах; визначено фізичні та теплотворні властивості гірчиної та ріжикової олій, дизельних сумішевих палив; наведені результати порівняльних експериментальних досліджень роботи дизеля при його роботі на мінеральному дизельному паливі і дизельних сумішевих паливах.

Аналіз робіт [6-9] дозволив визначити деякі аспекти впливу БД на СЕУ та пов'язані з цим впливом несправності, однак для більш ефективного використання необхідно систематизувати зв'язки між складовими БД, їх негативним впливом, та наслідковими несправностями СЕУ для синтезу методу ефективного використання БД в СЕУ.

Проведений аналіз дозволяє встановити необхідність підвищення рівня підготовки морських інженерів шляхом мультидисциплінарного підходу, який передбачає поєднання експериментального дослідження в'язкості палива, автоматизації розрахунків на Python, методів аналізу впливу БД на СЕУ, та синтезу фахового методу ефективного використання БД, що є актуальною науково-технічною та педагогічною задачею, і обумовлює мету дослідження.

Метою роботи є підвищення рівня підготовки та розвиток фахових компетентностей морських інженерів щодо ефективного використання БД в СЕУ шляхом мультидисциплінарного підходу.

Для досягнення мети роботи необхідно виконати наступні задачі:

1. Провести фізичні експерименти з дослідження та вимірювання в'язкості сумішей БД та ДП, та автоматизувати розрахунки на Python;
2. Проаналізувати позитивний та негативний вплив БД на СЕУ, систематизувати наслідкові несправності, запропонувати метод ефективного використання БД в СЕУ;
3. Виконати аналіз отриманих результатів, визначити дискусійні питання, висновки та напрямки подальших досліджень.

3. Основний маеріал

Опис фізичного експерименту та автоматизація розрахунків на Python. В'язкість - властивість рідини чинити опір відносному переміщенню шарів. При переміщенні шарів рідини, шар, який рухається повільніше «гальмує» шар, що рухається швидше, і навпаки. В'язкість обумовлена наявністю між молекулами рідини сил взаємодії, які при переміщенні однієї частини рідини відносно іншої стримують рух шарів. Для вимірювання в'язкості (віскозиметрії) в системах автоматичного контролю в'язкості палива дизельних двигунів та генераторів застосовують віскозиметри.

У віскозиметрії існує ряд експериментальних методів абсолютного та відносного вимірювання, заснованих на різних принципах та умовах застосування. Методи відносного вимірювання в'язкості використовують калібрувальну рідину з відомими значеннями в'язкості. Серед методів абсолютного вимірювання в'язкості виділяється своєю простотою метод Стокса. Метою фізичного експерименту є визначення динамічної та кінематичної в'язкості БД. Прилади та інструменти: віскозиметр Стокса – висока циліндрична скляна посудина з рідиною (рис. 2), штангенциркуль, мікрометр, секундомір, лінійка, металеві кульки, мірна посудина, вага. На посудину зверху та знизу прикріплені мітки, відстань між якими можна змінювати та вимірювати. Рівень рідини має бути вищим за верхню мітку на $l_0 = 5$ см для встановлення сталої швидкості руху кульки.

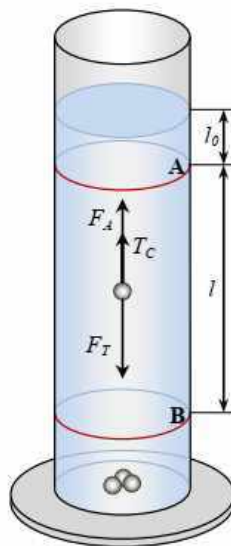


Рисунок 2. Віскозиметр Стокса та сили, які діють на кульку

На кульку, яку опускають в рідину, діють три сили (рис. 2): 1) сила тяжіння $F_T = \frac{4}{3}\pi r^3 \rho_k g$, де r – радіус кульки, ρ_k – густина кульки, g – прискорення вільного падіння; 2) сила Архімеда $F_A = \frac{4}{3}\pi r^3 \rho_p g$, де ρ_p – густина рідини; 3) сила внутрішнього опору, обумовлена силами взаємодії молекул шарів рідини, визначена Стоксом $F_C = 6\pi\eta r v$, де v –

стала швидкість руху кульки в рідині. Після досягнення кулькою деякої швидкості сила Архімеда та сила опору врівноважують силу тяжіння $F_A + F_c = F_m$, отже

$$\frac{4}{3}\pi r^3 \rho_p g + 6\pi \mu r v = F_T = \frac{4}{3}\pi r^3 \rho_k g \quad (1)$$

Після заміни в (1) $r=d/2$, $v=h/t$, де d – діаметр кульки, h – відстань між мітками, яку проходить кулька із незмінною швидкістю, t – час, за який кулька долає відстань h , отримуємо формулу для визначення динамічної в'язкості:

$$\mu = \frac{g(\rho_k - \rho_p)d^2 t}{8h} \quad (2)$$

Одиниці вимірювання $[\mu] = [\text{Па} \cdot \text{с}]$.

Коефіцієнт кінематичної в'язкості визначають за формулою

$$\nu = \frac{\mu}{\rho_p} \quad (3)$$

Одиниці вимірювання $[\nu] = [\text{м}^2/\text{с}]$, 1 Ст (Стокс) = $1 \text{ см}^2/\text{с} = 1 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/\text{с}$, 1 сСт (сантиСтокс) = $1 \text{ мм}^2/\text{с} = 1 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$, $1 \text{ м}^2/\text{с} = 10^4 \text{ Ст} = 10^6 \text{ сСт}$.

Методика фізичного експерименту для визначення μ та ν містить наступні кроки:

Крок 1. У досліді використати сталеві кульки з густиною $\rho_k = 7800 \text{ кг/м}^3$, ДП з кінематичною в'язкістю $\nu = 4,5 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ при $t = 20^\circ\text{C}$, рослинне масло (РМ) з кінематичною в'язкістю $\nu = 60,6 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ при $t = 20^\circ\text{C}$.

Крок 2. БД отримувати способом суміші ДП та РМ у різних пропорціях (50%ДП+50%РМ, 80%ДП+20%РМ, 20%ДП+80%РМ). Масу кожної рідини в суміші визначати зважуванням, об'єм кожної рідини в суміші визначати за допомогою мірної посудини. За формулою $\rho_c = m / v$ визначити густину суміші, отримані дані записати в таблицю.

Крок 3. Відібрати не менше десяти кульок, штангенциркулем або мікрометром виміряти діаметр кожної кульки, дані записати в таблицю.

Крок 4. Опустити одну кульку в посудину якомога ближче до осі посудини, секундоміром виміряти час руху кульки між мітками, лінійкою виміряти відстань між мітками, дані записати в таблицю.

Крок 5. Повторити крок 3 не менше десяти разів, дані записати в таблицю.

Крок 6. За формулою (2) розрахувати коефіцієнт динамічної в'язкості рідини.

Крок 7. За формулою (3) розрахувати коефіцієнт кінематичної в'язкості рідини.

За цією методикою курсанти Дунайського інституту НУ «Одеська морська академія» в лабораторії фізики провели ряд дослідів із встановлення в'язкості БД (рис. 3).



Рисунок 3. Курсанти досліджують в'язкість БД методом Стокса

Візуальне спостереження відіграє важливу роль у розумінні фізичних явищ та процесів. Під час дослідів курсанти досліджували і спостерігали в'язкість ДП, РМ, в'язкість їх сумішей у різних пропорціях, та вимірювали час руху металевої кульки у цих рідинах, що дозволяє підвищувати рівень підготовки та розвивати знання та уміння здобувачів з дисципліни «Фізика».

Експериментальні дані потребують розрахунків. Для швидкого обчислення динамічної та кінематичної в'язкості було розроблено простий та лаконічний програмний код на Python:

```
# Програма обчислює динамічну та кінематичну в'язкість рідини
height = float(input("Введіть відстань між мітками віскозиметру Стокса в [м]\n"))
ball_density = float(input("Введіть густину кульки в [кг/м.куб]\n"))
fluid_density = float(input("Введіть густину рідини в [кг/м.куб]\n"))
diameter = float(input("Введіть діаметр кульки в [мм]\n"))*10**(-3)
fall_time = float(input("Введіть час руху кульки між мітками приладу в [с]\n"))
dynamic_viscosity = (9.81*(ball_density - fluid_density) * diameter**2* fall_time)/(18 * height)
print("Динамічна в'язкість = ",dynamic_viscosity,"[Па*с]")
print("Кінематична в'язкість = ",dynamic_viscosity / fluid_density,"[м.кв/с]")
```

Для вивчення програмних команд обчислення, вводу та виводу даних, що були застосовані в коді, достатньо одного лабораторного заняття з інформаційних технологій. Для виконання коду достатньо в будь-якому браузері відкрити онлайн інтерпретатор *Python* [3], написати код в лівій частині вікна, натиснути екранну кнопку *Run*, і в правій частині вікна отримати розраховані з високою точністю значення в'язкості (рис. 4).

The screenshot displays the Python online interpreter interface. On the left, the code editor shows a Python script for calculating viscosity. The script prompts the user for height, ball density, fluid density, diameter, and fall time, then calculates dynamic viscosity and kinematic viscosity. On the right, the Shell window shows the execution results, including the input values and the calculated viscosity values.

```
main.py
1 # Програма обчислює динамічну та кінематичну
  в'язкість рідини
2 height = float(input("Введіть відстань між мітками
  віскозиметру Стокса в [м]\n"))
3 ball_density = float(input("Введіть густину
  кульки в [кг/м.куб]\n"))
4 fluid_density = float(input("Введіть густину
  рідини в [кг/м.куб]\n"))
5 diameter = float(input("Введіть діаметр кульки в
  [мм]\n"))*10**(-3)
6 fall_time = float(input("Введіть час руху кульки
  між мітками приладу в [с]\n"))
7 dynamic_viscosity = (9.81*(ball_density -
  fluid_density) * diameter**2* fall_time)/(18 *
  height)
8 print("Динамічна в'язкість = ",dynamic_viscosity
  ,"[Па*с]")
9 print("Кінематична в'язкість = ",dynamic_viscosity
  / fluid_density,"[м.кв/с]")
10
```

Shell

```
Введіть відстань між мітками віскозиметру Стокса в [м]
1.21
Введіть густину кульки в [кг/м.куб]
7800
Введіть густину рідини в [кг/м.куб]
820
Введіть діаметр кульки в [мм]
1.65
Введіть час руху кульки між мітками приладу в [с]
9.7
Динамічна в'язкість = 0.08302448249999998 [Па*с]
Кінематична в'язкість = 0.000101249368902439 [м.кв/с]
> |
```

Рисунок 4. Вікно онлайн інтерпретатора *Python*

Для розрахунків середніх значень динамічної в'язкості $\mu_{сер}$, та середньоквадратичної похибки S_μ в серії дослідів, достатньо додати кілька рядків коду в програму. Це дасть змогу отримати значення в'язкості у вигляді $\mu = (\mu_{сер} \pm 2 \cdot S_\mu)$ [Па·с], знайдене з надійністю 95%. Запропонований метод використання онлайн інтерпретатора *Python* (*Python online interpreter method*) був використаний курсантами для розрахунків в'язкості сумішей БД. Цей метод простий та ефективний, не потребує встановлення *Python* на комп'ютер, не вимагає жодних затрат, не має обмежень щодо часу та тривалості використання, що дозволяє підвищувати рівень підготовки та розвивати знання та уміння здобувачів з дисципліни «Інформаційні технології». Педагогічна практика використання запропонованого методу демонструє велику

зацікавленість курсантів в застосуванні потужної, багатоцільової та популярної мови програмування до вирішення навчальних, дослідницьких та фахових задач.

Систематизація впливу БД на СЕУ

Важлива перевага застосування БД полягає в тому, що при його застосуванні в СДВЗ не виникає необхідність модифікації двигуна. БД може бути використаний у всіх типах дизельних двигунів, встановлених як на водних, так і наземних видах транспорту.

Позитивний вплив БД на СЕУ. БД володіє відмінними змащувальними властивостями, що подовжує термін служби рухомих деталей двигуна, і двигуна в цілому. Хороші змащувальні властивості пояснюються хімічним складом БД, і присутністю в паливі кисню. Під час роботи двигуна на БД одночасно проводиться змащення його рухомих деталей, внаслідок чого термін служби суднового двигуна і паливного насоса збільшується в середньому на 60%. В'язкість БД складає 1,9-6,0 мм²/с, і є дещо вищою, ніж у ДП. Вища в'язкість призводить до зменшення протікань палива в паливній апаратурі. Показники води, осаду (норма 0,05%), в'язкості і кислотне число (0,8), є критеріями якості палива після його зберігання.

Для нормальної роботи дизеля паливо має мати цетанове число не менше 40. БД має мінімальне значення 47. Більш високе значення забезпечує задовільні робочі характеристики двигуна при холодному запуску і зменшення утворення білого диму. При роботі двигуна на БД знижуються викиди диму, твердих частинок, та вуглекислого газу. Це пояснюється наявністю кисню в паливі, завдяки чому відбувається більш повне згоряння палива і зменшується кількість незгорілих частинок. БД нейтральний щодо викидів СО₂, оскільки його виділяється при згорянні палива стільки ж, скільки поглинає рослинна сировина в процесі фотосинтезу. БД не є токсичним для живої природи. При недовгому впливі паливо не складає жодної загрози для людей і тварин. При потраплянні у воду в разі протікань або розливів БД розкладається на 90% за 3 тижні без шкоди для навколишнього середовища.

Негативний вплив БД на СЕУ. БД має високу гігроскопічність і активно абсорбує вологу, тому є сприятливим середовищем для розмноження мікроорганізмів, які можуть призвести до корозії паливної апаратури і виникнення відкладень біологічного походження в паливній системі і, як наслідок, до утворення шламу, закупорки фільтрів і трубопроводів. Присутність залишкового метанолу в БД навіть у незначних кількостях значно знижує температуру спалаху, негативно впливає на паливні насоси, еластомери і сальникові ущільнення, погіршує якість процесу згоряння в дизелі. Більш висока в'язкість БД може призводити до погіршення процесу згоряння, утворення відкладень, розбризкування палива при подачі в двигун, потрапляння його в масло для змащення двигуна. З високою щільністю і в'язкістю БД пов'язано також збільшення емісії NO_x [4]. Збільшення виходу оксидів азоту при роботі двигуна на БД спостерігається при роботі дизеля на низьких швидкостях, але з високим навантаженням або обертальним моментом.

Температура помутніння для БД вища, ніж для ДП. При низьких температурах паливо втрачає рухливість, стає желеподібним, починає кристалізуватися, що призводить до забивання фільтрів, трубопроводів, та утруднення перекачування палива насосами. Тривала робота двигуна на БД призводить до утворення лакових відкладень на паливних форсунках, корозії і заклинювання внутрішніх компонентів системи впрыску палива, збою в роботі подавального насоса через попадання води, утворення шламу і осаду, підвищеного зносу картеру, що викликає зниження міжремонтного ресурсу двигуна. Теплота згоряння БД дещо нижча, ніж у ДП, тому при роботі двигуна на БД спостерігається зниження потужності.

Підвищений вміст жирних кислот в БД може бути обумовлений порушенням технології виробництва палива або процесом розкладання палива, що викликано окисленням. Використання палива з високим кислотним числом може призвести до прискореного утворення відкладень у двигуні, у паливній системі та цистернах, може викликати забивання фільтрів та зменшення терміну служби паливних насосів. Втрата стабільності БД внаслідок окислення або при тривалому зберіганні може призвести до збільшення кислотного числа,

в'язкості та утворення смоло видних відкладень і осаду, що також призводить до забивання фільтрів.

БД хімічно і корозійна активна рідина. БД може розчиняти відкладення в паливній системі та апаратурі, в паливних цистернах. Розчинені відкладення викликають погіршення фільтруючих властивостей матеріалів, їх розбухання і протікання палива, можуть забивати фільтри. При тривалому контакті БД може розм'якшувати і розкласти натуральну гуму, нітрil, синтетичний каучук, еластomers, деякі клеї і пластики, що призводить до його просочування через ущільнювальні сполуки і шланги. Результатом можливих протікань може бути спалах палива при потраплянні на нагрітий двигун, поломка паливного насоса і засмічення фільтра, оскільки несумісні з БД матеріали розкладаються і кришаться. БД також може розчиняти деякі типи фарб і покриттів при тривалому контакті. При тривалому контакті з'єднання зі свинцю, міді, латуні, бронзи, цинку слід захищати від контакту з БД, а краще замінити на обладнання з нержавіючої і вуглецевої сталі або алюмінію.

Систематизація проблем застосування БД в СЕУ. При використанні БД в СЕУ суднові механіки стикають з рядом проблем

Проблема 1. Низькотемпературне гелеперетворення палива відбувається тому, що при охолодженні БД до певної температури, деякі молекули поєднуються і затвердівають, тобто утворюються кристали. Паливо робиться каламутним. Внаслідок подальшого охолодження процес продовжується, кристалів стає більше і вони збільшуються в розмірах. У разі подальшого охолодження БД перетворюється на гель, а потім остаточно затвердіває. Температура, при якій чистий БД (В100) починає перетворюватися на гель, залежить від природи та хімічного складу сировини. Наприклад, БД, вироблене з яловичого жиру, має схильність до гелеперетворення при температурі близько 16°C, а БД, вироблене з пальмової олії має схильність до гелеперетворення при 13°C. Зрозуміло, що використання палива в ДВЗ в такому стані неможливо.

Проблема 2. Наявність води в паливі. Ця проблема виникає, коли БД містить певну кількість води. БД гігроскопічна речовина, завдяки хімічним властивостям це паливо вбирає воду. БД також може містити воду внаслідок конденсації в танках. Вода ускладнює запуск і знижує потужність ДВЗ, зменшує теплоту згоряння палива, та викликає дим. Вода викликає корозію компонентів паливної системи. Це насоси, паливопроводи тощо. Мікроорганізми, наявні у воді, обумовлюють гниття і вихід з ладу фільтрів. Великі частинки потрапляють всередину паливного насоса, а це призводить до виходу його з ладу. При низькій температурі вода замерзає, утворюються кристали льоду, внаслідок чого зароджується та прискорюється процес гелеперетворення БД. Крім того, вода, потрапляючи на поршні двигуна, викликає точкову корозію в цих поршнях двигуна.

Проблема 3. Зношення двигуна. Змащувальна здатність палива відіграє важливу роль у зношенні двигуна. БД набагато краще змащує двигун порівняно з дизельним паливом через наявність складних ефірів. Випробування показали, що додавання невеликої кількості БД до дизельного палива може значно підвищити змащувальну здатність палива в короткостроковій перспективі. Однак при зберіганні протягом двох-чотирьох років БД втрачає свої чудові мастильні властивості. Це пов'язано з посиленням корозії через окислення ненасичених молекул, або підвищений вміст води через поглинання вологи.

Проблема 4. Засмічення паливного фільтра і системи впорску. Однією з основних проблем, пов'язаних з БД, є його в'язкість. В'язкість дизельного палива (ДП) становить 2,5-3,2 сСт при 40 ° С, а в'язкість БД, отриманого із соєвої олії, становить від 4,2 до 4,6 сСт. В'язкість ДП повинна бути досить високою, щоб забезпечити достатнє змащування для рухомих частин двигуна, і в той же час достатньою для того, щоб паливо нормально текло при робочій температурі. Підвищена в'язкість сприяє засміченню паливного фільтра і системи впорску двигуна. Щоб знизити в'язкість БД, на етапі виробництва його молекули розщеплюються на більш дрібні молекули складних ефірів шляхом переетерифікації. Однак

після переестерифікації в'язкість БД залишається вищою, ніж у дизельного палива, і при низьких температурах спричинює повільне проходження через паливний фільтр.

Проблема 5. Зниження ефективності та потужності двигуна. БД має більш високу питому витрату палива на гальмування порівняно з ДП, що означає, що для того ж крутячого моменту потрібна більша витрата БД. Однак встановлено, що суміш В20 забезпечує максимальне збільшення теплового ККД, найменше питоме споживання енергії, і більш низькі викиди шкідливих речовин.

У табл. 1 показано матрицю, яка визначає взаємозв'язки між складовими БД, їх негативним впливом, та наслідковими несправностями СЕУ і паливної апаратури.

Таблиця 1. Матриця відповідності складових, негативного впливу та несправностей СЕУ та паливної апаратури при роботі на БД

Складові біопалива	Негативний вплив	Несправність
Метилові ефіри жирних кислот	Викликає висихання, затвердіння і руйнування гумових виробів, попадання в моторне масло	Протікання палива. Більш часта заміна моторного масла
Вільний метанол	Корозія деталей з алюмінію і цинку. Низька температура займання в закритій ємності	Корозія паливної апаратури
Вільна вода в паливі	Перетворення метилових ефірів рослинного масла в жирні кислоти. Корозія. Збільшення електропровідності палива, розвиток мікроорганізмів	Засмічення фільтру Корозія паливної апаратури
Вільний гліцерин Моно- і дигліцериди	Корозія деталей з кольорових металів. Утворення осаду на рухомих частинах і лакованому покритті	Засмічення фільтрів. Засмічення сопел паливних форсунок
Вільні жирні кислоти Високомолекулярні органічні кислоти	Утворення електроліту і прискорення корозії деталей з цинку. Утворення солей органічних кислот. Утворення органічних сполук	Корозія паливної апаратури. Засмічення фільтру. Відкладення осаду на деталях
Збільшення густини палива	Збільшення тиску вприску	Зменшення ресурсу паливної апаратури
Більша в'язкість при низькій температурі	Більш жорсткі умови роботи ТНВД. Підвищене зношення деталей.	Погіршення показників вприску палива. Необхідність використання депресорних присадок
Тверді частинки	Погіршення змащувальних властивостей палива	Зменшення ресурсу паливної апаратури
Мурав'їна та оцтова кислота	Корозія всіх металевих частин	Корозія паливної апаратури
Продукти полімеризації	Відкладення осадів, особливо в сумішевих паливах	Засмічення фільтру
Фосфор	Отруєння нейтралізаторів і каталізаторів системи випуску дизеля, зниження рівня екологічної безпеки відпрацьованих газів дизеля	Вихід з ладу системи випуску дизеля

На основі аналізу негативного впливу складових БД на СЕУ, проблемних аспектів його використання та наслідкових несправностей СЕУ і паливної арматури запропоновано метод ефективного використання БД в СЕУ. Метод містить низку рекомендованих дій.

Дія 1. Рекомендується видаляти воду з цистерн перед заповненням БД. Для мінімізації конденсації вологи при зберіганні рекомендується тримати паливні ємності максимально заповненими, осушувати і мити їх до і після зберігання БД. Паливні цистерни повинні бути герметичними, щоб запобігти потраплянню води. Через велику гігроскопічність БД необхідно здійснювати контроль вмісту води, щоб уникнути небезпеки від розвитку мікроорганізмів, утворення окислів, і корозії деталей паливної апаратури.

Дія 2. При переході на БД рекомендується попередньо видалити відкладення в паливній системі та арматурі. При використанні сумішей з високим вмістом БД рекомендується використовувати фільтри, що стійкі до впливу БД. При використанні БД окремо і в сумішах з ДТ з високою концентрацією, цистерни, трубопроводи та інші елементи паливної системи, що контактують з ним, повинні мати захисне покриття.

Дія 3. Рекомендується регулярно чистити зливні труби, щоб запобігти корозії при використанні сумішей ДП при концентрації БД більше 20%. Необхідно регулярно контролювати наявність мікроорганізмів у паливі. Для запобігання розмноження мікроорганізмів у БД необхідно додавати сучасні антимікробні присадки.

Дія 4. Для отримання однорідної паливної суміші БД і ДП рекомендується застосовувати метод проточної гомогенізації. Використання БД в невеликих кількостях (до 2%) в якості присадки до ДП з низьким (0,5%) і ультра низьким (0,05%) вмістом сірки покращує його мастильні властивості і зменшує знос паливної апаратури.

Дія 5. Для запобігання низькотемпературного гелеперетворення БД рекомендуються депресорні присадки, які суттєво знижують температуру гелеперетворення, підвищують цетанове число і температуру займання.

Дія 6. Рекомендується трьох етапний підігрів БД для зниження його в'язкості. Спочатку БД подається в бустерну систему підігріву палива, і підігрівається до 50°C. Потім БД подається в сепаратор, підігрівається до 70°C, відокремлюється вода. Далі БД подається в сервіс-танк, а далі в суперхітер для підігріву до 80°C. Потім БД подається на дуплексний фільтр, після чого в паливний насос високого тиску. Для поліпшення якості розпорошення БД необхідно наблизити його фізичні властивості до властивостей ДП, або модернізувати систему вприску палива.

Дія 7. Перед початком роботи на БД рекомендується регулярно контролювати рівень масла в двигуні. Підвищення рівня може викликати знос картера і необхідність заміни масла. Слід регулярно відбирати проби масла для визначення його стану в двигуні, раціонального терміну служби та інтервалу між замінами.

Дія 8. Перед початком експлуатації двигуна на БД рекомендується промити фільтри для очищення палива. Через підвищену агресивність БД рекомендується замінити паливні шланги і прокладки на виготовлені з матеріалу, стійкого до впливу БД. Потрібно також ретельно видаляти БД з лакофарбових покриття деталей. Через можливе розрідження БД у деяких випадках потрібна частіша заміна моторного масла.

Дія 9. Для зниження викидів оксидів азоту з вихлопними газами рекомендують зменшення кута випередження вприску палива на 1... 5°. Можливо деяке збільшення рівня шуму і димності при холодному пуску.

Дія 10. Рівень емісії NO_x зменшується при роботі двигуна на малих навантаженнях і малих значеннях обертальних моментів. Рекомендується регулювати подачу палива в двигун при переході на БД відповідно до рекомендацій виробників двигунів. При поверненні дизеля до роботи на 100% ДП не рекомендується змінювати характеристики двигуна для компенсації втрат енергії.

Дія 11. Слід регулярно відбирати проби палива для перевірки його якості, і використовувати БД з відповідними, або наближеними до світових стандартів

характеристикам. Виробники двигунів повинні надавати вимоги до якості БД, якщо передбачено його застосування.

Дія 12. Не рекомендується тривалий час зберігати БД під впливом високих або низьких температур. Термін зберігання паливних сумішей ДП і БД залежить від концентрації БД. Рекомендується зберігати БД при температурі 4,5... 7° С, залежно від сировини температура може бути вища. Цистерни з паливом повинні мати ізоляцію і підігріватися. Дані про використання В100 в транспортних засобах показують, що він може зберігатися 2-4 місяці без втрати стабільності. Тиждень зберігання палива при температурі 43°С еквівалентний місяцю зберігання при температурі 21° С. У середньому рекомендується зберігати В100 до 6 місяців. Сонячне світло може прискорити процес втрати стабільності, тому не рекомендується в теплу пору року зберігати паливо під прямими сонячними променями. Паливо необхідно зберігати в чистих і сухих ємностях у темному приміщенні.

Дія 13. Такі метали, як мідь, латунь, бронза, свинець, олово і цинк також можуть призводити до зростання швидкості процесу розкладання, і до утворення значної кількості відкладень. Не рекомендується зберігати В100 тривалий час у системах, що містять ці матеріали.

Дія 14. Не рекомендується використовувати в паливних системах каучукові та натуральні гумові матеріали. Необхідно запобігати контакту палива з даними матеріалами. Добре сумісні з В100 тефлон, вітон, фторовані пластики і нейлон, якими слід замінювати несумісні з БД елементи паливної системи.

Дія 15. Не рекомендується тривалий час зберігати тканини, змочені в БД, вони розкладаються з виділенням теплоти, що може призвести до самозаймання.

Метод дозволяє підвищувати рівень підготовки та розвиток фахових компетентностей судових механіків з дисциплін «СДВЗ», «Технічна експлуатація СЕУ», «Безпечне управління СЕУ».

Висновки. З метою підвищення рівня підготовки та розвитку фахових компетентностей морських інженерів в області застосування БД в СЕУ застосовано мультидисциплінарний підхід, який передбачає розвиток знань та умінь з дисциплін: «Фізика», «Інформаційні технології», «Технологія використання робочих речовин», «СДВЗ», «Технічна експлуатація СЕУ».

З метою розуміння майбутніми морськими інженерами явища в'язкості на молекулярному рівні, за описаною методикою проведено ряд фізичних експериментів з вимірювання в'язкості сумішей ДП та РМ методом Стокса. Під час дослідження курсанти безпосередньо спостерігали та порівнювали в'язкість чистих рідин ДП і РМ, в'язкість сумішей БД у різних пропорціях, що дозволяє підвищити рівень підготовки та компетентності здобувачів з дисципліни «Фізика».

Авторами запропонована програма на Python, яка використана для автоматизації розрахунків динамічної та кінематичної в'язкості сумішей БД, що дозволяє підвищити рівень підготовки та компетентності здобувачів з дисципліни «Інформаційні технології».

Виконано критичний аналіз публікацій стосовно фізичних властивостей, позитивного впливу та проблем застосування БД в СЕУ. Систематизовано позитивний та негативний вплив БД на СЕУ, визначені основні проблеми застосування БД в СЕУ, запропонована матриця відповідності складових БД, їх негативного впливу, та наслідкових несправностей СЕУ і паливної апаратури, основні з яких: засмічення фільтру, засмічення сопел паливних форсунок, погіршення показників вприску палива, корозія паливної апаратури, відкладення осаду на деталях.

Запропоновано метод ефективного використання БД в СЕУ з п'ятнадцяти рекомендованих дій, основні з яких: підігрівати БД для зниження його в'язкості, наблизити його фізичні властивості до властивостей ДП, або модернізувати систему вприску палива; осушувати і мити герметичні ємності до і після зберігання БД; зберігати БД в чистих і сухих ємностях у темному приміщенні без впливу високих або низьких температур, без впливу елементів з міді, латуні, бронзи, свинцю, олова, цинку, каучуку та натуральної гуми; контролювати вміст води та наявність мікроорганізмів в паливі; застосовувати антимікробні

і депресорні присадки; видаляти відкладення в паливній системі та арматурі; регулярно чистити зливні труби; промивати фільтри; використовувати цистерни, трубопроводи тощо із захисним покриттям, фільтри, паливні шланги і прокладки стійкі до впливу БД; несумісні з БД елементи паливної системи замінювати на тефлон, вітон, фторовані пластики і нейлон; для отримання однорідної паливної суміші БД і ДП застосовувати метод проточної гомогенізації. Метод дозволить застосовувати БД в СЕУ з високою ефективністю, що не поступається показникам роботи СДВЗ на дизельному паливі, однак значно покращує екологічні показники двигуна. Метод дозволяє підвищити рівень підготовки та компетентності суднових механіків з дисциплін «Технологія використання робочих речовин», «СДВЗ», «Технічна експлуатація СЕУ».

Використання мультидисциплінарного підходу до підготовки суднових механіків дозволяє здобувачам розвивати вкрай потрібні для успішної реалізації у сучасному динамічному світі, компетентності. Це здатність: проводити експерименти, розвивати навички спостереження, обирати методи та засоби обчислення експериментальних даних, застосовувати інноваційні підходи до розв'язання складних професійних задач у сфері морської інженерії; шукати та аналізувати інформацію, осмислювати та піддавати критичному аналізу основні поняття, принципи, теорії і методи сучасної морської інженерії; обґрунтовувати власну точку зору; здійснювати навчання впродовж усього життя.

Залишається дискусійним питання стосовно суперечливих публікацій щодо впливу БД на характеристики двигуна. Ефективність СДВЗ залежить від хімічних та фізичних властивостей БД. Біопаливо виготовляють з різноманітної сировини, воно має різні властивості, існують різні відсоткові суміші БД. Виникає необхідність подальшої деталізації впливу на СЕУ при застосуванні конкретного виду БД з певної сировини, та конкретної відсоткової суміші біопалива з ДП. Подальші дослідження в цьому напрямі дозволять усунути наявні суперечності щодо впливу БД на ефективність, потужність, та експлуатаційні характеристики двигуна.

Ще одним актуальним напрямом застосовування інноваційних підходів до розв'язання складних професійних задач ми вважаємо дослідження методів використання чат-боту зі штучним інтелектом ChatGPT для розвитку фахових компетентностей здобувачів сфери морської інженерії.

ЛІТЕРАТУРА

1. LATIFUNDIST.COM. Порти забезпечили 54% обсягів експорту з України — АМПУ. URL: <https://latifundist.com/novosti/60794-porti-zabezpechili-54-obsyagiv-eksportu-z-ukrayini--ampu>
2. Михайленко В.І., Білоус В.М., Поповський Ю.М. Загальна фізика: Навчальний посібник. – Друге видання, перероблене та доповнене – Одеса: ВидавІнформ ОНМА, 2012. – 475 с.
3. Лутц М. Изучаем Python. Том 1, 5-е изд.: Пер. с англ. – СПб.: ООО Диалектика, 2019. 832 с.
4. Катренко А. В. Системний аналіз: підручник / за ред. В. В. Пасічника. Львів: Новий Світ-2000, 2011. – 396 с.
5. Сидорович В. Мировая энергетическая революция: Как возобновляемые источники энергии изменят наш мир. — М.: Альпина Паблишер, 2015. – 208 с.
6. Биодизель – Biodiesel. Википедия. URL: <https://livepcwiki.ru/wiki/Biodiesel>
7. Дмитрієв П.Р., Маслов І.З. Аналіз техніко-експлуатаційних характеристик та впливу біопалива на судову енергетичну установку. Матеріали XI Всеукраїнської студентської наукової конференції «Сучасні проблеми морського транспорту та безпека мореплавства» – Херсон: ХДМА, 2021. – С. 180 – 183. URL: https://ksma.ks.ua/wp-content/uploads/2021/11/Конференция_2021.pdf

8. Дмитрієв П.Р., Маслов І.З. Аналіз проблем використання біопалива в СЕУ.: матеріали XII Міжнародної науково-практичної конференції ДІ НУ «ОМА» «Сучасні підходи до вискоєфективного використання засобів транспорту» – Ізмаїл, 2021. – Запоріжжя: АА Тандем, 2021. – С. 256 – 260. URL: https://dinuoma.com.ua/wp-content/uploads/2021/12/conf_tczy_2021.pdf

9. Уханов, А. П. Дизельне смесевое паливо: монография / А. П. Уханов, Д. А. Уханов, Д. С. Шеменев. – Пенза: РИО ПГСХА, 2012. – 147 с.

10. Programiz Python Online Compiler. URL: <https://www.programiz.com/python-programming/online-compiler/>

REFERENCES

1. Latifundist.com (2023). The ports provided 54% of exports from Ukraine – The administration of sea ports of Ukraine [Porty zabezpechyly 54% obsiahiv eksportu z Ukrainy – AMPU]. URL: <https://latifundist.com/novosti/60794-porti-zabezpechili-54-obsyagiv-eksportu-z-ukrayini--ampu> [in Ukrainian]

2. Mihajlenko, V.I., Bilous, V.M., Popovskij, Yu.M. (2012). General Physics: Tutorial [Zagalna fizyka: Navchalnyj posibnyk]. – Second edition, revised and supplemented – Odesa: VydavInform ONMA, 475 p. [in Ukrainian]

3. Lutz, M. (2019). Learning Python [Yzuchaem Python]. Volume 1, fifth edition, the translation from English. – Saint Petersburg: Dyalektyka, 832 p. [in Russian]

4. Katrenko, A. V. (2011). System analysis: textbook [Systemnyi analiz: pidruchnyk] / ed. by V. V. Pasichnyk. Lviv: Novyi Svit-2000, 396 p. [in Ukrainian]

5. Sydorovych, V. (2015). The world energy revolution: How renewed energy sources will change our world [Mirovaya energeticheskaya revolyuciya: Kak vozobnovlyaemye istochniki energii izmenyat nash mir]. Moscow: Alpina Publisher, 208 p. [in Russian]

6. Biodiesel (2023). Wikipedia. URL: <https://livepcwiki.ru/wiki/Biodiesel> [in Russian]

7. Dmitriyev, P.R., Maslov I.Z. (2021) The analysis of technical and operational characteristics and the biofuel impact on the ship power plant [Analiz tehniko-ekspluatatsijnyh harakterystik ta vplivu biopalyva na sudnovu enerhetychnu ustanovku]. Materials of the XI All-Ukrainian Student Scientific Conference "Modern Problems of the Maritime Transport and the Maritime Safety". Kherson: Publishing House KHNMA, P. 180-183. https://ksma.ks.ua/wp-content/uploads/2021/11/Конференция_2021.pdf [in Ukrainian]

8. Dmitriyev, P.R., Maslov I.Z. (2021) The analysis of the biofuels uses problems in the ship power plant [Analiz problem vykorystannia biopalyva v sudnovii enerhetychnii ustanovtsi]. Materials of the XII International Scientific and Practical Conference «Modern approaches to high-efficiency use of the means of the transport», Izmail, DI NU "OMA". – Zaporyzhya: АА Тандем, P. 256 - 260. URL: https://dinuoma.com.ua/wp-content/uploads/2021/12/conf_tczy_2021.pdf [in Ukrainian]

9. Uhanov, A. P. (2012). Diesel funny fuel: the monograph [Dizel'ne smesevoe palivo: monografiya] / A. P. Uhanov, D. A. Uhanov, D. S. SHemenев. – Penza: RIO PGSKHA, 2012. – 147 p. [in Russian]

10. Programiz Python Online Compiler (2023). URL: <https://www.programiz.com/python-programming/online-compiler/>.

Yaremchuk S. O., Maslov I. Z.

THE MULTIDISCIPLINARY APPROACH TO THE PROFESSIONAL TRAINING OF MARINE ENGINEERS: THE METHOD OF EFFICIENT USE OF BIODIESEL IN THE SHIP POWER PLANT

An important direction for the development of water transport in Ukraine is to improve the level of marine engineers training through a multidisciplinary approach. The approach combines knowledge, skills, and methods of physics, information technology, fundamentals of scientific research, and professional disciplines of marine engineering. Biodiesel is used to reduce the emissions of a Ship Power Plant (SPP). Biodiesel significantly reduces harmful effects on the environment, but creates a specific impact on the SPP. The purpose of the work is to develop the professional competence of marine engineers in the effective use of biodiesel in the SPP through a multidisciplinary approach. Several physical experiments were carried out to measure the viscosity of biodiesel using the Stokes method. The developed Python program were used to automate calculations of the biodiesel dynamic and kinematic viscosity. The critical analysis of the publications was performed. The positive and negative biodiesel impacts on the SPP are systematized. The matrix of conformity of biodiesel components, the negative impacts, and basic malfunctions is proposed. The method of biodiesel efficient use in the SPP is proposed. The method can be used in the training of the marine engineers, and will allow the use of biodiesel in the SPP with high efficiency. The multidisciplinary approach gives the marine engineers the ability to conduct experiments, to develop observation skills, choose the methods and means of calculating experimental data, to apply innovative approaches to solving complex professional problems; to search and analyze the information, to make a critical analysis of the basic concepts, principles, theories and methods of the modern marine engineering; to substantiate your own point of the view; to study throughout life.

Keywords: biofuels, biodiesel, viscosity, marine power plant, fuel valves.

УДК 551.5+629.5

doi.org/10.33298/2226-8553.2023.1.37.05

Урум Н.С., Трофименко І.В., Пліта Л.Л., Іваненко В.М.

КЛАСИФІКАЦІЯ МІСЦЕВИХ ОЗНАК ДЛЯ УТОЧНЕННЯ ПРОГНОЗУ ПОГОДИ І ПІДВИЩЕННЯ БЕЗПЕКИ СУДНОПЛАВСТВА

Метою статті є класифікаційний опис даних про місцеві ознаки для їх подальшої формалізації для уточнення прогнозу погоди на певних територіях (ділянках). Поставлена мета досягається шляхом аналізу джерел інформації щодо місцевих ознак погоди у різних місцевостях для їх подальшого виділення та проведення класифікації з метою уточнення прогнозу погоди та підвищення безпеки судноплавства. Розглянуто призначення та основні завдання, що виконує Служба погоди, порядок складання прогнозу, фактори, що впливають на якість складеного прогнозу. Проаналізовано основні операції, що виконує судноводій, уточнюючи отримані прогнози, використовуючи місцеві ознаки, реалізуючи власні спостереження за елементами погоди. Виділені основоположні правила для отримання адекватного прогнозу погоди. Систематизовано перелік місцевих ознак, що описують основні

типи очікуваної погоди. Здійснено класифікацію основних ознак, що групуються щодо певних об'єктів. Всього виділено 10 об'єктів групування. Виділена низка закономірних особливостей, які характеризують погодні зміни і, відповідно, передбачення погоди. Найбільш суттєвим результатом є розробка класифікаційного опису місцевих ознак погоди, за допомогою яких можливо уточнювати прогноз на певних територіях. Подальшим напрямом роботи є розробка апарату формалізації сукупності місцевих ознак погоди на базі наведеного класифікаційного опису для уточнення прогнозу погоди на певних територіях за допомогою системи підтримки прийняття рішень про передбачення погоди, яка базуватиметься на прогнозі, що надходить від Служби погоди, та знаннях про місцеві прикмети й ознаки.

Ключові слова: погода, місцеві ознаки, прогноз, класифікація, зміна погоди, безпека судноплавства.

Постановка проблеми. Тисячі суден виконують різноманітні завдання в морях і океанах, долаючи шторми, урагани, тумани, вітри. Тому вміння правильно оцінювати метеорологічну обстановку й адекватно орієнтуватися в ній має велике практичне значення для судноводія.

Прогнози погоди, що складаються в метеорологічних центрах, зазвичай характеризують загальні процеси її розвитку над значною частиною водної поверхні. Однак таке загальне уявлення не завжди адекватно відображає очікувану зміну погоди в будь-якому локальному районі плавання судна в певному часовому інтервалі. Така розбіжність передбачених явищ погоди та їхньої інтенсивності від реальних у районі плавання судна в певний час може бути спричинена впливом місцевих умов.

Місцеві умови, такі як близькість і берега, рельєф, ступінь прогрітості поверхні, що підстилає (температура води діяльного шару океану), над якою проходять повітряні маси і фронти тощо, можуть істотно вплинути на основні чинники, що формують умови погоди.

Місцеві ознаки погоди допомагають правильному розумінню різних метеорологічних явищ, встановлюють зв'язки з іншими явищами в природі і забезпечують на підставі цього точне передбачення погоди.

Значення більшості місцевих ознак погоди (світлових, яскравості та ін.), що вказують на певні характеристики стану атмосфери, не завжди можуть бути виміряні безпосередньо, тобто в більшості випадків є якісними. І тим не менше ці характеристики є важливим доповненням до загальних показників, що описують погоду, її динаміку і, отже, її прогноз.

Отже, у будь-якому випадку судноводії насамперед користуються прогнозами бюро погоди. І лише для уточнення цих прогнозів, коли є певні невідповідності між наявною та прогнозованою погодою, місцеві ознаки можуть уточнювати прогноз на місці, доповнюючи складену метеорологічну картинку. Перш ніж переходити до розгляду ознак погоди за окремими метеорологічними елементами, необхідно зазначити, що в будь-якому разі слід користуватися насамперед прогнозами бюро погоди, а місцеві ознаки мають слугувати гарним доповненням до них, перевіркою та уточненням їх на місці.

Таким чином, для досягнення кращих результатів у безпеці судноплавства необхідно оцінити можливість та необхідність врахування місцевих ознак погоди. Використання місцевих ознак для уточнення прогнозу погоди на певних територіях дозволить у подальшому підійти до створення системи підтримки прийняття рішень, яка функціонуватиме на сукупності даних, що надходять від Служби погоди, та знань, що акумулюють місцеві прикмети й ознаки. На першому етапі, перед формалізацією цих ознак необхідно провести їх детальну класифікацію.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Прогнози погоди, що складаються в гідрометеоцентрах, як правило, представляють загальні процеси розвитку погоди над великими районами. Для місця знаходження кожного судна зазвичай потрібна конкретизація цього загального прогнозу. І причиною цього є те, що для конкретного місця знаходження судна передбачене явище погоди може настати не в чітко визначений час, зовсім не настати,

а може настати навіть і не передбачене прогнозом явище. Тому для уточнення прогнозів місцеві ознаки погоди мають важливе практичне значення.

У роботі [1] наведений перелік місцевих ознак погоди, що відповідає основним типам очікуваної погоди. Але даний підхід не дозволяє обрати певний апарат формалізації для їх опису. У подальшому це може викликати певні проблеми у частині застосування частини з цих наведених ознак.

У роботі [2] наголос зроблено на необхідності судноводіям враховувати місцеві ознаки погоди для забезпечення безпеки плавання. У роботі відсутні підходи щодо подальшої формалізації цих даних.

У роботі [3] звертається увага на виділенні місцевих факторів для уточнення погоди у певному районі плавання. Але відсутні конкретні значення деяких ознак, що можна було б використовувати для системи підтримки прийняття рішень.

Робота [4] присвячена висвітленню загальних питань метеорології для моряків, в якій підкреслюється важливість застосування місцевих ознак для покращення плавання у певних районах океану.

Автор роботи [5] розглядає місцеві ознаки як гарне доповнення до прогнозів Служби погоди з метою їх перевірки та уточнення на місці. У роботі відсутні пропозиції щодо класифікації даного типу ознак.

У роботі [6] мова йде про необхідність враховувати досвід судноводіїв щодо використання місцевих ознак погоди у складних гідрометеорологічних умовах навігації.

Робота [7] дозволяє виділити певні категорії для проведення подальшої класифікації місцевих ознак погоди.

У роботі [8] наведена розбивка місцевих ознак за певними типами погоди.

Робота [9] містить широкий перелік місцевих та загальних ознак, що фіксують будь-які зміни в атмосфері та на морі. Вони згуртовані біля певних об'єктів, що спрощує майбутню класифікацію.

У низці робіт містяться описи за певними ознаками, що дозволяють з достатньою повнотою представити такі стани погоди: погіршення погоди, підсилення вітру, збереження поганої погоди, покращення погоди, збереження гарної погоди. Вказані ознаки знайшли своє місце у запропонованій класифікації. Також міститься загальна інформація щодо майбутньої погоди, яку прогнозують за спостереженнями за хмарами, вітром, атмосферним тиском, оптичними і другими явищами, що проходять в атмосфері й оточуючій природі.

В роботах різних авторів описано ознаки, що характеризують певні стани погоди, та є багата колекція фото, що дозволяє більш детально виявити певні ознаки і навіть сформулювати їх значення. Підходи до подальшої формалізації ознак відсутні.

Робота [10] містить місцеві ознаки погоди, що можуть застосовувати моряки маломірних суден для забезпечення безпеки судноплавства. Але не розглядаються підходи щодо введення певних ознак для класифікації.

Тому проведення дослідження щодо введення певної системи класифікації місцевих ознак для їх використання у системах підтримки прийняття рішень є актуальним завданням.

Метою статті є класифікаційний опис даних про місцеві ознаки для їх подальшої формалізації для уточнення прогнозу погоди на певних територіях (ділянках).

Викладення основного матеріалу дослідження

Безпека й економічна ефективність експлуатації флоту не в останню чергу визначаються умовами погоди і станом моря (океану). Для впевненого плавання у складних погодних умовах на сучасних пасажирських лайнерах, танкерах, газовозах, багатотоннажних торговельних суднах, рибних плавбазах, нафтових платформах тощо встановлено сучасні засоби навігації.

Судно під час плавання отримує гідрометеорологічну інформацію від метеорологічних служб різних країн. Команда веде особисті спостереження за морем і погодою. Все це дає змогу якісно виконувати завдання за будь-яких погодних умов, убезпечити судно від впливу

штормів, ураганів, туманів та ін. метеорологічних чинників на шляху прямування і під час його стоянки в порту, запобігти пошкодженню і втраті вантажів, що перевозяться, створити максимально комфортні умови плавання для пасажирів та екіпажу і т. д.

Для цього судноводій зобов'язаний знати основи гідрометеорології та на практиці використовувати отримані компетенції для вибору найвигіднішого шляху плавання залежно від гідрометеорологічних умов і враховувати місцеві ознаки погоди, які можна спостерігати із судна для уточнення офіційних прогнозів погоди.

Всесвітня служба погоди для здійснення своїх функцій має у своєму складі три глобальні системи: спостережень, обробки даних і телезв'язку. Назви цих підсистем фактично пояснюють їхнє призначення та розв'язувані завдання.

Якщо встановлення фактичного стану погоди є непростим завданням, то її прогноз – кратно складніше завдання.

У теперішній час в усіх країнах світу є національні метеорологічні служби, до складу яких, крім іншого, входять і прогностичні підрозділи Служби погоди. Основним завданням прогностичних органів є оперативне обслуговування прогнозами погоди і штормовими попередженнями галузей промисловості, сільського господарства і транспорту.

Якість прогнозу погоди залежить від багатьох чинників: повноти спостережуваних чинників; кількості спостережень над погодою на поверхні Землі та над її станом у верхніх шарах атмосфери; оперативності одержання, опрацювання, передавання та кодування метеоінформації; технічного оснащення гідрометеорологічних станцій та інших елементів Служби погоди; складності та повноти моделей, за якими розраховують потрібні параметри; програмної реалізації чисельних та синоптичних методів, які використовують для прогнозу; повноти схем одночасного врахування фізичної сутності процесів, що відбуваються в атмосфері, і причинно-наслідкових зв'язків між ними тощо.

Власне прогноз погоди складається з двох етапів. Перший етап – це прогноз синоптичного стану атмосферних процесів у даний момент часу, відображений на картах погоди. Другий етап – це встановлення характеру погоди на основі прогнозу синоптичного положення та врахування впливу на погоду низки місцевих умов. Під місцевими умовами розуміють місцеві особливості та положення географічного району, сезону та часу доби.

Отже, місцевими ознаками погоди називаються такі явища в природі, які дають змогу завчасно виявити процеси, що формують ту чи іншу погоду або її зміни, наприклад імовірність появи туману, випадання опадів, посилення вітру до штормового тощо. Тому, якщо синоптична карта відсутня або необхідне її коригування, то під час визначення майбутніх умов погоди використовують місцеві ознаки погоди. Зазвичай до таких ознак відносять появу хмар, зміну напрямку і швидкості вітру, колір неба, характер зміни тиску, температури і вологості повітря тощо. Поєднання досвіду і знань з гідрометеорології фахівцями з використанням місцевих ознак погоди покращує якість прогнозу.

Поділ місцевих ознак погоди на загальні та локальні є досить умовним. Загальні ознаки характерні для більшості районів Світового океану і визначаються фізичною сутністю атмосферних процесів, що протікають. Локальні ознаки проявляються тільки в обмеженому районі і визначаються його фізико-географічними особливостями.

Однак спільне використання інформації від місцевих метеорологічних служб і місцевих ознак має низку обмежень:

- слабший вплив місцевих умов за різко виражених загальних процесів погоди;
- більша ймовірність зміни або збереження майбутньої погоди за більшої кількості місцевих ознак, що вказують;
- наявність суперечливих спостережуваних місцевих ознак погоди свідчить про очікування нестійкої погоди;
- повільна зміна місцевих ознак погоди свідчить про повільну зміну самої погоди, і навпаки.

Прогноз синоптичного положення зазвичай видають у вигляді прогностичних карт на 12, 18, 24, 36, і 72 год наперед від терміну спостережень з очікуваним баричним полем біля

поверхні моря і положенням фронтів. Карта майбутнього синоптичного положення дає змогу судити про загальний характер погоди, оскільки вона тісно пов'язана із синоптичними об'єктами, представленими на прогностичній карті.

Після виявлення вихідних умов погоди здійснюється перехід на другий етап складання прогнозу погоди. Особливістю прогнозу є одночасність і комплексність його складання, зумовлені міцними взаємозв'язками всіх метеорологічних елементів. Говорячи про комплексність прогнозу, мають на увазі сукупність різноманітних правил і прийомів, що враховують не тільки еволюцію синоптичних об'єктів, а й вплив місцевих умов, пори року і доби на перебіг метеорологічних елементів.

Досвідчений судноводій на основі свого багаторічного досвіду може зробити досить надійний прогноз погоди на найближчий час. І допомогу в цьому йому часто надають місцеві ознаки погоди. Вони базуються на тривалих спостереженнях повітряних мас, атмосферних фронтів, циклонів й антициклонів та інших метеорологічних елементів. Спостереження за метеорологічною обстановкою на морі входить до кола основних обов'язків судноводіїв. Систематичність й уважність дають змогу не тільки уточнювати одержувані прогнози. За їх відсутності на борту з тих чи інших причин хороший судноводій у змозі самостійно досить точно визначити очікувані зміни погоди.

І в першому, і в другому випадках судноводіїв, уточнюючи отримані прогнози, використовуючи місцеві ознаки, реалізуючи власні спостереження за елементами погоди, виконує такі основні операції:

- виконує повний комплекс гідрометеорологічних спостережень;
- аналізує спостережувані явища погоди і зіставляє їх із процесами в океані й атмосфері, що розвиваються в поточний момент часу;
- виявляє характерні ознаки наближення атмосферних фронтів, циклонів і антициклонів;
- за виявленими ознаками визначає очікувану зміну погоди.

Для адекватного прогнозу погоди необхідно дотримуватися низки основоположних правил:

1) Більша кількість ознак, що вказують на зміну або збереження даного типу погоди, підвищують надійність прогнозу.

2) Одна, навіть найістотніша (найхарактерніша) ознака не може бути безумовним провісником того чи іншого явища.

3) Наявність декількох ознак, що суперечать одна одній, найімовірніше передбачають нестійку погоду.

4) Швидкість зміни характеру погоди прямо пропорційна швидкості зміни явища, обраного як місцева ознака.

Узагальнення багаторічного досвіду спостережень багатьох поколінь судноводіїв дало змогу виокремити цілу низку ознак зміни погоди й оформити її у вигляді табл. 1.

Таблиця 1 – Перелік місцевих ознак, що описують основні типи очікуваної погоди

Група факторів, що описують основні типи очікуваної погоди	Місцеві ознаки
Тип очікуваної погоди: погіршення	
Наближення теплового фронту циклону з похмурою	1) поступове зниження атмосферного тиску; 2) поява і розвиток хвиль хитавиці; 3) поява пір'ястих кігтеподібних хмар, що швидко рухаються від обрію, які поступово змінюються на пір'ясто-шаруваті, які

погодою і свіжим вітром через 6-12 год	переходять у щільніший шар високошаруватих хмар; 4) рух пір'ястих і пір'ясто-шаруватих хмар праворуч від напрямку вітру в приводному шарі; 5) підвищена дальність видимості, збільшення рефракції – поява предметів з-за обрїю, міражі, підвищена чутність звуків у повітрі; 6) дим із труби стелиться знизу; 7) поява оптичних явищ (гало і вінців малих розмірів) у перисто-шаруватих і високошаруватих хмарах, сильне мерехтіння зірок уночі; 8) яскраво-червона ранкова зоря; 9) відсутність у літню пору нічної та ранкової роси; 10) увечері Сонце заходить у хмари, що згущуються.
Наближення холодного фронту, грози та шторму за 1-2 год до його початку	1) різке падіння атмосферного тиску; 2) поява пір'ясто-купчастих, висококупчастих баштоподібних і сочевицеподібних хмар; 3) нестійкість (поривчастість і шквалистість) вітру; 4) поява сильних перешкод у радіоприйомі; 5) на екрані радіолокатора чітко виявляється витягнута смуга хмар із зоною опадів; 6) поява в морі характерного шуму з боку грози або шквалу, що наближаються; 7) різкий розвиток купчасто-дощових хмар.
Тип очікуваної погоди: покращення	
Припинення опадів і послаблення вітру в найближчі 4 год. після проходження теплового фронту або фронту оклюзії	1) припинення падіння тиску (барична тенденція стає позитивною); 2) поступове розсіювання хмарності (поява просвітів, збільшення висоти хмар, перехід шарувато-дощових хмар у шарувато-купчасті та шаруваті); 3) поворот вітру вправо та його ослаблення; , 4) зростання температури (у холодну пору року); 5) зниження абсолютної та відносної вологості; 6) загасання хвилювання на морі; 7) поява над морем (за температури води, нижчої за температуру повітря) смуг туману.
Припинення опадів, зміна напрямку вітру та прояснення через 2-4 год після проходження холодного фронту другого роду	1) різке зростання атмосферного тиску; 2) різкий поворот вітру вправо; 3) різка зміна в характері хмарності (розсіювання хмар, збільшення висоти і збільшення просвітів); 4) у разі прояснення різке збільшення дальності видимості; 5) зниження температури повітря; 6) ослаблення завад у радіоприйомі.
Тип очікуваної погоди: збереження характеру погоди на найближчі 8-12 год.	
	1) повторення в терміни спостережень метеоеlementів минулого дня; 2) збереження протягом минулої доби виду хмарності, видимості, характеру опадів, кольору неба, забарвлення зорі, стану поверхні моря, типу і характеру хвилювання, оптичних явищ тощо.
Тип очікуваної погоди: гарна антициклонічна погода зі слабким вітром або безвітрям, невеликою хмарністю і хорошою видимістю протягом найближчих 12 год.	
	1) високий атмосферний тиск або не змінюється, або зростає; 2) у прибережній смузі чітко помітні бризи; 3) поява вранці окремих перистих хмар, які до полудня зникають;

	4) вранці та ввечері дим із труби на малому ходу піднімається вертикально вгору; 5) поява роси на палубі та інших предметах вночі і до ранку; 6) деформація диска Сонця під час сходу і заходу; 7) рожеві та золотисті відтінки зорі; 8) спостереження сухої імли біля горизонту; 9) Сонце опускається за чистий горизонт; 10) зеленуватий колір при мерехтінні зірок уночі.
Тип очікуваної погоди: погана погода (похмура, з опадами, сильним вітром, поганою видимістю) протягом найближчих 6 год і більше	
	1) низький або такий, що знижується, атмосферний тиск; 2) великі й мало мінливі протягом доби значення абсолютної та відносної вологості повітря; 3) збереження шарувато-дощової та купчасто-дощової хмарності; 4) зниження влітку температури повітря, а взимку - її підвищення; 5) збереження свіжим вітром своєї сили та напрямку.

Місцеві ознаки погоди поділяються на загальні та спеціальні. Перші зумовлені атмосферними процесами, пов'язаними з утворенням і переміщенням циклонів, антициклонів, атмосферних фронтів, повітряних мас. Другі залежать від фізико-географічних особливостей даної місцевості.

Так, майже скрізь падіння атмосферного тиску свідчить про наближення циклону і погіршення погоди. А на Мархотському перевалі поява в ясний сонячний день хмаринки є спеціальною ознакою, що віщує, що скоро подує дуже сильний північно-східний вітер бору.

Ледь помітні зміни деяких місцевих ознак можуть передвіщати наближення шторму або урагану. І досвідчені моряки, які знають їх, можуть передбачити такі події. Однак точність прогнозу залежить від кількості аналізованих ознак. Тому максимальна кількість ознак, що фіксують будь-які зміни в атмосфері та на морі, є запорукою успішного передбачення погоди.

При цьому ознаки групуються щодо певних об'єктів (таблиця 2).

Таблиця 2 – Характеристика основних ознак погоди, що аналізується

Групи ознак	Характеристика ознак погоди (продукційний зв'язок)
За виглядом Сонця, Місяця і зорі	1. Кола навколо Сонця і Місяця – наближення циклонічної області, опадів і сильного вітру. 2. Диск Сонця або Місяця під час сходу або заходу набуває викривленої форми (має вигляд овалу, шапки, гриба) або розділений на частини темними смугами – настання сухої погоди антициклонічного характеру. 3. Сонце заходить за густі хмари, які при цьому мають пурпурове забарвлення по краях, – погіршення погоди. 4. Сонце спочатку просвічує тьмяним, розмитим диском, а потім перестає бути видимим – погіршення погоди. 5. Червона або багряно-червона зоря під час заходу Сонця – наближення циклонічної області; іншого дня можна чекати сильного вітру. 6. Жовта і жовто-рожева зоря – суха і ясна погода. 7. Ніжно-рожева зоря у вигляді кола над сонцем, що зайшло за обрій, – гарна стійка погода. Якщо забарвлення кола стає рожево-червоним – можливі опади і посилення вітру. 8. Золота зоря буває перед гарною погодою.

По зірках	1. Зірки мерехтять слабо і відливають зеленуватим блиском – стійка гарна погода. 2. Мерехтіння зірок посилюється – наближення циклонічної області, а відтак дощу та сильного вітру. 3. Сильне мерехтіння зірок – до випадання опадів.
По хмарах і кольору неба	1 Хмари більше розтікаються в сторони, ніж ростуть у висоту, а їхні верхівки здаються ніби приплюсненими зверху на одній висоті – дощ малоймовірний. 2 Хмари швидко ростуть угору і нагромаджуються у вигляді веж різної висоти – дуже велика ймовірність дощу і вітру. 3 Сочевидієподібні хмари, що нагадують за формою дирижаблі, – провісники сильного вітру в нижніх шарах. 4. Хмари, що швидко рухаються за тихої погоди, – одна з надійних ознак посилення вітру. 5. Небо рано вранці буває безхмарним, а потім з'являються майже нерухомі купчасті хмари з добре окресленими краями, які до вечора зникають, – гарна стійка погода. 6. Напрямок руху хмар дещо відхиляється ліворуч від напрямку вітру біля поверхні води – стійка гарна погода. 7. Рух хмар поперек напрямку вітру або прямо назустріч йому, – погіршення погоди; рух хмар у різних напрямках говорить про наближення опадів. 8. Порівняно щільні, різноманітних форм, пір'ясті хмари, що швидко рухаються, а також збільшення до вечора хмарності, яка не зникає на ніч, – до погіршення погоди. 9. Високошаруваті хмари поступово переходять у шарувато-дошові, – можна очікувати облогових опадів. 10. Пір'ясті хмари різноманітної, химерної форми, що слабо рухаються та зникають надвечір, або поява просвітів за мінливої хмарності – зміна погоди на краще. 11 Невелика низька хмарність уранці – до погіршення погоди. 12. Після циклону над розірваними купчастими хмарами пір'ясті хмари, що високо і швидко рухаються, – ознака наближення нового циклону; якщо навіть барометр не падає, можна очікувати переходу вітру від NW до SO. 13. Поява до вечора на заході смуги ясного кеба за похмурого дня – до поліпшення погоди. 14. Білуватий відтінок усього неба поблизу горизонту за невеликої висоти сонця, тоді як інша частина неба має синій колір, – до гарної погоди. 15. Білястий відтінок усього неба – до похмурої погоди. 16. Срібляста смужка, що довго тримається біля горизонту після заходу сонця за чистого неба, – до гарної погоди.
По барометру	1. Безперервне падіння барометра протягом дня, – ознака наближення циклону (що швидше і триваліше це падіння, то вірніша ознака). 2. Якщо барометр повільно і безперервно протягом кількох діб піднімається або залишається нерухомим за південних вітрів, – стійка ясна погода. 3. Підйом барометра за свіжого вітру – до гарної погоди. 4. Швидке падіння барометра в середніх і малих широтах – наближається шторм. 5. Під час падіння тиску, якщо крива барографа звернена опуклістю

	вгору, можна очікувати сильного вітру і погіршення погоди. Якщо крива барографа звернена під час падіння тиску опуклістю донизу, можна очікувати повороту погоди на краще. 6. Якщо під час підвищення тиску крива звернена опуклістю вгору, можна очікувати ослаблення вітру до тихої погоди, якщо опуклістю вниз, – посилення вітру. 7. Крива хвилеподібної форми свідчить про наближення циклону. 8. Повільне зниження тиску зранку з підвищенням температури й абсолютної вологості – можливі опади, а влітку – гроза.
За вітром	1. Якщо напрямок вітру з висотою змінюється ліворуч, рахуючи від напрямку наземного вітру, можна очікувати настання погоди антициклонального характеру; якщо ж з висотою напрямок вітру відходить праворуч – циклонічного характеру. 2. Різке ослаблення вітру – до зміни його напрямку найближчим часом. 3. Послаблення вітру під час заходу сонця без його посилення після заходу – ознака того, що до світанку вітер не посилиться. Якщо після заходу сонця вітер посилюється, це є ознакою його подальшого посилення. 4. Вітер до вечора не слабшає і змінює напрямок за сонцем – наближається циклон і негода. 5. До вечора і на ніч шквалистий вітер змінюється більш рівним або вітер стихає зовсім – до погіршення погоди. 6. Посилення вітру надвечір – ознака тривалих опадів і наближення шторму. 7. Поява вітру з протилежного боку – до послаблення дощу. 8. Якщо зі сходом сонця починає дути слабкий вітер, до 12-15 години він посилюється, до вечора слабшає, а до ночі затихає, – це явні ознаки стійкої гарної погоди.
За температурою	1. Порухення нормального добового ходу температури (наприклад, підвищення температури надвечір або серед ночі) – до погіршення погоди. 2. Сильне зниження температури, сильні холодні вітри з поступовим проясненням неба – явні ознаки зміни погоди на краще.
За туманами	1. Наземний туман, що утворюється після заходу і розсіюється після сходу сонця, – до гарної погоди. 2. Наземний туман, що розсіюється вночі, до сходу сонця, – наближається циклон. 3. Суцільний туман, що утворюється в будь-який час доби або за наявності середнього за силою вітру, показує, що погода, яка настала, протримається щонайменше 6-8 годин, а іноді й більше. 4. Рясна роса, що випала вночі або вранці на такелажі, рангоуті та палубі, – до гарної ясної погоди протягом дня з помірним вітром або штилем.
За видимістю	1. Окремі предмети видно чітко, але не здаються ближчими, – до гарної погоди. 2. Удавана близькість віддалених предметів – до погіршення погоди і появи опадів. 3. Погана видимість віддалених предметів – опади найближчим часом не очікуються.
За вологістю	1. У разі збільшення абсолютної вологості більш ніж на 2 мм за 6-8 годин можна очікувати рясних опадів наступного дня. 2. Зменшення відносної вологості вранці та збільшення до вечора – ознака ясної погоди.

За різними прикметами	1. За безвітряної погоди дим із труби піднімається прямовисно вгору – до гарної погоди. Якщо дим, навпаки, стелиться за безвітряної погоди по воді, – це провісник погоди циклонічного характеру або випадання опадів. 2. Якщо морські птахи вилітають рано і віддаляються далеко в море, – у найближчі 6-12 годин можна не очікувати сильного вітру. 3. Якщо птахи за слабого вітру тримаються біля узбережжя і не відлітають далеко в море, – через кілька годин можна очікувати посилення вітру. 4. Масове і стрімке повернення птахів до берега – наближення шторму. 5. Ясна чутність віддалених звуків – наближення опадів. 6. Брижі та хвиля починають іти не за вітром і все посилюються – наближається циклон. 7. Короткі сутінки – зміна погоди на краще.
-----------------------	--

Погодні зміни і, відповідно, передбачення погоди характеризуються низкою закономірних особливостей.

1. Різкі зміни погоди (дощ, сніг, гроза, злива, сильний вітер, шторм тощо) не починаються "раптово". Вони завжди мають певну передісторію (інколи дуже довгу) і є кінцевими фазами розвитку комплексу взаємопов'язаних атмосферних процесів і явищ. Такі зміни можна спостерігати візуально і завчасно відстежувати за допомогою приладів.

2. Певна інерція кожного характеру погоди, тобто здатність якомога довше зберігати свої властивості. Періоди такої сталої погоди різної тривалості та певного характеру спостерігаються досить часто. У зв'язку з цим є ознаки, за допомогою яких можна описати не тільки різку зміну погоди, а й знання про збереження колишньої стійкої погоди.

3. Етапність зміни погоди. За відповідних атмосферних умов погода може змінитися різко, але іноді помітні зміни погоди не викликають різкої зміни погоди.

Таким чином, для отримання якісного передбачення погоди необхідно спостерігати певний час за ходом зміни значень порівняно великої кількості ознак. Чим більше ознак враховується, тим точнішим буде прогноз.

Прогнози погоди за місцевими ознаками можна складати на добу і більше. Однак найнадійніші результати передбачення майбутньої погоди можуть бути отримані на найближчі 3-12 год. Далі їх потрібно уточнювати за місцевими спостереженнями (прогнозами) на наступний такий самий термін і т. д.

Уважне спостереження за змінами погоди в конкретній місцевості дає змогу накопичити великі бази даних і знань для передбачення погоди за ознаками, які є дійсними тільки для даної місцевості. Однак успішне передбачення погоди вимагає не тільки уважності, а й систематичності спостережень за всіма змінами, що відбуваються в атмосфері та на морі.

Атмосферні фронти, циклони, антициклони, займаючи величезні простори і переміщаючись на значні відстані, можуть бути виявлені задовго до їхнього приходу в місце спостереження за першими ознаками їхнього наближення. Так, ознаки, що характеризують наближення холодного фронту, можна виявити за 6-8 год до його проходження, а наближення теплого фронту за 12-20 год і більше.

Про майбутню погоду можна судити зі спостережень за хмарністю і станом неба, над опадами, туманами, атмосферними, оптичними та електричними явищами, дальністю видимості, над хвилюванням моря, над вітром, над температурою повітря та поверхневого шару води, над атмосферним тиском, над морськими кригою й айсбергами, за оптичними та багатьма іншими явищами, які відбуваються в атмосфері та навколишній природі.

Перш ніж переходити до розгляду ознак погоди за окремими метеорологічними елементами, необхідно зазначити, що в будь-якому разі слід користуватися насамперед прогнозами бюро погоди, а місцеві ознаки мають слугувати гарним доповненням до них, перевіркою й уточненням їх на місці.

Висновки. Використання місцевих ознак погоди в сукупності з відповідним досвідом і знаннями метеорології може дати хороші результати. Досвідчений моряк, який добре знає місцеві ознаки погоди, за ледь вловимими явищами може передбачити наближення шторму або урагану.

Однак при цьому необхідно враховувати таке:

а) ізольоване використання будь-якої правильної ознаки, без ясного розуміння загального механізму функціонування атмосферних процесів і перебігу змін погоди, без урахування її взаємодії з іншими, нехай і не настільки значущими факторами, може призвести до помилкових висновків під час побудови прогнозу;

б) точність прогнозу досягається тільки в разі використання сукупності багатьох або декількох збіжних ознак, що вказують на один і той самий характер зміни або збереження погоди;

в) неузгоджені або навіть суперечливі значення (вказівки) різних ознак свідчить про неоднозначність процесів, що відбуваються в атмосфері, що вимагає звертати більш серйозну увагу на ознаки, виражені різкіше, і керуватися ними;

г) наявність відкритого кругового огляду під час спостереження за ознаками;

д) нерізкість і повільна зміна ознаки характеризують повільну зміну погоди, і навпаки;

е) будь-яка значна зміна будь-якого метеорологічного процесу за тривалої стійкої погоди одного того самого характеру спричиняє різку зміну або окремих елементів погоди, або її загального характеру;

ж) нестійка погода характеризується великою кількістю різноманітних ознак, що вимагає від спостерігача уважності, системного аналізу за всім комплексом елементів і вміння виокремлювати з них найінформативніші, які більшою мірою визначають погоду.

Отже, у статті вирішене актуальне завдання з класифікаційного опису даних про місцеві ознаки для їх подальшої формалізації для уточнення прогнозу погоди на окремих територіях. Виділення місцевих ознак та їх класифікаційний опис для уточнення прогнозу погоди на певних територіях створює підстави для розробки апарату формалізації сукупності місцевих ознак погоди. За його допомогою необхідно математично представити ці ознаки й у подальшому створити прототип системи підтримки прийняття рішень про передбачення погоди, яка базуватиметься на прогнозі, що надходить від Служби погоди, та знаннях про місцеві прикмети й ознаки.

ЛІТЕРАТУРА

1. Sui Tao, Jonathan Corcoran, Francisco Rowe, Mark Hickman, (2018), To travel or not to travel: 'Weather' is the question. Modelling the effect of local weather conditions on bus ridership, Transportation Research Part C journal homepage: www.elsevier.com/locate/trc.
2. Кисельов В.П. Метеорологія та океанографія для судноводіїв / Кисельов В.П. – Одеса: Латстар, 2001. – 291 с.
3. Варбанець Т.В. Метеорологія: Навчальний посібник / Т.В Варбанець . – Одеса : Фенікс, 2008. – 232 с.
4. Commander C.R., Burgess, R.N., F.R. Met.S. Meteorology for seafarers. Glasqow, 1997. – 132 p.
5. Ayalew D.Y., Desta S., Gebre G., Kinyangi J., Recha J., Radeny M. (2015) Opportunities and challenges of indigenous biotic weather forecasting among the Borena herders of southern Ethiopia. SpringerPlus (2015) 4:617
6. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2014) Working Group II AR5: Africa. In: Barros VR, Field CB, Dokken DJ, Mastrandrea MD, Mach KJ, Bilir TE, Chatterjee M, Ebi KL, Estrada YO, Genova RC, Girma B, Kissel ES, Levy AN, MacCracken S, Mastrandrea PR, White LL (eds) Climate Change 2014: Impacts, adaptation, and vulnerability. Part B: regional aspects. 36 contribution of working group II to the fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. United Kingdom: Cambridge University Press. p 1199–1265

7. Radeny, M., Desalegn, A., Mubiru, D. *et al.* Indigenous knowledge for seasonal weather and climate forecasting across East Africa. *Climatic Change* 156, 509–526 (2019). <https://doi.org/10.1007/s10584-019-02476-9>

8. Прогноз погоды по местным признакам – Flymeteo. [режим доступу https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwiMvJr0_6v8AhWfSfEDHatTCZAQFnoECAkQAQ&url=https%3A%2F%2Fflymeteo.org%2Fstat%2Fmestnie_priznaki.php&usg=AOvVaw1FIYful9jzyyNB_e-nfBb_, дата звернення: 02.11.2022].

9. L., W. Weather Folk-Lore and Local Weather Signs . *Nature* 69, 485 (1904). [режим доступу <https://doi.org/10.1038/069485a0>, дата звернення: 02.11.2022].

10. Jeff Toghil (2005). Complete Sailing Manual. New Holland Publishers Ltd, 2005. P. 192

REFERENCES

1. Sui Tao, Jonathan Corcoran, Francisco Rowe, Mark Hickman, (2018), *To travel or not to travel: 'Weather' is the question. Modelling the effect of local weather conditions on bus ridership*, Transportation Research Part C journal homepage: www.elsevier.com/locate/trc.

2. Kiselyov V.P. "Meteorology and oceanography for navigators" ["*Meteorolohiya ta okeanohrafiya dlya sudnovodiyiv*"] / V.P. Kiselyov. – Odesa: Latstar, 2001. – 291 p.

3. Varbanets T.V. "Meteorology" : Study guide ["*Meteorolohiya*"] / T.V Varbanets. – Odesa: Phoenix, 2008. – 232 p.

4. Commander C.R., Burgess, R.N., F.R. Met.S. *Meteorology for seafarers*. Glasqow, 1997. 132 p.

5. Ayal DY, Desta S, Gebru G, Kinyangi J, Recha J, Radeny M (2015) *Opportunities and challenges of indigenous biotic weather forecasting among the Borena herders of southern Ethiopia*. SpringerPlus (2015) 4:617.

6. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2014) Working Group II AR5: Africa. In: Barros VR, Field CB, Dokken DJ, Mastrandrea MD, Mach KJ, Bilir TE, Chatterjee M, Ebi KL, Estrada YO, Genova RC, Girma B, Kissel ES, Levy AN, MacCracken S, Mastrandrea PR, White LL (eds) *Climate Change 2014: Impacts, adaptation, and vulnerability*. Part B: regional aspects. 36 contribution of working group II to the fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. United Kingdom: Cambridge University Press. p 1199–1265.

7. Radeny, M., Desalegn, A., Mubiru, D. *et al.* Indigenous knowledge for seasonal weather and climate forecasting across East Africa. *Climatic Change* 156, 509–526 (2019). <https://doi.org/10.1007/s10584-019-02476-9>.

8. Local Weather Forecast – Flymeteo. [access mode https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwiMvJr0_6v8AhWfSfEDHatTCZAQFnoECAkQAQ&url=https%3A%2F%2Fflymeteo.org%2Fstat%2Fmestnie_priznaki.php&usg=AOvVaw1FIYful9jzyyNB_e-nfBb_, date of the application: 02.11.2022].

9. L., W. Weather Folk-Lore and Local Weather Signs . *Nature* 69, 485 (1904). [режим доступу: <https://doi.org/10.1038/069485a0>, дата звернення: 02.11.2022].

10. Jeff Toghil (2005). Complete Sailing Manual. New Holland Publishers Ltd, 2005. P. 192

Urum N.S., Trofymenko I.V., Plita L.L., Ivanenko V.M.

CLASSIFICATION OF LOCAL FEATURES TO REFINE WEATHER FORECAST AND IMPROVE NAVIGATION SAFETY

The aim of the article is a classification description of data on local features for their further formalization to clarify the weather forecast in certain areas (sections). This goal is achieved by analyzing sources of information on local weather features in different areas for their further selection and classification in order to clarify the weather forecast and improve navigation safety.

The purpose and main tasks of the Weather Service, the procedure for making a forecast, the factors affecting the quality of the forecast are considered. The main operations performed by the navigator, refining the forecasts, using local features, realizing their own observations of weather elements, are analyzed. The fundamental rules for obtaining an adequate weather forecast are highlighted. The list of local features describing the main types of expected weather is systematized. The classification of the main features that are grouped in relation to certain objects is carried out. A total of 10 grouping objects are identified. A number of regular features that characterize weather changes and, accordingly, weather forecasting are identified. The most significant result is the development of a classification description of local weather features, which can be used to refine the forecast in certain areas. The further direction of work is the development of the apparatus of formalization of the set of local weather signs on the basis of the given classification description to clarify the weather forecast in certain areas using a decision support system for weather forecasting, which will be based on the forecast coming from the Weather Service and knowledge of local signs and symptoms.

Keywords: weather, local signs, forecast, classification, weather change, navigation safety.

УДК 629.5

doi.org/10.33298/2226-8553.2023.1.37.06

Сагін С.В., Бондар С.А., Столярик Т.О.

ОЦІНКА БЕЗВІДМОВНОСТІ СУДНОВИХ ДИЗЕЛІВ ЗА ТЕХНІЧНИМ СТАНОМ МОТОРНОГО МАСТИЛА ЦИРКУЛЯЦІЙНИХ СИСТЕМ МАЩЕННЯ

Наведені результати досліджень, щодо оцінка безвідмовності суднових дизелів за технічним станом моторного мастила циркуляційних систем мащення. Дослідження виконувались на суднових чотиритактних дизелях Volvo Penta TMDA 163A, що виконують функції допоміжних двигунів спеціалізованого морського судна дедвейтом 10850 тонн., в циркуляційних системах мащення яких використовувались моторні мастила з різними характеристиками. Доведено, що основними експлуатаційними показниками моторного мастила, які визначають та забезпечують безвідмовність роботи суднових дизелів є загальне лужне число та швидкість його зменшення, а також вміст в моторному мастилі механічних домішок, що характеризують знос деталей дизеля та забруднення мастила. Експериментально встановлено, що моторні мастила, які характеризуються меншою швидкістю зменшення загального лужного числа забезпечують більш якісне мащення суднових дизелів, що відображається в підвищенні гідравлічної щільності та змащувальної здатності мастила. Підтвердженням цього (під час порівняння моторного мастила швидкість падіння загального лужного числа якого менш з іншим мастилом) стає більш повільне зниження тиску наприкінці процесу стиснення (що характеризує менший знос в парах тертя дизеля) та зменшення температури випускних газів (що характеризує більшу гідравлічну щільність в сполученні поршневе кільце – втулка циліндру). Також встановлено, що під час інтенсивного зменшення загального лужного числа моторного мастила погіршується його технічний стан, що виявляється в збільшенні механічних домішок (які є результатом його окислення або зносу деталей дизеля), що потрапляють до його об'єму. З часом це зменшує змащувальну здатність моторного мастила та знижує надійність роботи дизелі. Отримані результати свідчать про можливість діагностування

безвідмовності роботи судових дизелів через технічний стан моторного мастила, яке використовується в його системі циркуляційного мащення.

Ключові слова: безвідмовність, експлуатаційні показники, морські засоби транспорту, моторне мастило, надійність, система мащення, судовий дизель, технічне обслуговування, технічний стан

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями. Ефективність роботи морських засобів транспорту визначається не лише їх морехідними якостями, а й значною мірою технічним рівнем та надійністю роботи судової енергетичної установки (СЕУ), основними об'єктами якої є головні та допоміжні двигуни. Надійність будь-якого енергетичного об'єкта є комплексним поняттям та характеризує його безвідмовність, довговічність, ремонтпридатність та збереженість. В той же час, надійність є найважливішим показником якості дизеля та характеризує його спроможність зберігати з часом у встановлених межах значення всіх параметрів, що визначають його здатність виконувати функції джерела енергії на судні в заданих режимах та умовах використання, технічного обслуговування та ремонту [1]. З метою забезпечення безпеки мореплавання Міжнародна морська організація планомірно здійснює посилення вимог до надійності всієї СЕУ та судових дизелів зокрема. В даний час вирішення питань забезпечення безпеки під час експлуатації судових технічних засобів є важливою позицією, що визначає перспективи розвитку морського транспорту. Підтвердженням сказаного є включення до Міжнародної конвенції з охорони людської життя на морі 1974 року (SOLAS) як окремого розділу «Міжнародного кодексу з управління безпечною експлуатацією суден та запобігання забруднення» (МКУБ). Основні цілі МКУБ полягають у забезпеченні безпеки на морі, запобіганні нещасним випадкам або загибелі людей, попередження нанесення шкоди довкіллю та майну. Односпрямоване з вимогами МКУБ формулюються політика якості будь-якої судноплавної компанії, що пов'язана з управлінням безпекою, яка повинна:

забезпечувати безпечну практику експлуатації суден (корпусу, навігаційного та палубного обладнання, СЕУ) та безпечні для членів екіпажу судна умови виконання професійних обов'язків [2, 3];

забезпечувати захист від усіх виявлених ризиків [4, 5];

постійно покращувати навички персоналу, що стосуються управління безпекою, включаючи готовність до аварійних ситуацій, пов'язаних як з безпекою також із захистом довкілля [6, 7].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Безвідмовність є основною складовою надійності, тому що саме вона забезпечує виконання будь-яким об'єктом своїх функцій. Стосовно судових дизелів безвідмовність визначають стан його основних елементів (деталей циліндрової групи, колінчатого валу, паливної апаратури) та систем (паливної, мащення, охолодження), що забезпечують його функціонування. Забезпечення необхідного рівня безвідмовності та збільшення часу безаварійних режимів роботи судових дизелів досягається різними способами. З метою підвищення надійності циліндрових втулок забезпечують оптимальне дозування мастила в системах лубрикаторного мащення [8, 9]. Зменшення втрат на тертя в елементах паливних насосів високого тиску, та пов'язано з цим збільшення ресурсу їх роботи, виконується шляхом нанесення на поверхні плунжерів спеціальних покриттів [10, 11]. Одним зі способів забезпечення режимів гідродинамічного мащення в підшипникових вузлах є додавання до мастила поверхнево-активних речовин [12, 13]. Гарантований строк експлуатації судових технічних засобів досягається шляхом визначення оптимальних режимів їх роботи та забезпеченням їх технічного обслуговування та ремонту [14, 15]. Одночасно з цим залишаються не визначеними оптимальні режими експлуатації судових систем, що забезпечують безвідмовність судових дизелів, зокрема систем мащення та безпосередньо моторного мастила, яке є невід'ємною складовою цих систем.

Формулювання цілей статті. Ціллю статті є оцінка безвідмовності суднових дизелів за технічним станом моторного мастила циркуляційних систем мащення та визначення експлуатаційних показників моторного мастила, які впливають та забезпечують безвідмовність роботи дизелів морських суден.

Виклад основного матеріалу. До основних систем, що забезпечують безвідмовність роботи дизелів морських суден відносяться паливна, мащення та охолодження. Завдяки цим системам виконується:

подача палива до паливних насосів високого тиску та подальше впорскування палива в циліндр дизеля [16];

мащення багатьох вузлів дизеля (колінчатого та розподільного валів, газотурбонагнетача, циліндрової втулки та поршневих кілець, мотильового, рамового та головного підшипників) [17];

охолодження циліндрової втулки, кришки циліндра та випускних клапанів [18].

Процеси мащення відіграють першорядну роль під час експлуатації та забезпечення безвідмовності суднових дизелів. Навіть короточасне відсутність мастильного матеріалу між поверхнями тертя або відхилення в негативний бік процесу мащення від розрахункового та тому очікуваного або передбачуваного режиму мащення може привести до виникнення аварійних ситуацій та зниженню надійності роботи суднової енергетичної установки.

Якість процесу мащення суднових дизелів оцінюється за різними показниками, насамперед:

за аналізом моторного мастила, що взято з підпоршневого простору (лише для двотактних дизелів) або з картеру дизеля (для чотиритактних);

за показниками робочого циклу (за величиною тиску наприкінці процесу стиснення та за значенням температури випускних газів);

за механічними втратами, що виникають під час перетворення теплотворної здатності палива в корисну роботу.

Чотиритактні дизелі характеризуються загальною системою мащення, в якій моторне мастило забезпечує мащення та охолодження циліндрової групи та підшипників руху. Для чотиритактних дизелів одним з розповсюджених зі способів оцінки їх безвідмовності є аналіз моторного мастила, яке взяте з картера дизеля. При цьому до основних показників, за якими здійснюється цей аналіз, є загальне лужне число (Total Base Number – TBN) та вміст в моторному мастилі механічних домішок. Зміна цих показників в негативний бік, а саме зниження TBN та підвищення кількості механічних домішок, що потрапляють в моторне мастило, свідчить про погіршення процесу мащення. Наслідком цього стає зменшення гідравлічної щільності в парах тертя вал-вкладиш підшипника та поршневе кільце-втулка циліндра, що, в свою чергу, призводить до витоків повітряної суміші з циліндру та зниження тиску наприкінці процесу стиснення. Ця величина є однією з тих, що контролюється під час роботи суднових дизелів, її зниження негативно впливає на подальше samozapalювання палива та екологічність експлуатації морського судна [19, 20]. При цьому можливі випадки виникнення пропусків спалаху палива з циліндрах, де тиск та температура повітря наприкінці стиснення не забезпечують надійне samozapalювання палива. Одночасні з цим навантаження на інші циліндри стрибкоподібно збільшується, зростає нерівномірність обертання колінчатого валу та динамічна невідновленість дизеля. Перелічені фактори призводять до виникнення критичних, надкритичних та аварійних режимів роботи дизеля, що стає причиною зниження його безвідмовності.

Дослідження проводилися на суднових допоміжних двигунах Volvo Penta TMDA 163A, які в кількості двох входили до складу допоміжної енергетичної установки спеціалізованого морського судна дедвейтом 10850 тонн. Принципова схема системи циркуляційного мащення дизелів надана на рис. 1.

Мащення підшипникових вузлів колінчатого валу та циліндрової групи дизелів №1 1 та №2 6 забезпечувалось моторним мастилом Castrol Vection 15W40 або Shell Rimula R4X

15W40, які знаходились в витратних цистернах циркуляційного мастила 4 та 5. Обидва мастила рекомендовані до використання в системі циркуляційного мащення дизелів Volvo Penta TMDA 163A. Кожен з дизелів був обладнаний автономною системою мащення, що дозволяло використовувати в них різні моторні мастила (для одного – Castrol Vection 15W40, для другого – Shell Rimula R4X 15W40). З цистерн 4 та 5 мастило самопливом потрапляло до картеру дизелів. Через перемикання клапанів (які на схемі не показані для її спрощення) робота будь-якого з дизелів могла здійснюватися з використання будь-якого мастила. З картеру дизеля мастило циркуляційним насосом 9 спрямовувалось до колінчатого валу та далі потрапляло до його підшипників. Продуктивність насоса визначалась через кількість мастила, що пройшло через витратомір 8. Мащення циліндрової групи забезпечувалось шляхом випаровування та розбризкування моторного мастила з картеру дизеля. Очищення моторного мастила виконувалось через його фільтрацію в мастильному фільтрі 10, а також через його сепарацію в мастильному сепараторі 7. Робота сепаратора 7 забезпечувалась окремо для кожного з дизелів, це попереджувало змішування мастила, яке знаходилося в системах мащення дизелів. Контроль показників роботи дизеля виконувався з використанням термометру 2 та манометру 3. Потужність дизелів визначалась ватметром, встановленим в центральному посту управління.

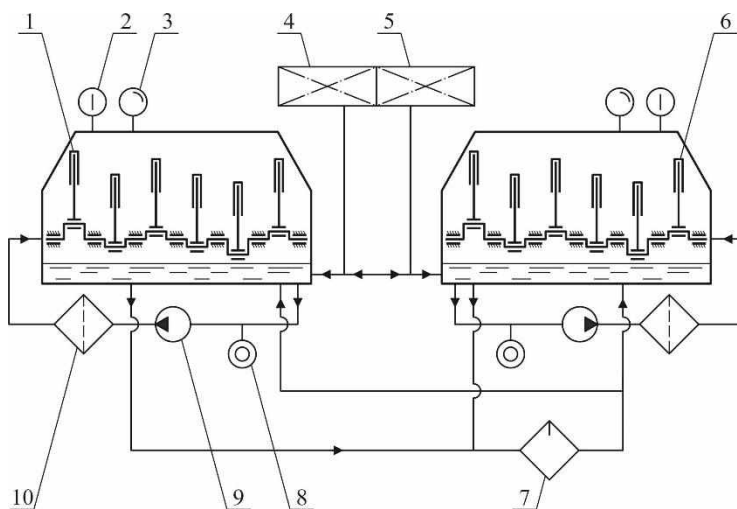


Рисунок 1 – Принципова схема системи циркуляційного мащення суднових дизелів Volvo Penta TMDA 163A:

1 – дизель № 1; 2 – термометр; 3 – манометр; 4, 5 – витратні цистерни циркуляційного мастила; 6 – дизель № 2; 7 – мастильний сепаратор; 8 – витратомір; 9 – циркуляційний насос; 10 – мастильний фільтр

Основні характеристики моторних мастил Castrol Vection 15W40 та Shell Rimula R4X 15W40, які використовувалися в системі циркуляційного мащення суднового дизеля Volvo Penta TMDA 163A, наведені у табл. 1.

Таблиця 1 – Основні характеристики моторних мастил

Параметр	Castrol Vection 15W40	Shell Rimula R4X 15W40
Клас SAE	15	15
Густина при 15 °С, кг/м ³	912	918
Кінематична в'язкість при 40°С, сСт	98	97
Кінематична в'язкість при 100°С, сСт	15,2	14,9
Температура спалаху, °С	217	212
Total Base Number, мгКОН/г	12,2	12,2

Дизелі перед початком експерименту мали сумірний період експлуатації, однаковий технічний стан основних контактних вузлів (колінчатого валу, вкладишів підшипників, паливної апаратури) та експлуатувалися на однакових навантаженнях (з неузгодженістю не більше $\pm 2,5\%$). Це дозволяло зробити висновок про їхню ідентичність один одному як перед початком експерименту, так і під час його проведення.

Показниками, за якими здійснювався контроль технічного стану та оцінка безвідмовності дизелів, були обрані:

загальне лужне число (TBN) моторного мастила, яке (відповідно до даних таблиці 1) для на початок проведення експерименту було однаковим для обох мастил;

тиск в циліндрі наприкінці процесу стиснення;

температура випускних газів.

Вимірювання TBN моторних мастил виконувалось за допомогою суднової лабораторії DIGI Used Oil TBN Analysis Kit. Результати вимірювань наведені в табл. 2. Далі, під час надання результатів дослідження моторні мастила довільно визначені як ММ № 1 та ММ № 2.

Таблиця 2 – Зміна загального лужного числа моторних мастил під час експлуатації

Час, t , год	ММ № 1		ММ № 2	
	TBN, мгКОН/г	V_{TBN} , (мгКОН/г)/год	TBN, мгКОН/г	V_{TBN} , (мгКОН/г)/год
1	12,20	–	12,30	–
200	12,00	0,10	11,95	0,175
400	11,75	0,125	11,55	0,20
600	11,35	0,20	11,10	0,225
800	10,95	0,20	10,60	0,25
1000	10,55	0,20	10,10	0,25

Як показник, що характеризує динаміку зміни TBN моторного мастила за певний проміжок часу, доцільно визначати швидкість зменшення його загального лужного числа

$$V_{TBN} = \frac{TBN_{n-1} - TBN_n}{t_n - t_{n-1}} \cdot 100;$$

де TBN_n , TBN_{n-1} , t_n , t_{n-1} – поточне та попереднє значення відповідних показників, співмножник 100 введено з метою кращої візуалізації значень швидкості зменшення TBN в зв'язку з їх невеликим абсолютним значеннями.

За результатами, що надані в табл. 2, побудовані діаграми, які відображають зміну TBN та V_{TBN} за часом (рис. 2).

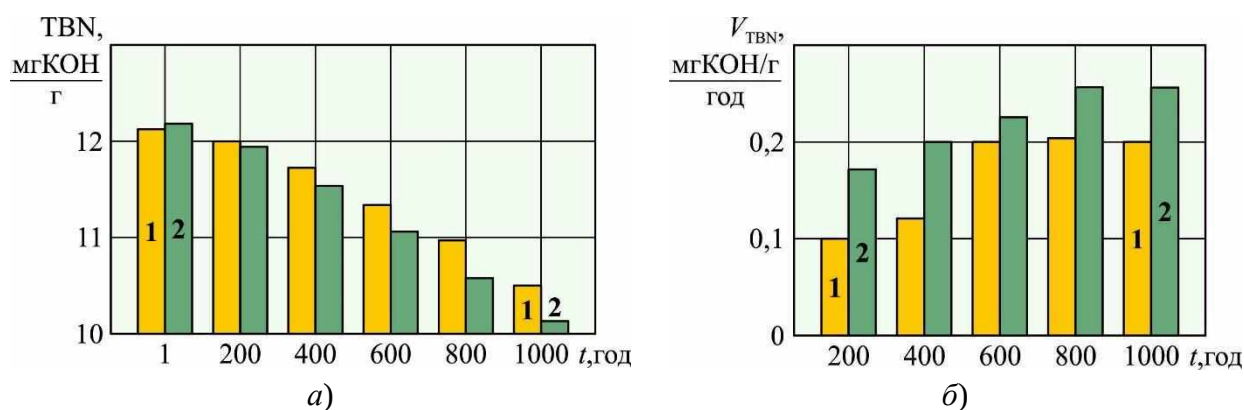


Рисунок 2 – Зміна характеристик моторного мастила під час експлуатації суднового дизеля Volvo Penta TMDA 163A:1 – ММ № 1; 2 – ММ № 1; а – TBN; б – V_{TBN}

Для якіснішого визначення зміни стану моторного мастила під час його експлуатації та оцінки його впливу на безвідмовність суднового дизеля, в береговій дослідницької лабораторії виконувався спектральний аналіз моторного мастила. При цьому визначалось кількість різних хімічних елементів, які потрапляють в мастило в результаті згоряння палива, зношування деталей дизеля, а також в результаті безпосереднього окислення самого мастила. Частину цих елементів (відповідно до їх функціональної дії, а саме – впливу на зносу деталей дизеля) відносять до категорії Wear Elements, частину (що впливає на забруднення мастила) – до категорії Contaminant Elements. Результати спектрографічного аналізу моторних мастил після 1000 годин експлуатації в циркуляційній системі дизеля Volvo Penta TMDA 163A наведено в табл. 3.

Таблиця 3 – Результати спектрографічного аналізу моторних мастил після 1000 годин експлуатації в циркуляційній системі дизеля Volvo Penta TMDA 163A

Wear Elements, мг/кг	ММ № 1	ММ № 2	Contaminant Elements, мг/кг	ММ № 1	ММ № 2
Al	0,5	2,0	B	14,0	11,5
Cr	0,5	1,0	Na	9,5	17,0
Cu	1,5	3,5	Si	6,0	7,0
Fe	4,0	9,5	V	22,0	55,5
Sn	0,5	0,5	Mo	2,0	3,5
Pb	1,0	1,5	Ni	3,5	16,5
Сума, Σ_w	8,0	18	Сума, Σ_c	57	111

За результатами таблиці 3 побудовані номограми, що наведені на рис. 3, 4.

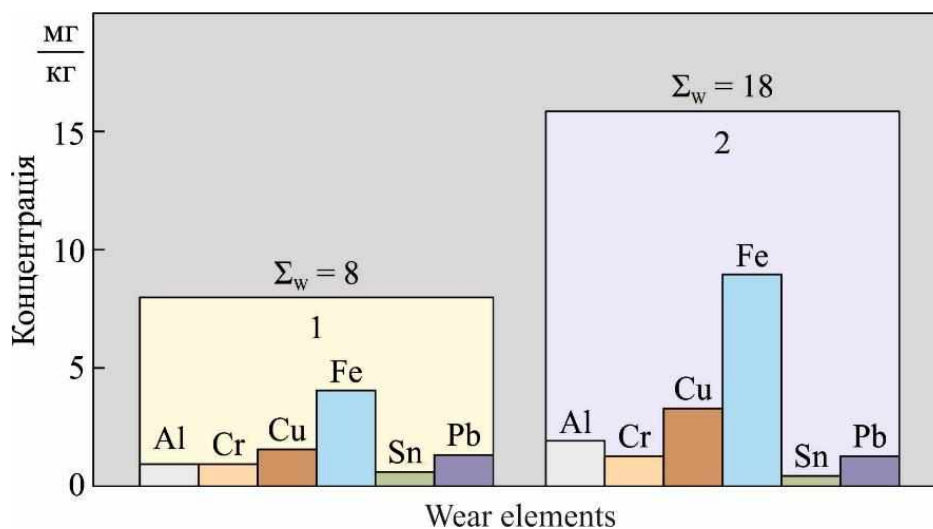


Рисунок 3 – Вміст механічних домішок в моторному мастї після 1000 часів експлуатації в циркуляційній системі мащення суднового дизеля Volvo Penta TMDA 163A: 1 – ММ № 1; 2 – ММ № 2

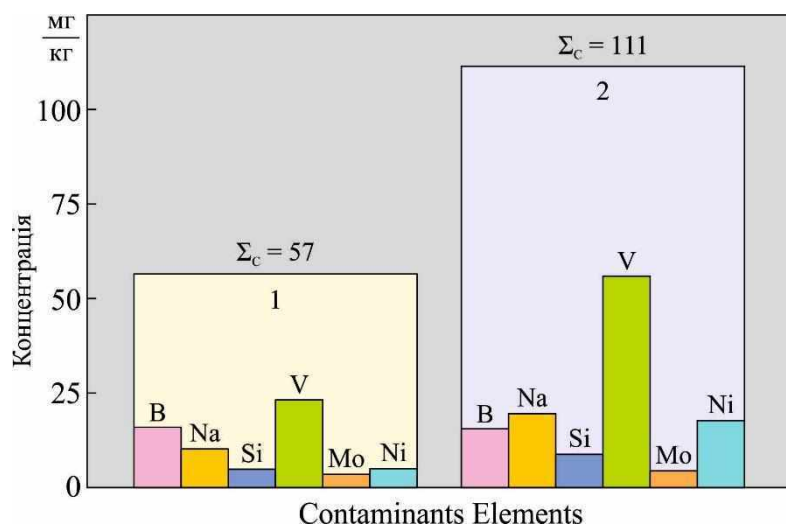


Рисунок 4 – Вміст забруднюючих домішок в моторному мастилі після 1000 часів експлуатації в циркуляційній системі мащення суднового дизеля

Volvo Penta TMDA 163A: 1 – ММ № 1; 2 – ММ № 2

Ще одним з показників, за допомогою якого можливо виконувати оцінку безвідмовності роботи суднових дизелів, є тиск наприкінці стиснення. Його зниження в окремих циліндрах дизеля свідчить про погіршення компресійних властивостей поршневих кілець, попадання металевих домішок на поверхню втулки циліндра та збільшення їх зносу. Зниження тиску стиснення по всіх циліндрах свідчить про погіршення процесу мащення та зниження рівня безвідмовності роботи дизеля. Під час експерименту значення тиску стиснення визначалося за допомогою суднової системи діагностики Doctor для кожного з циліндрів дизеля (за умови відключення подачі палива в даний циліндр). За отриманими значеннями розраховувалося середнє значення тиску стиснення по всіх циліндрах дизеля. Контроль тиску стиснення виконувався після 1-ї години роботи дизелів і далі через кожні 100 годин роботи. На тимчасових проміжках, у яких виконувався контроль тиску стискування (1, 100, 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 900, 1000 годин), дизелі працювали на різних, але однакових між собою навантаженнях (в діапазоні 120...280 кВт). Система діагностики Doctor дозволяє контролювати параметри робочого процесу дизеля з похибкою $\pm 1,0\%$. Отримані значення під час використання різних моторних мастил наведені в табл. 4.

Таблиця 4 – Зміна тиску стиснення суднового дизеля Volvo Penta TMDA 163A під час використання різних моторних мастил

Час, години	Тиск стиснення, МПа	
	ММ № 1	ММ № 2
1	9,05	9,05
200	8,98	8,94
400	8,96	8,91
600	8,93	8,82
800	8,92	8,71
1000	8,91	8,69

Примітка. Відповідно до інструкції з експлуатації номінальне значення тиску наприкінці процесу стиснення складає $p_{\text{ном}} = 9,0$ МПа.

Для кращої візуалізації результати, що надані в табл. 4, узагальнені як номограма, що показана на рис. 5.

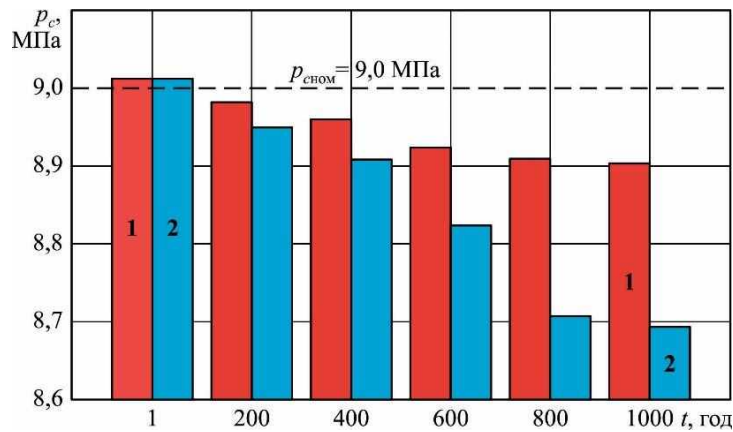


Рисунок 5 – Зміна тиску стиснення p_c суднового дизеля Volvo Penta TMDA 163A під час використання різних моторних мастил

Одним із параметрів роботи дизеля, що характеризує якість робочого процесу, є температура газів після циліндра t_r . Збільшення її значення за окремими циліндрами дизеля свідчить про погіршення процесу згоряння палива в циліндрі дизеля (у разі пізнього впорскування) або про підвищену кількість мастила, яка потрапляє на стінки циліндра та згоряє разом з паливом. Контроль температури газів після циліндра дизеля Volvo Penta TMDA 163A проводився за допомогою системи діагностики Doctor, що виконує вимірювання температури та виведення показань на комп'ютер центрального поста управління. Аналогічно вимірювання тиску наприкінці стиснення, вимірювання температури випускних газів проводилися в інтервалі 1...1000 годин роботи дизелів, при цьому дизелі експлуатувалися на різних, але рівних між собою навантаженнях. Протягом усього періоду проведення експерименту підтримувалися однаковими параметри в системах охолодження та змащування дизелів (температура мастила на вході в дизель, температура води на виході з дизеля, тиск мастила та води на вході в дизель). Значення t_r визначалися кожного циліндра дизеля. У таблиці 5 наведено середні значення c для всіх циліндрів. Додатково відзначимо, що під час експерименту відхилення значення температури випускних газів за окремими циліндрами від середнього значення за всіх циліндрів не перевищувало $\pm 10^\circ\text{C}$.

Таблиця 5 – Зміна температури випускних газів суднового дизеля Volvo Penta TMDA 163A під час використання різних моторних мастил

Час, години	Тиску стиснення, МПа	
	ММ № 1	ММ № 2
1	9,05	9,05
200	8,98	8,94
400	8,96	8,91
600	8,93	8,82
800	8,92	8,71
1000	8,91	8,69

Примітка: відповідно до інструкції з експлуатації максимальне значення температури випускних газів $t_{r\text{ max}}=320^\circ\text{C}$.

Для кращої візуалізації результати, що надані в таблиці 5, узагальнені як номограма, що показана на рис. 6.

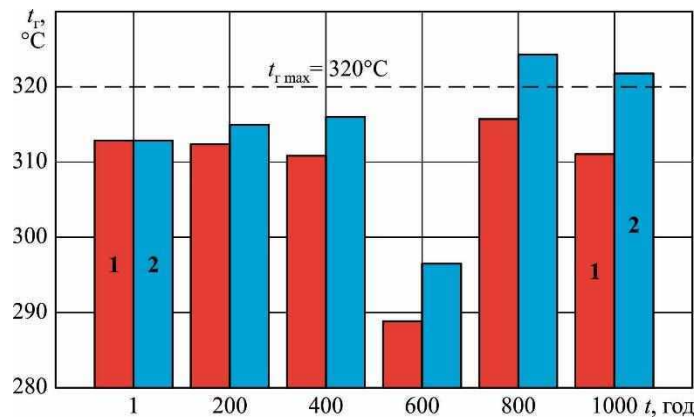


Рисунок 6 – Зміна температури випускних газів t_g суднового дизеля Volvo Penta TMDA 163A під час використання різних моторних мастил

Висновки. Як результат виконаних досліджень зробимо наступні висновки.

1. Безвідмовність роботи дизелів морських суден може бути оцінена технічним станом моторного мастила, що використовується в циркуляційній системі мащення.

2. Основними експлуатаційними показниками моторного мастила, які визначають та забезпечують безвідмовність роботи судових дизелів є загальне лужне число та швидкість його зменшення, а також вміст в моторному мастилі механічних домішок, що характеризують знос деталей дизеля та забруднення мастила.

3. Моторні мастила, що характеризуються меншою швидкістю зменшення загального лужного числа забезпечують більш якісне мащення судових дизелів, що відображається в підвищенні гідравлічної щільності та змащувальної здатності мастила. Підтвердженням цього (під час порівняння моторного мастила швидкість падіння загального лужного числа якого менш з іншим мастилом) стає більш повільне зниження тиску наприкінці процесу стиснення (що характеризує менший знос в парах тертя дизеля) та зменшення температури випускних газів (що характеризує більшу гідравлічну щільність в сполученні поршневе кільце – втулка циліндру).

4. Під час інтенсивного зменшення загального лужного числа моторного мастила погіршується його технічний стан, що виявляється в збільшенні механічних домішок (які є результатом його окислення або зносу деталей дизеля), що потрапляють до його об'єму. З часом це зменшує змащувальну здатність моторного мастила та знижує надійність роботи дизелів.

5. Особливу актуальність наведені результати мають для чотиритактних дизелів, мащення яких забезпечується загальною циркуляційною системою, в якій підшипники колінчатого валу та елементи циліндрової групи змащуються одним і тим же мастилом.

6. Наведені результати свідчать про можливість діагностування безвідмовності роботи судових дизелів через технічний стан моторного мастила, яке використовується в його системі циркуляційного мащення.

ЛІТЕРАТУРА

1. Голіков В.А., Голіков В.В., Онищенко О.А. Використання технологій методології науки у дослідженнях морського та внутрішнього водного транспорту // Водний транспорт. Збірник наукових праць. – 2022. – Вип. 1(35). – С. 5-14. doi.org/10.33298/2226-8553.2022.1.35.01.

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. Бажак О.В. Удосконалення методу оцінки показників надійності обладнання засобів водного транспорту // Водний транспорт. Збірник наукових праць. – 2021. – Вип. 3(34). – С. 148-159. doi.org/10.33298/2226-8553/2021.3.34.17.

4. 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.

5. 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.

6. 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.

7. Дакі О.А., Якусевич Ю.Г., Ліганенко В.В., Тришин В.В. Модель системи кондиціонування та охолодження повітря на сучасних нафтоналивних суднах і газозах // Водний транспорт. Збірник наукових праць. – 2022. – Вип. 1(35). – С. 121-127. doi.org/10.33298/2226-8553.2022.1.35.15.

8. Sagin S.V., Semenov O.V. Motor Oil Viscosity Stratification in Friction Units of Marine Diesel Motors // American Journal of Applied Sciences. – 2016. – Vol. 13. – Iss. 2. – P. 200-208. DOI: 10.3844/ajassp.2016.200.208.

9. Sagin S.V., Semenov O.V. Marine Slow-Speed Diesel Engine Diagnosis with View to Cylinder Oil Specification // American Journal of Applied Sciences. – 2016. – Vol. 13. – Iss. 5. – P. 618-627. DOI: 10.3844/ajassp.2016.618.627.

10. Zablotsky Yu.V., Sagin S.V. Enhancing Fuel Efficiency and Environmental Specifications of a Marine Diesel When using Fuel Additives // Indian Journal of Science and Technology. – 2016. – Vol. 9. – Iss. 46. – P. 353-362. DOI: 10.17485/ijst/2016/v9i46/107516.

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

12. Sagin S.V., Stoliaryk T.O. Comparative assessment of marine diesel engine oils // Austrian Journal of Technical and Natural Sciences. Scientific journal. – 2021. – № 7-8. – P. 29-35. https://doi.org/10.29013/AJT-21-7.8-29-35.

13. 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.

14. 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 of Maritime Science and Engineering. – 2022. – Vol. 10. – P. 1373. https://doi.org/10.3390/jmse10101373.

15. Sagin S., Karianskyi S., Madey V., Sagin A., Stoliaryk T., Tkachenko I. Impact of Biofuel on the Environmental and Economic Performance of Marine Diesel Engines // Journal of Maritime Science and Engineering. – 2023. – Vol. 11(1). – P. 120. https://doi.org/10.3390/jmse11010120.

16. Sagin S.V. Decrease in mechanical losses in high-pressure fuel equipment of marine diesel engines. Materials of the International Conference “Scientific research of the SCO countries: synergy and integration”. Part 1. August 31. – 2019. – Beijing, PRC. – P. 139-145. DOI: 10.34660/INF.2019.15.36258.

17. Sagin S., Madey V., Stoliaryk T. Analysis of mechanical energy losses in marine diesels // Technology Audit and Production Reserves. – 2021. – № 5 (2(61)). – P. 26-32. doi: http://doi.org/10.15587/2706-5448.2021.239698.

18. 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 of Maritime Science and Engineering. – 2022. – Vol. 10. – P. 1331. <https://doi.org/10.3390/jmse10091331>.

19. Sagin S., Karianskyi S., Madey V., Sagin A., Stoliaryk T., Tkachenko I. Impact of Biofuel on the Environmental and Economic Performance of Marine Diesel Engines // Journal of Maritime Science and Engineering. – 2023. – Vol. 11. – P. 120. <https://doi.org/10.3390/jmse11010120>

20. 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.

REFERENCES

1. Golikov V.A., Golikov V.V., Onishchenko O.A. Use of scientific and methodological technologies in maritime and inland waterway transport // Water transport. – 2022. – Vol. 1(35). – P. 5-14. doi.org/10.33298/2226-8553.2022.1.35.01.

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. Bazhak O.V. Method of increasing safety of shipping // Water transport. – 2021. – Vol. 3(34). – P. 148-159. doi.org/10.33298/2226-8553/2021.3.34.17.

4. Bohomia V., Bazhak O. // Water transport – 2022. – Vol. 1(35). – P. 25-32. doi.org/10.33298/2226-8553.2022.1.35.03.

5. 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.

6. Maydanevich S.B., Tymoshchuk O. Subjects and principles of the international maritime law // Water transport. – 2021. – Vol. 3(34). – P. 39-47. doi.org/10.33298/2226-8553/2021.3.34.05.

7. 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. – Vol. 1(35). – P. 121-127. doi.org/10.33298/2226-8553.2022.1.35.15.

8. Sagin S.V., Semenov O.V. Motor Oil Viscosity Stratification in Friction Units of Marine Diesel Motors // American Journal of Applied Sciences. – 2016. – Vol. 13. – Iss. 2. – P. 200-208. DOI: 10.3844/ajassp.2016.200.208.

9. Sagin S.V., Semenov O.V. Marine Slow-Speed Diesel Engine Diagnosis with View to Cylinder Oil Specification // American Journal of Applied Sciences. – 2016. – Vol. 13. – Iss. 5. – P. 618-627. DOI: 10.3844/ajassp.2016.618.627.

10. Zablotsky Yu.V., Sagin S.V. Enhancing Fuel Efficiency and Environmental Specifications of a Marine Diesel When using Fuel Additives // Indian Journal of Science and Technology. – 2016. – Vol. 9. – Iss. 46. – P. 353-362. DOI: 10.17485/ijst/2016/v9i46/107516.

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

12. Sagin S.V., Stoliaryk T.O. Comparative assessment of marine diesel engine oils // Austrian Journal of Technical and Natural Sciences. Scientific journal. – 2021. – № 7-8. – P. 29-35. <https://doi.org/10.29013/AJT-21-7.8-29-35>.

13. 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.

14. 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 of Maritime Science and Engineering. – 2022. – Vol. 10. – P. 1373. <https://doi.org/10.3390/jmse10101373>.

15. Sagin S., Karianskyi S., Madey V., Sagin A., Stoliaryk T., Tkachenko I. Impact of Biofuel on the Environmental and Economic Performance of Marine Diesel Engines // Journal of Maritime Science and Engineering. – 2023. – Vol. 11(1). – P. 120. <https://doi.org/10.3390/jmse11010120>.

16. Sagin S.V. Decrease in mechanical losses in high-pressure fuel equipment of marine diesel engines. Materials of the International Conference “Scientific research of the SCO countries: synergy and integration”. Part 1. August 31. – 2019. – Beijing, PRC. – P. 139-145. DOI. 10.34660/INF.2019.15.36258.

17. Sagin S., Madey V., Stoliaryk T. Analysis of mechanical energy losses in marine diesels // Technology Audit and Production Reserves. – 2021. – № 5 (2(61)). – P. 26-32. doi: <http://doi.org/10.15587/2706-5448.2021.239698>.

18. 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 of Maritime Science and Engineering. – 2022. – Vol. 10. – P. 1331. <https://doi.org/10.3390/jmse10091331>.

19. Sagin S., Karianskyi S., Madey V., Sagin A., Stoliaryk T., Tkachenko I. Impact of Biofuel on the Environmental and Economic Performance of Marine Diesel Engines // Journal of Maritime Science and Engineering. – 2023. – Vol. 11. – P. 120. <https://doi.org/10.3390/jmse11010120>

20. 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.

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

The results of research are given in relation to the assessment of failure-freeness of marine diesel engines based on the technical condition of the motor lubricant of circulating lubrication systems. The research was carried out on marine four-stroke Volvo Penta TMDA 163A diesel engines, which perform the functions of auxiliary engines of a specialized marine vessel with a deadweight of 10,850 tons, in the circulation lubrication systems of which motor lubricants with different characteristics were used. It has been proven that the main operating indicators of motor oil, which determine and ensure the trouble-free operation of marine diesel engines, are the total alkaline number and the rate of its reduction, as well as the content of mechanical impurities in the motor oil, which characterize the wear of diesel engine parts and contamination of the oil. It has been experimentally established that motor lubricants characterized by a lower rate of reduction of the total alkaline number provide better lubrication of marine diesel engines, which is reflected in an increase in the hydraulic density and lubricating capacity of the lubricant. Confirmation of this (when comparing motor oil, the rate of decrease of the total alkaline number of which is less with other oil) is a slower decrease in pressure at the end of the compression process (which characterizes less wear in the diesel friction pairs) and a decrease in the temperature of the exhaust gases (which characterizes a higher hydraulic density in the coupling piston ring - cylinder sleeve). It was also established that during an intensive decrease in the total alkalinity of motor oil, its technical condition deteriorates, which is manifested in an increase in mechanical impurities (which are the result of its oxidation or wear of diesel engine parts) entering its volume. Over time, this reduces the lubricating capacity of engine oil and reduces the reliability of diesel engines. The obtained results indicate the possibility of diagnosing the failure-free operation of marine diesel engines due to the technical condition of the motor lubricant used in its circulating lubrication system.

Keywords: reliability, performance indicators, marine means of transport, engine oil, reliability, lubrication system, marine diesel, maintenance, technical condition

*Мельник О.М., Калініченко Є.В., Бурлаченко Д.А.,
Никитюк П.В., Колесник О.В.*

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БЕЗПЕКИ СУДНОВОДІННЯ ШЛЯХОМ РОЗРОБЛЕННЯ СТРАТЕГІЙ ПОПЕРЕДЖЕННЯ ЗІТКНЕННЯ НА БАЗІ «МОДЕЛІ ВІДКРИТОГО МОРЯ»

Зіткнення суден становлять значний ризик для безпеки на морі, людських життів і навколишнього середовища. Для зменшення цього ризику, нагальною потребою є розробка та використання передових системи та технологій, які допомагають штурманському складу сучасних суден приймати ефективні рішення та уникати ситуацій надмірного зближення. Однією з таких систем є система запобігання зіткненням суден з використанням моделі відкритого моря (OSM), яка являє собою динамічне представлення морського середовища, включно з інформацією про параметри руху суден-цілей в реальному часі. У цій статті представлено огляд систем запобігання зіткненням суден з використанням моделювання, обговорюються їх компоненти, методологія та переваги. Підкреслюється необхідність розробки та впровадження систем запобігання зіткненням суден і негативний вплив потенційних наслідків зіткнень. Розглядаються основні компоненти системи, включаючи збір і попередню обробку даних. Обговорюється розвиток таких моделей, підкреслюється їх роль у представленні та візуалізації морського середовища, її природа в режимі реального часу. Представляється методологія оцінки ризику зіткнення, розрахунок параметрів руху суден, таких як найближча точка зближення і потенційні курси зіткнення. Описано процес прийняття рішень щодо уникнення зіткнення суден, включаючи генерування оповіщень, попереджень і рекомендованих дій. Крім того, в статті розглядається розробка користувацького інтерфейсу, який візуалізує модель відкритого моря, покращуючи взаємодію з користувачем і його обізнаність про ситуацію. Також підкреслюється важливість інтеграції системи з навігаційним обладнанням судна. Втім обумовлюється складність процесу впровадження систем запобігання зіткненням суден і необхідність дотримання морських правил і норм безпеки, експертної оцінки і дотримання галузевих стандартів для забезпечення ефективної і юридично сумісної системи. Загалом, використання систем запобігання зіткненням суден надає екіпажам суден потужний інструмент для оцінки ризиків зіткнення, прийняття обґрунтованих рішень і підвищення безпеки на морі в режимі реального часу і використання передових методологій сприяючих мінімізації потенційних наслідків зіткнення суден і захисту людських життів, майна і навколишнього середовища.

Ключові слова: моделювання, попередження зіткнень, модель відкритого моря, ризик зіткнення суден, потенційні курси зіткнення, безпека на морі, екіпаж судна, оцінка ризиків, безпека судноводіння, керування рухом.

Постановка проблеми. Проблеми, що загрожують безпеці судноплавства становлять значні ризики для життя людей, довкілля та майна. Зіткнення суден є серйозною загрозою, яку всупереч класичним методам, необхідно розв'язувати за допомогою розроблення та застосування передових систем і технологій. Одним із сучасних рішень є розроблення систем запобігання зіткненням суден з використанням моделювання, таких як система запобігання зіткненням суден з використанням моделі відкритого моря (OSM). Ця система здатна надавати допомогу штурманському складу сучасних суден приймати ефективні рішення щодо процесу розходження та уникнення небезпечних ситуацій, ситуацій надмірного

зближення з іншими суднами з метою зниження ризику зіткнень, покращення безпеки на морі та захисту навколишнього середовища.

Мета статті. Метою даної статті є всебічний розгляд та обговорення процесу впровадження систем запобігання зіткненню суден з використанням моделей для забезпечення безпеки судноводіння, зокрема переваги та потенціал, які вони надають для поліпшення безпеки судноплавства.

Виклад основного матеріалу. Моделювання процесів розходження суден та розробка систем запобігання зіткненню суден є важливим інструментом який включає в себе використання різноманітних даних та алгоритмів для оцінки ризиків зіткнення та розрахунку оптимальних та прогнозованих шляхів руху суден. Моделі попередження зіткнення - це комплексні системи аналізу та прогнозування, які використовуються для виявлення потенційних ризиків зіткнення між суднами і надання рекомендацій з уникнення цих ситуацій. Ці моделі базуються на зборі, обробці та аналізі різних видів даних, включаючи положення суден, шляхи руху, швидкості, прогнозні дані погоди та інші фактори, які можуть впливати на безпеку мореплавства.

Моделі попередження зіткнення використовуються для розрахунку параметрів, таких як найближча точка зближення (CPA - Closest Point of Approach), час до CPA, потенційні курси зіткнення та інші характеристики руху суден. Застосування алгоритмів та математичних моделей дозволяє оцінити ризик зіткнення та розробити рекомендації для судноводіїв та операторів систем руху суден з метою запобігання зіткненням.

Моделі попередження зіткнення зазвичай включають в себе велику кількість даних і використовують різні алгоритми, такі як алгоритми оптимізації маршруту, методи класифікації та прогнозування, щоб аналізувати та передбачати ситуації, що можуть призвести до зіткнення. Однак, варто пам'ятати, що моделі попередження зіткнення надають рекомендації та допомогу при прийнятті рішень, але остаточні рішення щодо безпеки мореплавства залежать від судновласників, операторів суден та державних органів прибережних країн.

Такі моделі відрізняється від існуючих засобів попередження зіткнення суден своєю точністю врахування географічних умов рейсу, рельєфу морського дна та інших факторів, що впливають на рух суден. Більш точний та реалістичний прогноз руху суден у відкритому морі, ширший спектр аналізу та прогнозування можливих сценаріїв та їх реалізації в режимі реального часу з візуалізацією даних. Такі моделі враховують широке коло потенційних ситуацій зіткнень, включаючи різні типи суден, різні швидкості, шляхи руху та інші параметри. Як результат завдяки рекомендованим діям вони допомагають підвищити ефективність та безпеку мореплавства, зменшити ризик зіткнень та полегшити прийняття рішень для судноводіїв та операторів систем руху суден.

Для реалізації системи запобігання зіткненню суден використовуються різні методи і технології. Одним з підходів є використання моделі відкритого моря (OSM – Open Sea Model), яка представляє динамічне морське середовище, яке включає інформацію про місцеположення, курси і швидкості суден. Загальний опис побудови системи запобігання зіткненням суден за допомогою моделі відкритого моря (OSM):

- Збір та отримання необхідних даних для моделі. Сюди входить інформація про місцеположення цілей, їх курси, швидкості та інші відповідні параметри які збираються з різних джерел, таких як дані AIS (автоматична ідентифікаційна система), радары, супутникові знімки або навіть змодельовані дані.

- Попередня обробка даних. На цьому етапі відбувається сегрегація та обробка отриманих даних, включаючи фільтрацію зашумлених або ненадійних даних, перетворення форматів даних, якщо це необхідно, а також забезпечення узгодженості та точності даних.

- Розробка моделі OSM, яка наочно представляє оточення та морське середовище. Ця модель повинна включати місцеположення суден, їхні курси і швидкості, отримані з даних. Модель повинна мати можливість оновлюватися в режимі реального часу по мірі надходження та опрацювання нових даних.

– Оцінка ризику зіткнення. Використовування моделі відкритого моря для оцінки ризику зіткнення між різними суднами. Це можна зробити шляхом розрахунку таких параметрів, як (CPA), (TCPA) і потенційний курс зіткнення на основі місцеположень, курсів і швидкостей суден. Для визначення потенційних сценаріїв зіткнення можуть використовуватися різні алгоритми і методи, такі як «пошук найближчого сусіда» або моделі оцінки ризику зіткнення.

– Прийняття рішень. На основі оцінки ризику система приймає рішення, щоб уникнути потенційних зіткнень. Це може включати генерування сповіщень про зіткнення або попереджень для судових операторів, пропонування коригування курсу або швидкості, або навіть надання автономних команд управління судовій навігаційній системі.

– Візуалізація та операторський інтерфейс, який візуалізує модель і надає оновлення в реальному часі про місцеположення суден, ризику зіткнення і рекомендовані дії. Цей інтерфейс повинен бути інтуїтивно зрозумілим і зручним для користувача, що дозволить судовим операторам швидко приймати обґрунтовані рішення.

– Інтеграція системи запобігання зіткненню суден з навігаційною системою судна, іншими системами та обладнанням на містку забезпечує безперебійний зв'язок і виконання рекомендованих дій для уникнення зіткнень (рис.1).

Важливо зазначити, що впровадження систем запобігання зіткненню суден (anti-collision systems) передбачає дотримання складних правил, міркувань безпеки та інтеграцію з існуючими навігаційними системами. В цьому зв'язку постійний контакт та консультації з експертами, дотримання галузевих стандартів мають вирішальне значення для забезпечення ефективності таких систем. Розвиток і можливість оновлення OSM у режимі реального часу є ключовими аспектами належного функціонування систем запобігання зіткненням, деякі чинники та перспективи цього розвитку представлені у табл.1.

Оновлення OSM в режимі реального часу і його здатність пристосовуватися до умов у відкритому морі, що змінюються, дозволяють системі запобігання зіткнень бути актуальною і ефективною в постійно змінюваному морському середовищі. Це важливий аспект для забезпечення безпеки судноплавства та запобігання аваріям.

Таблиця 1 – Особливості моделі відкритого моря (OSM)

Чинники	Особливості
Оновлення в режимі реального часу	Використання даних у реальному часі. OSM може отримувати дані в реальному часі від різних джерел, таких як системи AIS або радари, щоб оновлювати інформацію про положення та рух суден. Це дозволяє моделі відображати актуальні ситуації та зміни, що відбуваються у морському середовищі.
Адаптивність до умов, що змінюються	Однією з важливих особливостей OSM є його здатність адаптуватися до умов, що змінюються у відкритому морі. Модель може враховувати змінні фактори, такі як погода, течії, наявність інших суден та перешкод, та вносити відповідні зміни до подання морського середовища.
Обробка динамічних даних	OSM обробляє динамічні дані про суди та довкілля, щоб надати точну та актуальну інформацію про ризики зіткнень. Це включає розрахунки параметрів, таких як CPA (найближча точка зближення) та прогнозування можливих курсів зіткнень на основі поточних даних.
Інтеграція із системами навігації	OSM може інтегруватися із системами навігації на судні, що дозволяє операторам отримувати оновлену інформацію про ризики зіткнень та вживати відповідних заходів у реальному часі. Це підвищує безпеку та допомагає операторам приймати поінформовані рішення під час навігації.

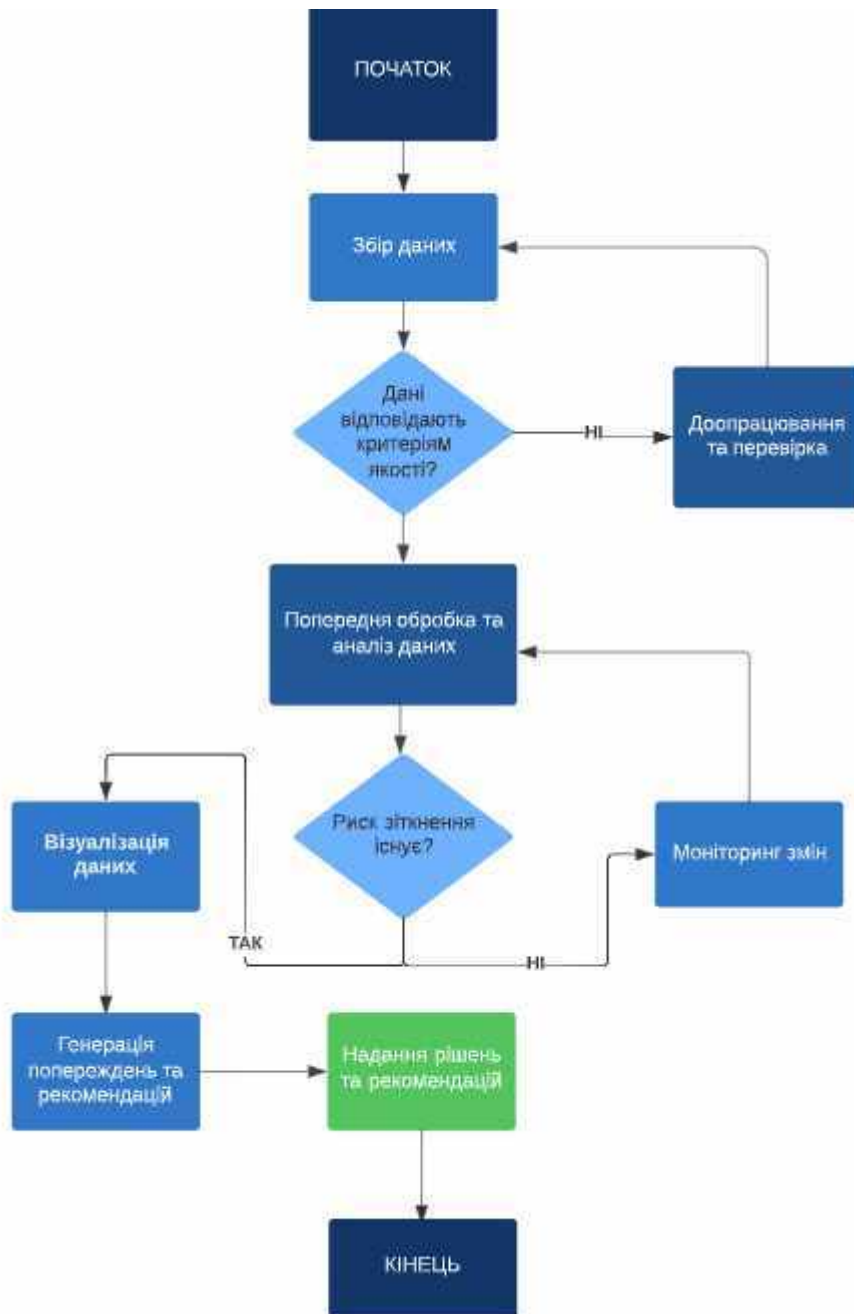


Рисунок 1 - Блок-схем функціоналу OSM

Методологія оцінки ризику зіткнень у системі запобігання зіткненням з використанням OSM включає розрахунок важливих параметрів, таких як найближча точка зближення (CPA) та потенційні курси зіткнень. Розглянемо цю методологію та процес прийняття рішень, заснований на результаті оцінки ризику зіткнень:

1. Розрахунок найближчої точки зближення (CPA). Найближча точка зближення (CPA) є крапкою на траєкторіях двох суден, де відстань між ними досягає мінімального значення. Розрахунок CPA ґрунтується на даних про положення та рух суден, які надходять до OSM. Система аналізує траєкторії суден та визначає момент, коли відстань між ними мінімальна. Це дозволяє оцінити найближчу можливу точку зближення та потенційний ризик зіткнення.

2. Розрахунок потенційних курсів зіткнень. Потенційні курси зіткнень є різними напрямками руху суден, які можуть призвести до зіткнення, якщо вони збережуться. Система запобігання зіткненням використовує інформацію про поточні курси та швидкості суден, щоб

обчислити потенційні курси зіткнень. Це дозволяє оцінити ймовірність зіткнення, якщо судна продовжать рух поточними траєкторіями.

3. Процес прийняття рішень. Результати оцінки ризику зіткнень, включаючи CPA та потенційні курси зіткнень, використовуються для створення попереджень та рекомендацій судноводіям. Система надає інформацію про потенційні загрози зіткнення та пропонує рекомендації щодо корекції курсу або швидкості судна, щоб зменшити ризик зіткнення. Ці попередження та рекомендації можуть бути надані через інтерфейс системи навігації на судні чи інші комунікаційні засоби.

Необхідно відмітити що штурманський склад суден може використовувати ці результати оцінки ризику зіткнень для прийняття поінформованих рішень та запобігання зіткненням. Також судноводії можуть вживати заходів, таких як зміна курсу або швидкості, щоб уникнути потенційно небезпечних ситуацій. Додатково можуть бути активовані системи автоматичного попередження та керування, які можуть сигналізувати про ризики зіткнень та автоматично вживати заходів для зменшення цього ризику.

Загалом методологія оцінки ризику зіткнень та процес прийняття рішень у системі запобігання зіткненням з використанням OSM забезпечують судноводіям інформацію та рекомендації для управління ризиком зіткнень та підвищення безпеки у морському середовищі.

Використання інтерфейсу, що візуалізує OSM, відіграє важливу роль у системі запобігання зіткненням. Цей інтерфейс надає судноводіям інформацію в режимі реального часу про становище суден, ризики зіткнень і рекомендовані дії, що підвищує їх обізнаність щодо ситуації та полегшує прийняття оперативних рішень, деякі особливості інтерфейсу, що візуалізує OSM:

1. Візуалізація суден: Інтерфейс відображає положення суден на морській карті в режимі реального часу. Судна позначаються на карті символами, що відображають їх тип та статус. Це дозволяє судноводіям наочно бачити поточне положення суден та їхню взаємодію.

2. Індикація ризику зіткнення: Інтерфейс може використовувати різні кольори або позначення для вказівки на потенційні ризики зіткнення між суднами. Наприклад, судна, які знаходяться поблизу CPA (найближчої точки зближення), можуть бути виділені яскравим кольором або маркером. Це дозволяє судноводіям швидко визначити потенційно небезпечні ситуації.

3. Попередження та рекомендації: Інтерфейс надає попередження та рекомендації на основі результатів оцінки ризику зіткнень. Це може містити попереджувальні повідомлення, звукові сигнали або візуальні індикатори. Крім того, інтерфейс може давати рекомендації щодо коригування курсу або швидкості судна для зменшення ризику зіткнення.

4. Додаткова інформація: Інтерфейс може надавати додаткову інформацію про кожне судно, таку як його ідентифікаційні дані, характеристики та запланований маршрут. Це допомагає судноводіям більш повно оцінити ситуацію та ухвалити поінформовані рішення.

Використання інтерфейсу, який візуалізує дані OSM, дозволяє судноводіям мати наочне уявлення про поточну ситуацію, виявляти наявність ризиків зіткнень і застосовувати рекомендовані дії. Це підвищує їх обізнаність та сприяє ухваленню оперативних рішень для забезпечення безпеки судноводіння.

Так як OSM є однією з найпоширеніших моделей уникнення зіткнення суден в її основі лежить ідея, що кожне судно рухається у власному напрямку і з власною швидкістю і може змінювати свій напрямок або швидкість, задля уникнення зіткнення з іншими суднами, тому в моделі використовується метод розрахунку очікуваного місцеположення кожного судна на основі його поточної позиції, швидкості і курсу, а також параметрів руху інших суден. Модель розраховує відстань між кожною парою суден і визначає, чи існує загроза зіткнення, у випадку якщо вона існує, модель надає рекомендації щодо зміни швидкості та напрямку руху кожного з суден, задля уникнення зіткнення.

Існує багато варіацій та вдосконалень моделей попередження зіткнень, і численні компанії та організації ведуть розробку власних моделей та програмного забезпечення для уникнення зіткнення суден у морі. Однак всі вони базуються на математичних формулах і алгоритмах для визначення найкращих рішень.

Одним з найпоширеніших і точних методів є формула Вінсента, яка дозволяє точно розрахувати відстань між двома точками на поверхні Землі, використовуючи довжину і азимут геодезичної лінії між ними та є більш точною, ніж простіші формули, які передбачають, що Земля є ідеальною сферою і можуть бути виражені в різних формах, але узагальнена має наступний вигляд:

Нехай a - велика піввісь Землі, b - мала піввісь Землі, $f = 1 - b/a$ (приблизна величина стиснення Землі), $L = \lambda_2 - \lambda_1$ (різниця довгот), $U_1 = \arctan((1 - f) \times \tan(\varphi_1))$ (приведена широта для точки 1), $U_2 = \arctan((1 - f) \times \tan(\varphi_2))$ (приведена широта для точки 2), $\lambda = L$ (початкове наближення для довготи), $\lambda_{i+1} = \lambda + \Delta\lambda$ (нова довгота, обчислена ітераційно), тоді

$$\sin \sigma = \sqrt{(\cos U_2 \times \sin \lambda_{i+1})^2 + (\cos U_1 \times \sin U_2 - \sin U_1 \times \cos U_2 \times \cos \lambda_{i+1})^2} \quad (1)$$

$$\cos \sigma = \sin U_1 \times \sin U_2 + \cos U_1 \times \cos U_2 \times \cos \lambda_{i+1} \quad (2)$$

$$\sin \alpha = \cos U_1 \times \cos U_2 \times \sin \lambda_{i+1} / \sin \sigma \quad (3)$$

$$\cos^2 \alpha = 1 - \sin^2 \alpha \quad (4)$$

$$\cos 2\sigma_m = \cos \sigma - 2 \times \sin U_1 \times \sin U_2 / \cos^2 \alpha \quad (5)$$

$$C = f / 16 \times \cos^2 \alpha \times (4 + f \times (4 - 3 \times \cos^2 \alpha)) \quad (6)$$

$$\Delta\lambda = L + (1 - C) \times f \times \sin \alpha * (\sigma + C \times \sin \sigma \times (\cos 2\sigma_m + C \times \cos \sigma \times (-1 + 2 \times \cos^2 2\sigma_m))) \quad (7)$$

$$s = b \times (1 - f) \times A \text{ (відстань між точками)} \quad (8)$$

де φ_1 і λ_1 - широта і довгота першої точки, φ_2 і λ_2 - широта і довгота другої точки, $\Delta\lambda$ - зміна довготи, s - відстань між двома точками, A - азимут (напрямок руху) від першої точки до другої точки, σ - центральний кут між двома точками на поверхні Землі, α - початковий азимут (напрямок).

Наприклад, для того щоб обчислити відстань між двома точками на поверхні Землі за формулами Вінсента, необхідно послідовно розв'язати систему рівнянь за допомогою методу ітерацій:

- 1) Обчисліть приведену широту U_1 та U_2 для кожної точки;
- 2) Використовуючи початкове наближення для довготи λ , обчисліть нову довготу λ_{i+1} ;
- 3) Обчисліть центральний кут σ , а також початковий азимут α ;
- 4) Використовуючи σ та α , обчисліть відстань s між точками.

Якщо отримане значення s достатньо близьке до заданої для пошуку відстані, воно вважається остаточним результатом. Якщо ні, використовується s для обчислення нового наближення для довготи λ і повторюються кроки 2-4, поки не досягнете потрібної точності.

Формула Вінсента є більш точним способом розрахунку відстані між двома точками на поверхні Землі порівняно з простішими формулами, які передбачають ідеальну сферичну форму Землі, що є важливим при розробці моделей та алгоритмів для уникнення зіткнень суден у морі.

Використання формули Вінсента дозволяє точніше визначити відстань між судами та розрахувати оптимальні шляхи для уникнення зіткнень, це особливо важливо в умовах навігації у вузькостях, районах з інтенсивним рухом суден або підходах до ділянок з високою щільністю руху таких як канали та протоки, та загалом надає такі переваги:

1. Підвищення точності розрахунків. Використання більш точних математичних моделей дозволяє отримати більш точні результати при розрахунках, пов'язаних з положенням, шляхами та відстанями між суднами. Це важливо для точної оцінки ризиків зіткнень та визначення оптимальних маршрутів, які допоможуть уникнути потенційних конфліктів;

2. Врахування реальних географічних умов. Врахування форми Землі та реальних географічних умов, таких як нерівномірна поверхня, рельєф дна моря та інші фактори, дозволяє отримати більш точні результати при прогнозуванні руху суден. Це особливо важливо в умовах навігації у вузьких водах або в областях зі значною морською активністю;

3. Покращення безпеки мореплавання. Використання більш точних математичних моделей допомагає забезпечити вищий рівень безпеки мореплавання. З точними розрахунками відстаней та шляхів суден можна своєчасно виявити потенційні ризики зіткнень і вжити відповідні заходи для їх уникнення;

4. Забезпечення ефективності та оптимізація руху суден. Використання більш точних математичних моделей дозволяє покращити ефективність руху суден і зменшити затримки. Оптиміальне планування маршрутів та уникнення зіткнень сприяє зниженню витрат палива, зменшенню часу подорожі та підвищенню загальної ефективності експлуатації судна.

Висновки. Системи попередження зіткнень є важливим інструментом для підвищення безпеки мореплавання, адже вони допомагають зменшувати ризик зіткнень та створюють умови для прийняття ефективних рішень щодо їх унеможливлення. Однак важливо зазначити, що впровадження систем запобігання зіткненням на основі моделювання вимагає складних заходів, дотримання правил і положень, необхідності консультування з експертами та інтеграції таких системи з наявним навігаційним обладнанням, щоб забезпечити їх ефективність та відповідність галузевим стандартам.

Шляхом використання передових технологій і даних у реальному часі, системи запобігання зіткненням з використанням моделей являють собою перспективне рішення для підвищення безпеки судноплавства, забезпечення високої точності прогнозування маршрутів руху суден та оцінку ризиків зіткнень що дозволяє операторам та розробникам систем вживати відповідних заходів для забезпечення безпеки, вчасного реагування на потенційні конфліктні ситуації та покращити ефективність систем підтримки рішень, що сприяє безпеці мореплавання та захисту морського середовища.

ЛІТЕРАТУРА

1. Viljanen, Mika. (2023). How to Ensure Safe Navigation: Navigation Safety Regulation in MASS. 10.1007/978-3-031-24740-8_8.
2. Parameshwaran, Aditya & Wang, Yue. (2023). Safety Verification and Navigation for Autonomous Vehicles Based on Signal Temporal Logic Constraints. 10.4271/2023-01-0113.
3. Yuan, Peiyin & Wang, Pingyi & Zhao, Yu. (2021). Innovative Method for Ship Navigation Safety Risk Response in Landslide-Induced Wave. *Advances in Civil Engineering*. 2021. 1-10. 10.1155/2021/6640548.
4. Quangen, Fang & Shenping, Hu & Yongtao, Xi. (2007). Study on Risk Assessment and Control of Ship Safety Navigation. 55 - 59. 10.1049/cp:20070441.
5. Wang, Lei & Liu, Qing & Dong, Shiyu & Guedes Soares, Carlos. (2019). Effectiveness assessment of ship navigation safety countermeasures using fuzzy cognitive maps. *Safety Science*. 117. 352-364. 10.1016/j.ssci.2019.04.027.
6. Gucma, Stanisław & Slaczka, Wojciech & Bąk, Andrzej. (2022). Assessment of ship manoeuvring safety in waterway systems by relative navigational risk. *Archives of Transport*. 64. 109-124. 10.5604/01.3001.0016.1230.

7. Ari, Ibrahim & Aksakalli, Vural & Aydogdu, Volkan & Kum, Serdar. (2013). Optimal ship navigation with safety distance and realistic turn constraints. *European Journal of Operational Research*. 229. 707–717. 10.1016/j.ejor.2013.03.022.

8. Burmaka, I., Vorokhobin I., Melnyk, O., Burmaka, O., Sagin, S. (2022) Method of Prompt Evasive Maneuver Selection to alter Ship's Course or Speed, *Transactions on Maritime Science*, 11(1). <https://doi.org/10.7225/toms.v11.n01.w01>.

9. Melnyk O., Onishchenko O., Onyshchenko S., Voloshyn A., Kalinichenko Y., Rossomakha O., Naleva G., Rossomakha O. (2022). Autonomous Ships Concept and Mathematical Models Application in their Steering Process Control. *TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*, Vol. 16, No. 3, pp. 553-559. doi:10.12716/1001.16.03.18.

REFERENCES

1. Viljanen, Mika. (2023). How to Ensure Safe Navigation: Navigation Safety Regulation in MASS. 10.1007/978-3-031-24740-8_8.

2. Parameshwaran, Aditya & Wang, Yue. (2023). Safety Verification and Navigation for Autonomous Vehicles Based on Signal Temporal Logic Constraints. 10.4271/2023-01-0113.

3. Yuan, Peiying & Wang, Pingyi & Zhao, Yu. (2021). Innovative Method for Ship Navigation Safety Risk Response in Landslide-Induced Wave. *Advances in Civil Engineering*. 2021. 1-10. 10.1155/2021/6640548.

4. Quangen, Fang & Shenping, Hu & Yongtao, Xi. (2007). Study on Risk Assessment and Control of Ship Safety Navigation. 55 - 59. 10.1049/cp:20070441.

5. Wang, Lei & Liu, Qing & Dong, Shiyu & Guedes Soares, Carlos. (2019). Effectiveness assessment of ship navigation safety countermeasures using fuzzy cognitive maps. *Safety Science*. 117. 352-364. 10.1016/j.ssci.2019.04.027.

6. Gucma, Stanisław & Slaczka, Wojciech & Bąk, Andrzej. (2022). Assessment of ship manoeuvring safety in waterway systems by relative navigational risk. *Archives of Transport*. 64. 109-124. 10.5604/01.3001.0016.1230.

7. Ari, Ibrahim & Aksakalli, Vural & Aydogdu, Volkan & Kum, Serdar. (2013). Optimal ship navigation with safety distance and realistic turn constraints. *European Journal of Operational Research*. 229. 707–717. 10.1016/j.ejor.2013.03.022.

8. Burmaka, I., Vorokhobin I., Melnyk, O., Burmaka, O., Sagin, S. (2022) Method of Prompt Evasive Maneuver Selection to alter Ship's Course or Speed, *Transactions on Maritime Science*, 11(1). <https://doi.org/10.7225/toms.v11.n01.w01>.

9. Melnyk O., Onishchenko O., Onyshchenko S., Voloshyn A., Kalinichenko Y., Rossomakha O., Naleva G., Rossomakha O. (2022). Autonomous Ships Concept and Mathematical Models Application in their Steering Process Control. *TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*, Vol. 16, No. 3, pp. 553-559. doi:10.12716/1001.16.03.18.

Melnyk O.M., Kalinichenko E.V., Nykytyuk P.V., Kolesnyk O.V.

ENSURING SAFETY OF NAVIGATION BY DEVELOPMENT OF COLLISION AVOIDANCE STRATEGIES ON THE BASIS OF «OPEN SEA MODEL»

Ship collisions pose a significant risk to maritime safety, human life and the environment. To reduce this risk, there is an urgent need to develop and use advanced systems and technologies that help navigators of modern ships make effective decisions and avoid situations of excessive proximity. One of such systems is a collision avoidance system using the Open Sea Model (OSM), which is a dynamic representation of the marine environment, including information about the movement parameters of target vessels in real time. This article provides an overview of modeling-

based ship collision avoidance systems, discussing their components, methodology, and advantages. The need to develop and implement ship collision prevention systems and the negative impact of potential collision consequences are emphasized. The main components of the system, including data collection and preliminary processing, are considered. The development of such models is discussed, their role in representing and visualizing the marine environment and its nature in real time is emphasized. The methodology for assessing the risk of collision, calculation of vessel movement parameters, such as the closest point of convergence and potential collision courses, is presented. The decision-making process for avoiding a collision is described, including the generation of alerts, warnings, and recommended actions. In addition, the article discusses the development of a user interface that visualizes the high seas model, improving user interaction and situational awareness. The importance of integrating the system with the ship's navigation equipment is also emphasized. However, the complexity of the process of implementing ship collision avoidance systems and the need to comply with maritime safety rules and regulations, expert assessment and compliance with industry standards to ensure an effective and legally compliant system are stressed. In general, the use of collision avoidance systems provides vessel crews with a powerful tool for assessing collision risks, making informed decisions and improving maritime safety in real time and using advanced methodologies to help minimize the potential consequences of a collision and protect human life, property and the environment.

Keywords: modeling, collision prevention, open seas model, ship collision risk, potential collision courses, maritime safety, ship crew, risk assessment, navigation safety, traffic control.

УДК 656.61.052

doi.org/10.33298/2226-8553.2023.1.37.08

Калініченко Т. В.

УРАХУВАННЯ СУДНА, ЩО ЗАВАЖАЄ, ПІД ЧАС РОЗХОДЖЕННЯ СУДНА З СУДНОМ-ЦІЛЛЮ НА МАЛИХ ВІДСТАНЯХ

У цій статті розглянуто випадок розходження свого судна з судном-ціллю за наявності ще й іншого судна, що заважає. В стиснених водах з інтенсивним судноплаством виникають ситуації, коли під час небезпечного зближення судна і судна-цілі в районі передбачуваного розходження знаходиться судно, що заважає, і яке обмежує можливості маневрування судна. Для ситуації, коли крім небезпечної цілі в районі маневрування знаходяться судно, що заважає, і при цьому звичайно навігаційна небезпека, запропоновано процедуру вибору безпечного курсу ухилення свого судна від судна-цілі. Отримано аналітичні вирази для вибору безпечного курсу ухилення від судна-цілі в обох випадках.

Ключові слова: безпека судноводіння, попередження зіткнення суден, урахування судна, що заважає

Постановка проблеми. Забезпечення безпеки судноводіння у стиснених водах є однією з найактуальніших проблем суднопластва, причому особливо актуальними є питання запобігання зіткненню суден.

Найчастіше в стиснених водах з інтенсивним судноплаством виникають ситуації, коли під час небезпечного зближення судна і цілі в районі передбачуваного розходження знаходиться судно, що заважає, і яке обмежує можливості маневрування судна. Тому в таких

ситуаціях вибір безпечного маневру розходження повинен враховувати судно, що заважає, чому присвячена дана публікація.

Аналіз останніх досягнень і публікацій. У роботі [1] вказується на необхідність формалізації взаємодії суден у ситуації небезпечного зближення, в ній також показано, що основним способом опису взаємодії пари суден, що небезпечно зближуються, є принцип бінарної координації, який використаний в МПЗЗС-72. У роботі також запропоновано їхню формалізацію. У роботах [2, 3] розглянуто питання бінарної координації та міра їхньої ефективності.

Як зазначається у роботі [4], у ситуаціях надмірного зближення суден правилами МПЗЗС-72 їхня взаємодія, згідно з правилом 17, не координується, однак, для попередження їх зіткнень запропоновані екстрені стратегії розходження, структура яких залежить не лише від особливостей ситуації зближення, а й від поведінки цілі у процесі розходження.

У роботах [5-7] розглянуто питання врахування наявних у районі подальшого розходження навігаційних перешкод. У роботі [5] запропоновано процедуру оцінки можливості розходження судна з небезпечною ціллю за наявності навігаційної перешкоди, для чого отримано умову існування множини допустимих маневрів розходження з урахуванням навігаційних небезпек. Різні типи навігаційних небезпек формалізовано в роботі [6], до яких належать точкова, лінійно розподілена і складно розподілена, а також запропоновано процедури вибору безпечного маневру розходження для кожного типу навігаційних небезпек. Аналітичну процедуру врахування навігаційних небезпек при досягненні можливого повороту судна на курс виходу у бік програмної траєкторії руху запропоновано у роботі [7]. Аналіз запропонованих процедур у зазначених роботах показав, що їх реалізація в судових навігаційних системах вимагатиме значних зусиль та витрат для апроксимації меж навігаційних небезпек.

У роботі [8] пропонується врахування навігаційних небезпек шляхом використання електронних карток, на яких відображається процес розходження.

У роботах [9-11] зазначається, що процес керування рухом судна є багатовимірним з нелінійними та нестаціонарними характеристиками, тому завдання вибору оптимального маневру розходження є дуже складним, причому воно носить ігровий характер. Зазначені роботи мають теоретичний характер, розглядаючи можливість опису процесу розходження суден методами диференціальних ігор.

Розуміння змісту автономної судової системи ухилення від зіткнення СА (Collision avoidance) та її теоретичне обґрунтування викладається у роботі [12]. Спільно з алгоритмом ухилення від зіткнення розглянуто додатково Правила ухилення від зіткнення COLREG. Розглядаються вимоги до автономної навігації з урахуванням чинників, які впливають процес ухилення від зіткнення. У роботі вказується, що дослідження автоматизації керування судном можуть бути представлені в класичній або комп'ютерній категоріях. Класична техніка заснована на математичних моделях та алгоритмах. Програми ґрунтуються на використанні штучного інтелекту AI (Artificial Intelligence). Областю AI для систем автономного ухилення від зіткнення, що розглядаються у статті, є еволюційні алгоритми, логіка фуззі, експертні методи, нейромережа NN (Neural networks) та комбінація цих методів – гібридні системи (hybrid system). Маючи теоретичний напрям, робота не містить рекомендацій до практичного судоводіння.

Мета статті. Метою статті є процедура вибору маневру розходження з урахуванням судна, що заважає, під час розходження судна з ціллю на малих відстанях.

Виклад основного матеріалу. Одним з чинників, що впливає на вибір оптимального курсу ухилення за надмірного зближення суден, є наявність в районі маневрування судна, що заважає.

Припустимо, судно $V_{S_{op}}$, що оперує, ухиляється від небезпечної цілі Trg_{den} оптимальним курсом, що дорівнює пеленгу з цілі на судно, що оперує, тобто $K_{yop} = \alpha(t)$. Однак є судно V_{S_m} , що заважає, яке небезпечно зближується з судном, що оперує, під час

руху останнього $V_{s_{op}}$ курсом K_{yop} , як показано на рис. 1. Як випливає із вказаного рисунка, дистанція найкоротшого зближення судна, що оперує, з судном, що заважає, менше гранично допустимого значення. Граничними відносними курсами по відношенню до судна, що заважає, є K_{yotpr} і K_{otyst} .

Як випливає з рис. 1, значення граничних відносних курсів K_{yotpr} і K_{otyst} визначаються з наступних співвідношень:

$$K_{otyst} = \alpha_o(t) + \arcsin \frac{R}{D_o(t)},$$

$$K_{yotpr} = \alpha_o(t) - \arcsin \frac{R}{D_o(t)},$$

де $\alpha_o(t)$ і $D_o(t)$ – відповідно пеленг і дистанція до судна, що заважає.

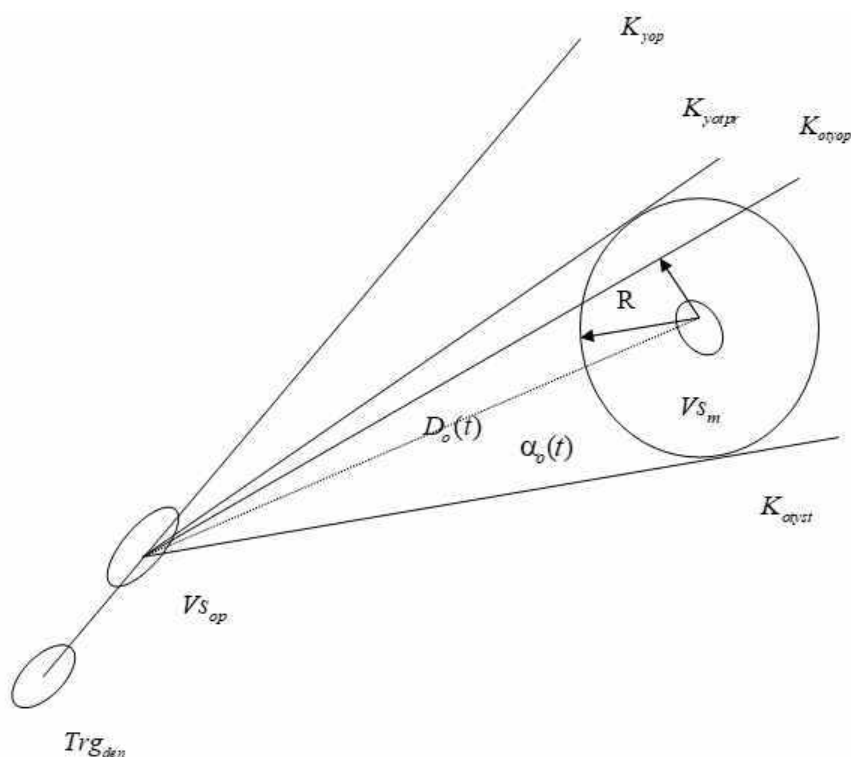


Рисунок 1 – Вибір курсу розходження за наявності судна, що заважає

Підмножина M_n істинних курсів судна, що оперує, які є неприпустимими через небезпечне зближення з судном, що заважає, визначається співвідношенням:

$$M_n = \{K_{ym}^*, K_{ym}^*\},$$

де K_{ym}^* і K_{ym}^* – верхня та нижня межі допустимих істинних курсів.

Якщо врахувати співвідношення між відносними та істинними курсами, можна отримати рівності:

$$K_{ym}^* = K_{otyst} + \arcsin[\rho^{-1} \sin(K_c - K_{otyst})],$$

$$K_{ym*} = K_{yotpr} + \arcsin[\rho^{-1} \sin(K_c - K_{yotpr})].$$

Таким чином, допустимими курсами ухилення судна, що оперує, K_y відносно судна, що заважає, є ті, які задовольняють умову:

$$K_y \notin \{K_{ym}^*, K_{ym*}\}.$$

Очевидно, найближче до оптимального курсу ухилення K_{yop} будуть граничні допустимі курси K_{ym}^* і K_{ym*} . В якості курсу відхилення K_y судна, що оперує, за наявності судна, що заважає, слід вибрати гранично-допустимий курс, мінімально відмінний від значення K_{yop} . Аналітично це виявляється таким чином:

$$K_y = K_{ym}^*, \quad \text{при} \quad \left| K_{ym}^* - K_{yop} \right| < \left| K_{ym*} - K_{yop} \right|,$$

$$K_y = K_{ym*}, \quad \text{при} \quad \left| K_{ym}^* - K_{yop} \right| \geq \left| K_{ym*} - K_{yop} \right|.$$

У ситуаціях, які характеризуються одночасно наявністю навігаційних небезпек і суден, вибір курсу ухилення, що мінімально відрізняється від оптимального, проводиться аналогічно.

Припустимо, є лінійна розподілена небезпека і судно, що заважає (рис. 2). Для попередження посадки судна, що оперує, на міліну отримані граничні істинні курси $\tilde{K}_{ypr}$ і $\tilde{K}_{yst}$, які розраховуються за відомих координат точок зламу А і В (рис. 2). Для того щоб не зіткнутися з судном, що заважає, необхідно за раніше отриманими формулами розрахувати граничні допустимі курси K_{ym}^* і K_{ym*} . А для того, щоб безпечно розійтися з судом, що заважає, і не потрапити на міліну необхідно, щоб курс ухилення судна, що оперує K_y задовольняв наступним вимогам:

$$K_y \notin \{K_{ym*}, K_{ym}^*\},$$

$$K_y \notin \{\tilde{K}_{ypr}, \tilde{K}_{yst}\}.$$

Тоді оптимальним курсом ухилення $\tilde{K}_{yop}$ є курс, який, по-перше, не належить об'єднанню підмножин $\{K_{ym*}, K_{ym}^*\}$ і $\{\tilde{K}_{ypr}, \tilde{K}_{yst}\}$, а також, по-друге, має мінімальне відхилення від курсу K_{yop} , що дорівнює пеленгу з цілі на судно, тобто:

$$\tilde{K}_{yop} \notin (\{\tilde{K}_{ypr}, \tilde{K}_{yst}\} \cup \{K_{ym*}, K_{ym}^*\}),$$

$$Abs(\tilde{K}_{yop} - K_{yop}) = \min.$$

На рис. 2 якщо підмножини курсів $\{K_{ym*}, K_{ym}^*\}$ і $\{\tilde{K}_{ypr}, \tilde{K}_{yst}\}$ не перетинаються, тобто $\{\tilde{K}_{ypr}, \tilde{K}_{yst}\} \cap \{K_{ym*}, K_{ym}^*\} = \emptyset$, то оптимальним курсом $\tilde{K}_{yop}$ є граничний курс $\tilde{K}_{yst}$.

Висновки

1. Розглянуто випадок розходження судна з ціллю за наявності судна, що заважає.
2. Запропоновано процедуру вибору безпечного курсу ухилення, коли крім небезпечної цілі в районі маневрування знаходиться судно, що заважає, і навігаційна небезпека.
3. Отримано аналітичні вирази для вибору безпечного курсу ухилення в обох випадках.

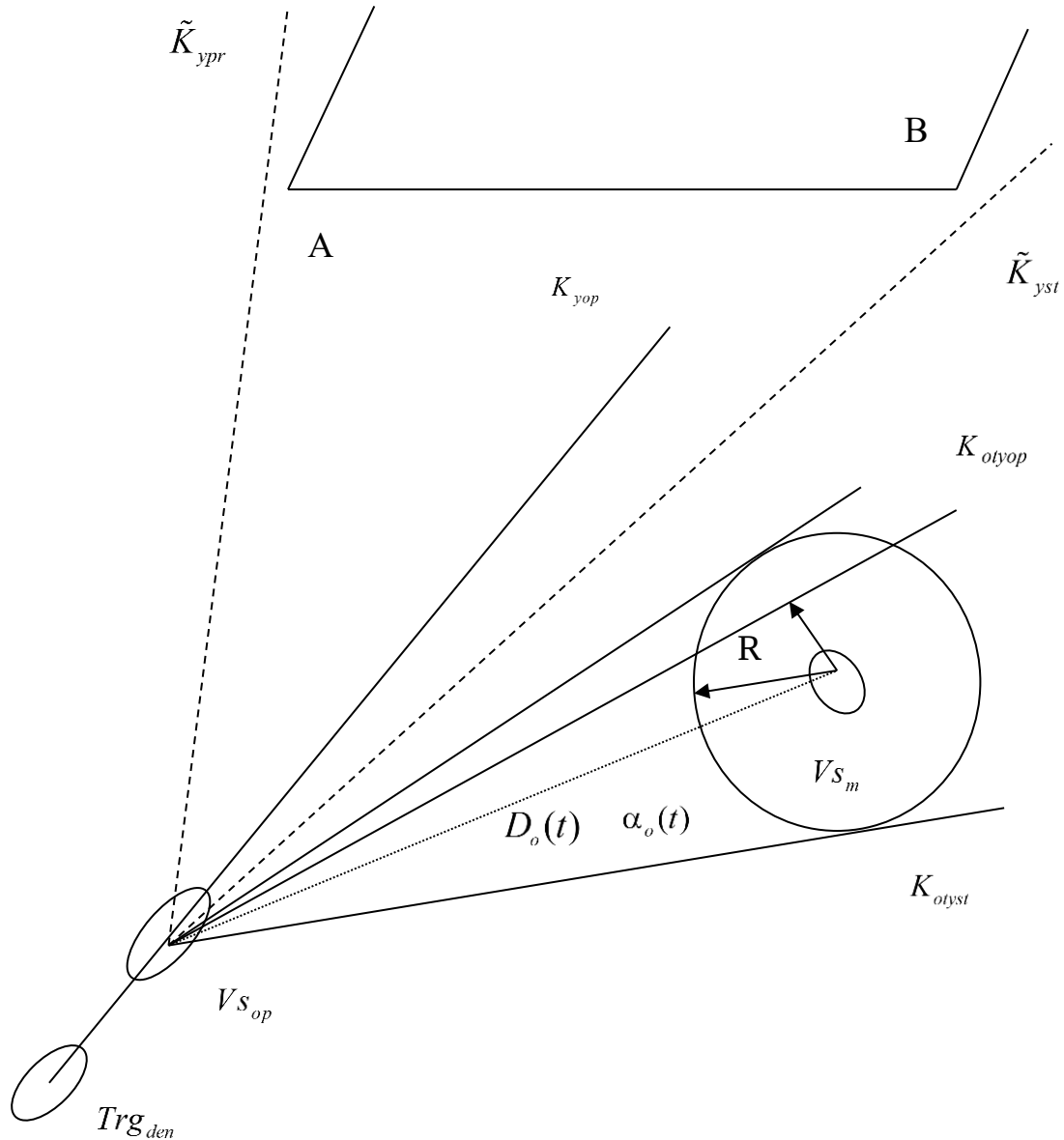


Рисунок 2 – Вибір курсу розходження за наявності судна, що заважає, та навігаційної розподіленої небезпеки

ЛІТЕРАТУРА

1. Пятаков Э. Н. Взаимодействие судов при расхождении для предупреждения столкновения / Пятаков Э. Н., Бужбецкий Р. Ю., Бурмака И. А., Булгаков А. Ю. – Херсон: Гринь Д.С., 2015. – 312 с.
2. A. Volkov. Appraisal of the Coordinability of the Vessels for Collision Avoidance Maneuvers by Course Alternation / A. Volkov, E. Pyatarov & A. Yakushev// Activites in Navigation.-Adam Weintrit/ – 2015, P. 195 – 200.

3. Пятаков Э. Н. Оценка эффективности парных стратегий расходящихся судов / Э. Н. Пятаков., С. И. Заичко // Судовождение: Сб. научн. трудов. / ОНМА, – Вып.15. – Одесса: "ИздатИнформ", 2008. – С. 166 – 171.
4. Бурмака И. А. Экстренная стратегия расхождения при чрезмерном сближении судов / Бурмака И. А., Бурмака А. И., Бужбецкий Р. Ю. – LAP LAMBERT Academic Publishing, 2014. – 202 с.
5. Петриченко Е. А. Вывод условия существования множества допустимых маневров расхождения с учетом навигационных опасностей / Петриченко Е. А. // Судовождение. – 2003. – №.6. – С. 103 – 107.
6. Цымбал Н. Н. Гибкие стратегии расхождения судов / Н. Н. Цымбал, И. А. Бурмака, Е. Е. Тюпиков. – Одесса: КП ОГТ, 2007. – 424 с.
7. Бурмака И. А. Управление судами в ситуации опасного сближения / И. А. Бурмака., Э. Н. Пятаков., А. Ю. Булгаков – LAP LAMBERT Academic Publishing, – Саарбрюккен (Германия), – 2016. – 585 с.
8. Волков А. Н. Применение судовой безопасной области для учета опасной цели и навигационного препятствия / Волков А. Н. // Водный транспорт. – 2014. №2 (20). – С. 29 – 35.
9. Lisowski J. Game and computational intelligence decision making algorithms for avoiding collision at sea/ Lisowski J. // Proc. of the IEEE Int. Conf. on Technologies for Homeland Security and Safety. – 2005. – Gdańsk. – P. 71-78.
10. Lisowski J. Game control methods in navigator decision support system/ Lisowski J. // The Archives of Transport. – 2005. – No 3-4, Vol. XVII. – P. 133-147.
11. Lisowski J. Dynamic games methods in navigator decision support system for safety navigation/ Lisowski J. // Advances in Safety and Reliability. – 2005. – Vol. 2. – London-Singapore, Balkema Publishers. – P. 1285-1292.
12. Statheros Thomas. Autonomous ship collision avoidance navigation concepts, technologies and techniques / Statheros Thomas, Howells Gareth, McDonald-Maier Klaus. // J. Navig. 2008. 61, № 1, p. 129-142.

REFERENCES

1. Pyatakov E. Cooperation of vessels at divergence for warning of collision / Pyatakov E., Buzhbetskiy R., Burmaka I., Bulgakov A., Kherson: Grin D.S., 2015. – 312 p.
2. Volkov A. Appraisal of the Coordinability of the Vessels for Collision Avoidance Maneuvers by Course Alternation / A. Volkov, E. Pyatarov & A. Yakushev// Activites in Navigation. – Adam Weintrit/ – 2015, P. 195 – 200.
3. Pyatakov E. N. Estimation of efficiency of pair strategies of going away vessels / E. N. Pyatakov, S. I. Zaichko // Sudovozhdenie. – 2008.- №15. – P. 166 – 171.
4. Burmaka I. Urgent strategy of divergence at excessive rapprochement of vessels / Burmaka I., Burmaka A., Buzhbetskiy R. – LAP LAMBERT Academic Publishing, 2014. – 202 p.
5. Petrichenko E. A. Conclusion of condition of existence of great number of possible manoeuvres of divergence taking into account navigation dangers/ E. A. Petrichenko // Sudovozhdenie. – 2003. – №6. - p. 103 – 107.
6. Tsymbal N. Flexible strategies of divergence of vessels / N. Tsymbal, I. Burmaka, E. Tyupikov, Odessa: KP OGT, 2007. – 424 p.
7. Burmaka I. Management by vessels in the situation of dangerous rapprochement / Burmaka I., Pyatakov E., Bulgakov A. – LAP LAMBERT Academic Publishing, – Saarbryukken (Germany), – 2016. – 585 p.
8. Volkov A. N. Application of ship safe region for the account of dangerous target and navigation obstacle / A. N. Volkov // Vodnyj transport. – 2014. №2 (20). – P. 29 – 35.
9. Lisowski J. Game and computational intelligence decision making algorithms for avoiding collision at sea/ Lisowski J. // Proc. of the IEEE Int. Conf. on Technologies for Homeland Security and Safety. – 2005. – Gdańsk. – P. 71–78.

10. Lisowski J. Game control methods in navigator decision support system/ Lisowski J. // The Archives of Transport. – 2005. – No 3–4, Vol. XVII. – P. 133–147.
11. Lisowski J. Dynamic games methods in navigator decision support system for safety navigation/ Lisowski J. // Advances in Safety and Reliability. – 2005. – Vol. 2. – London-Singapore, Balkema Publishers. – P. 1285–1292.
12. Statheros Thomas. Autonomous ship collision avoidance navigation concepts, technologies and techniques / Statheros Thomas, Howells Gareth, McDonald-Maier Klaus. // J. Navig. 2008. 61, № 1, p. 129–142.

Kalinichenko T.

TAKING INTO ACCOUNT THE INTERFERING VESSEL DURING SHIP-TO-TARGET SHIP SEPARATION AT SHORT DISTANCES

This article deals with the case of the separation of one's own vessel from the target vessel in the presence of another interfering vessel. In compressed waters with intensive shipping, situations arise when, during a dangerous approach between a our ship and a target vessek, there is an interfering ship in the area of the expected separation, which limits the ship's maneuverability. For a situation when, in addition to a dangerous target, there is an interfering vessel in the maneuvering area, and at the same time there is usually a navigational hazard, a procedure for choosing a safe course to avoid the target vessel is proposed. Analytical expressions for choosing a safe course of evasion from the target ship in both cases are obtained.

Keywords: safety of navigation, prevention of collision of vessels, taking into account the interfering vessel.

УДК 656.6

doi.org/10.33298/2226-8553.2023.1.37.09

Бойко А.Д., Демінський А.В.

АНАЛІЗ СТАНУ АВАРІЙНОСТІ ВОДНОГО ТРАНСПОРТУ В УКРАЇНІ І ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ З УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ ОЦІНКИ ТА УПРАВЛІННЯ РИЗИКАМИ ВИНИКНЕННЯ І ЗАПОБІГАННЯ АВАРІЙНИХ МОРСЬКИХ ПОДІЙ

У статті проведено аналіз стану аварійності морського та річкового флоту України у 2006-2021 роках. При цьому особливу увагу приділено дуже серйозним аваріям та серйозним аваріям. Визначено, що одним з найважливіших етапів управління ризиком аварійної морської події у ході діяльності, пов'язаної із судноплавством, є етап оцінки відповідного ризику. За результатами аналізу наявних підходів і методів оцінювання ризику доведено, що саме застосування ймовірнісних методів оцінки ризику дають найточніші процеси оцінки ризиків виникнення і запобігання аварійних морських подій, які враховують широкий набір чинників. При цьому при застосуванні відповідних ймовірнісних методів оцінки ризику необхідно у відповідних формальних моделях максимально враховувати всі чинники, що впливають на безпеку як самого судна, так і людини, навколишнього середовища і вантажу тощо.

Проведено аналіз публікацій щодо досліджень процесів оцінки ризиків у системі управління безпекою судноплавства. Результати проведеного аналізу дозволяють зробити висновок про те, що в рамках цих досліджень не враховується критерій мінімальних сумарних витрат при розробці заходів, що знижують ризики АМП. Визначено, що процес управління чинниками ризику в системі управління безпекою плавання може бути вдосконалений і бути більш ефективним з точки зору забезпечення безпеки судноплавства, якщо визначити цільовий оптимальний рівень безпеки на підставі критерію мінімуму сумарних витрат. Даний підхід дозволить підвищити точність оцінки узагальненого ризику виникнення аварійних морських подій з використанням водного транспорту.

У статті проведено постановку завдання дослідження, визначена невідповідність у предметній області, визначене наукове завдання, вирішення якого дозволить забезпечити усунення невідповідності, визначені часткові завдання, методи дослідження, обмеження та допущення.

Ключові слова: аналіз, метод, ризик, аварійна морська подія, морський та річковий транспорт, збиток, чинник, система управління безпекою судноплавства.

Постановка проблеми. Ризик аварійних морських подій (АМП) є категорією, яка супроводжує водний транспорт як в основній діяльності, так і у сфері забезпечення. При цьому для зменшення потенційного збитку від АМП необхідне врахування та реалізація різноманітних заходів щодо запобігання або зниження ризиків виникнення цих подій у системі управління безпекою судноплавства. Для забезпечення керованості таких систем потрібні нові методи управління ризиками АМП, що відповідають складності внутрішнього і зовнішнього середовищ як морського, так і річкового транспорту. При цьому одним з найважливіших етапів управління ризиком АМП у ході діяльності, пов'язаної із судноплавством, є етап оцінки відповідного ризику в рамках системи управління безпекою судноплавства.

На безпеку експлуатації водного транспорту впливає багато негативних факторів, за результатами яких можуть настати різні негативні наслідки. При цьому дефіцит вкладень у безпеку судноплавства може призвести до серйозних негативних наслідків. У зв'язку з цим необхідно розробити механізм визначення першочергових ризиків та найбільш ефективних заходів щодо зниження їхнього рівня таким чином, щоб забезпечувався збалансований розподіл вкладень на безпеку судноплавства та забезпечення можливостей судновласників. Таким чином, можна зробити висновок, що удосконалення методів оцінки та управління ризиками виникнення і запобігання АМП є актуальним науково-практичним завданням.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Методи оцінки та управління ризиками виникнення і запобігання АМП розглядалися в контексті менеджменту як науки про управління, зокрема в роботах М. Мескона, Дж. Лафта, П. Друкера. З часом ризик-аналіз та ризик-менеджмент виділилися в окрему групу наукових досліджень, що представлено в роботах, наприклад, Л.Дж. Гребін'яка, Г. Дессе, А. Міллера, Г. Мінцберга, А. Рубінфельда. Разом з цим, комплексного вирішення проблеми безпосередньої оцінки та управління ризиками виникнення і запобігання АМП в літературних джерелах та періодичних виданнях не має. Питання розкрито не в повному обсязі, що і обумовило дані дослідження [1-7].

Метою статті є аналіз стану аварійності водного транспорту в Україні, визначення актуальності дослідження та постановка завдань щодо удосконалення методів оцінки та управління ризиками виникнення і запобігання АМП у системі управління безпекою судноплавства.

Викладення основного матеріалу дослідження. Відповідно до Положення про класифікацію, порядок розслідування та обліку АМП із суднами, затверджене Міністерством транспорту та зв'язку України від 29 травня 2006 року [8], визначаються такі чотири основні класи АМП:

- дуже серйозні аварії;
- серйозні аварії;
- морські (серйозні) інциденти;

– інциденти.

Згрупувавши отриману інформацію із підсумкових річних звітів за 2006-2021 рр., зведемо їх у загальну табл. 1. Порівняння загальної кількості АМП на морському та річковому транспорті наведено на рис. 1 [9-19].

Таблиця 1 – Аварійність на морському та річковому транспорті України у 2006-2021 рр.
(узагальнена статистика АМП)

АМП	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
На морському транспорті	18	19	14	14	24	16	9	6	0	3	5	18	3	11	11	13
На річковому транспорті	5	18	3	0	3	3	6	7	1	9	5	10	8	10	15	27

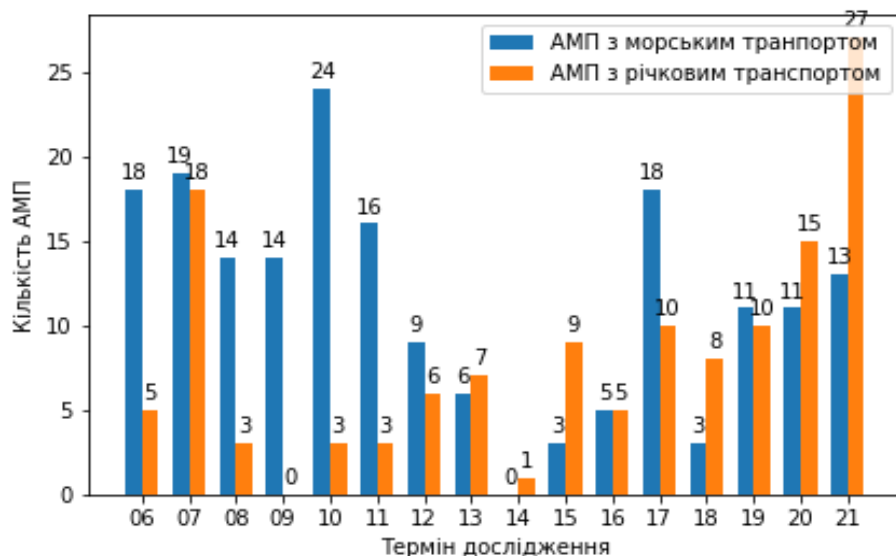


Рисунок 1 – Порівняння загальної кількості АМП на морському та річковому транспорті у 2006-2021 рр.

Дослідження підсумкових річних звітів за 2006-2021 рр. (табл. 2.1, рис. 2) показало кількість АМП за різними класами на морському транспорті (табл. 2) [9 -19].

Таблиця 2 – Аварійність на морському транспорті України у 2006-2021 рр.

АМП	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
Дуже серйозні аварії	2	1	0	1	0	2	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0
Серйозні аварії	4	4	2	6	7	5	1	1	0	0	1	8	1	2	3	4
Морський інцидент	2	8	4	3	9	3	2	2	0	2	0	0	2	7	8	8
Інцидент	10	6	8	4	8	6	6	3	0	1	4	10	0	0	0	1

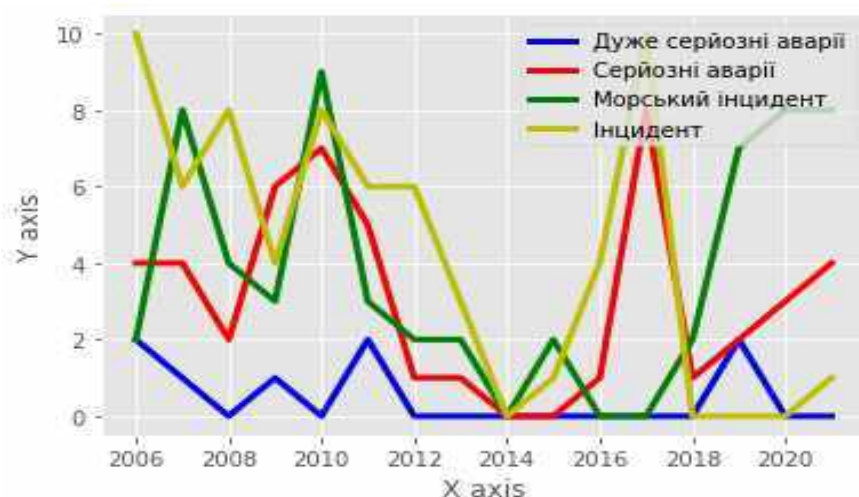


Рисунок 2 – Аварійність на морському транспорті України у 2006-2021 рр.

Дослідження підсумкових річних звітів за 2006-2021 рр. (табл. 3, рис. 3) показало кількість АМП за класами на річковому транспорті [9-19].

Таблиця 3 – Аварійність на річковому транспорті України у 2006-2021 рр.

АМП	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
Дуже серйозні аварії	0	1	1	0	0	1	0	0	1	1	0	1	2	0	2	1
Серйозні аварії	0	5	1	0	3	1	4	3	0	1	2	6	2	4	5	5
Морський інцидент	3	1	1	0	1	1	1	1	0	0	3	1	0	4	3	7
Інцидент	2	2	0	0	0	0	1	3	0	7	0	2	4	2	5	14

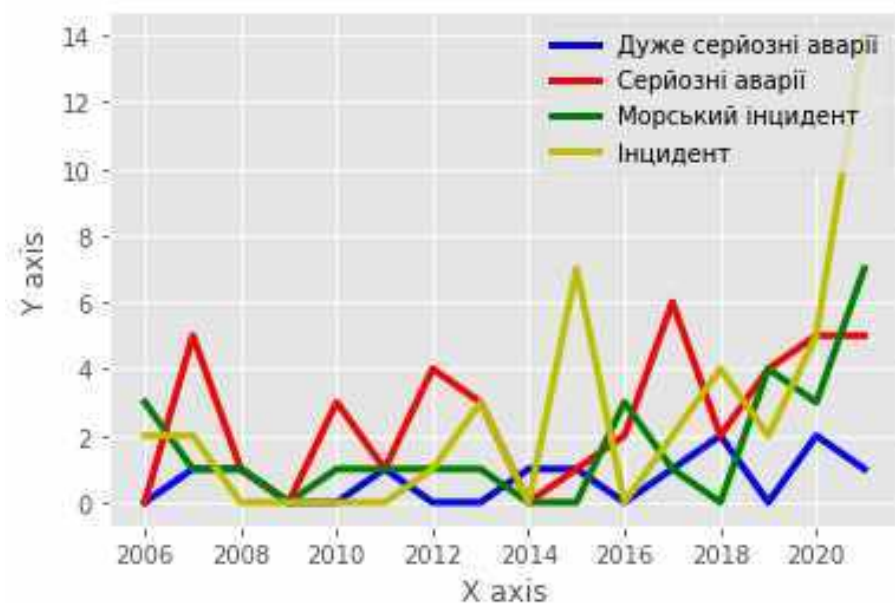


Рисунок 3 – Аварійність на річковому транспорті України у 2006- 2021 рр.

Аналіз інформації в табл. 2 та табл. 3, показав, що найпоширенішою подією для обох

видів транспорту є інцидент, а найрідкіснішою подією – дуже серйозні аварії. Для подальшого вивчення отримаємо відносний розподіл подій, що цікавлять, у часі. Побудуємо діаграми (рис. 2, 3). У випадку з дуже серйозними аваріями можна помітити відсутність різкого приросту подій. Розподіл інших класів залишається на досить високому рівні, зростаючи до 2021 р. Подібна ситуація спостерігається і з АМП для морського транспорту, і з АМП для річкового транспорту.

Якщо простежити за характером мінливості події (дуже серйозна аварія), стає помітним взаємне зближення ліній трендів (інциденти та аварії) у певні періоди, наприклад, 2009–2011 років – для морського транспорту, 2018–2020 років – для річкового. Також лінії трендів всіх класів АМП дуже схожі за характером повторюваності, відмінності проявляються лише у чисельності подій. Все це вказує на наявність тих самих чинників, що є прямим впливом геть досліджувані події.

У подальшому розглянемо тільки найскладніші класи АМП - дуже серйозні аварії і серйозні аварії. Для повноти сприйняття зобразимо графічно всі цікаві для нас події в абсолютних одиницях з часом за період у 2006-2021 рр. для тих років, які не мають нульового значення (рис. 4 для морського транспорту та рис. 45 для річкового відповідно).

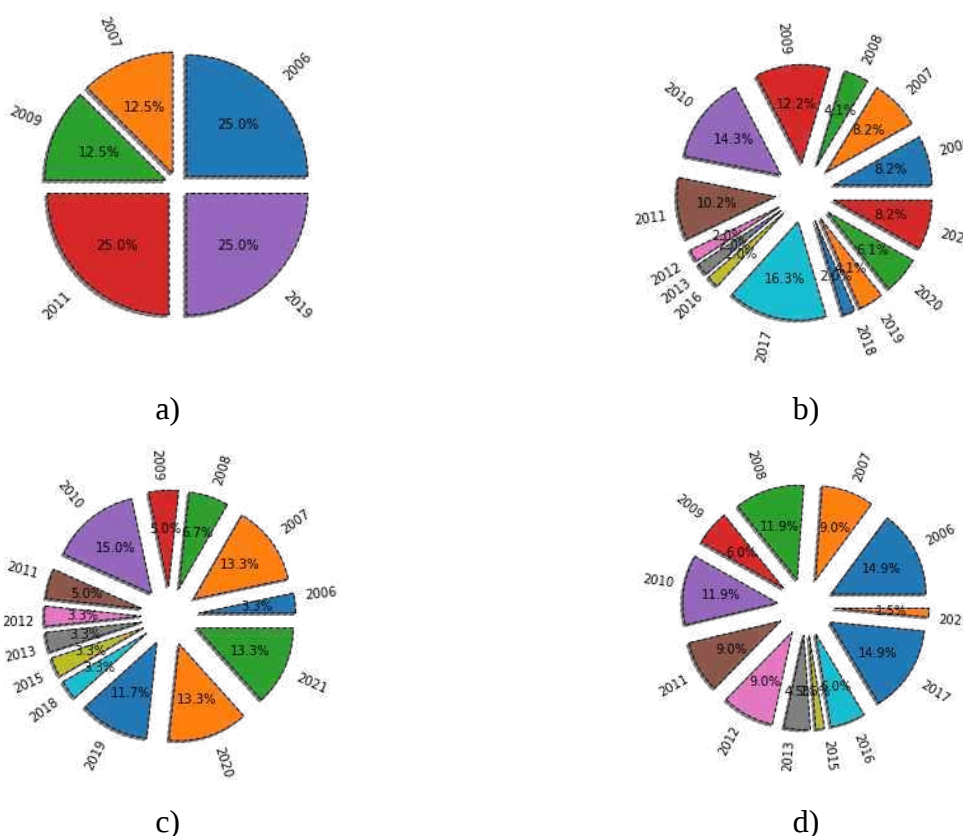


Рисунок 4 – Відносний розподіл АМП у період 2006–2021 роках для морського транспорту (а) дуже серйозних аварій; б) серйозних аварій; с) морських (серйозних) інцидентів; д) інцидентів)

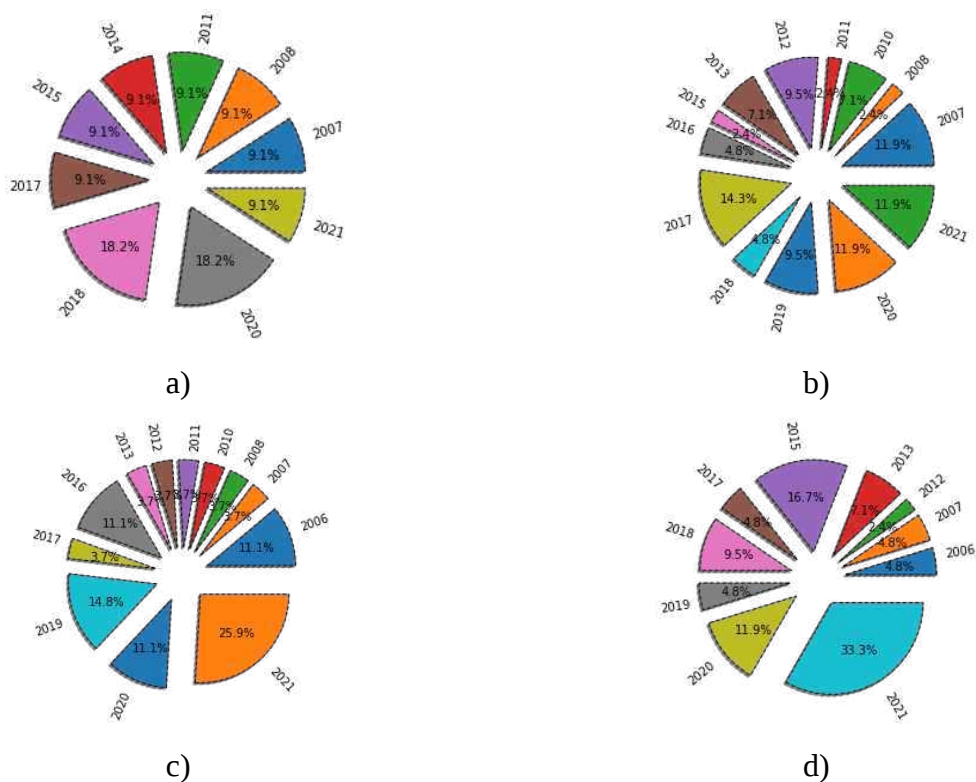


Рисунок 5 – Відносний розподіл АМП у період 2006–2021 роках для річкового транспорту
(а) дуже серйозних аварій; б) серйозних аварій; с) морських (серйозних) інцидентів; д) інцидентів)

При цьому необхідно відмітити, що всі вищевикладені АМП, включаючи чинники їх виникнення: вибухи, пожежі, зіткнення, затоплення, відмови – всі вони у переважній більшості випадків, як встановлено, є наслідком порушення правил експлуатації, неправильних дій або бездіяльності суднового екіпажу, тобто має місце людський чинник. Тобто ризики виникнення АМП, в основному, пов'язані зі складним, не завжди передбачуваним характером зовнішнього оточення, а також роллю людського чинника.

У теперішній час проблема управління ризиками та їхня оцінка у різних галузях, зокрема, у системі управління безпекою судноплавства, є актуальною, їй присвячено роботи багатьох вітчизняних і зарубіжних авторів. Зокрема, у роботі [1] **Ошибка! Закладка не определена.** розглядаються всі аспекти ризиків і безпеки в мореплавстві: інженерні та експлуатаційні, вимоги безпеки, а також страхування і розслідування нещасних випадків. Згідно з дослідженням [2], так звані навігаційні ризики являють собою сукупність імовірності виникнення відмови техніки та наслідків, які це може спричинити. Людський чинник у мореплавстві було досліджено стосовно аналізу ризиків [3]. Аналіз проблем забезпечення безпеки морських вантажоперевезень, а також методи і моделі оцінювання ризиків наведені в роботах [4] і [5], де розглядаються як організаційні аспекти забезпечення безпеки в морських перевезеннях різних вантажів, так і управління ризиками. У роботі [6] розглядається ризик як комбінація ймовірності виникнення небажаної морської події та ступеня можливих наслідків або умова, за якої можлива така небажана подія та тяжкість її наслідків. У разі визначення безпеки як незалежності від неприйнятного ризику її взаємозв'язок з ризиком використовується для опису ступеня незалежності від небезпеки. У роботі [7] науково обґрунтовано і доведено нове концептуальне вирішення актуальної науково-технічної проблеми підвищення безпеки експлуатації засобів водного транспорту, яке здійснено за рахунок використання вперше запропонованих і удосконалення існуючих методів кількісного оцінювання та управління ризиками при виконанні комплексних навігаційних завдань.

Аналіз публікацій щодо досліджень процесів оцінки ризиків у заданій предметній галузі дозволяє зробити висновок про те, що у рамках цих підходів та досліджень не враховується критерій мінімальних сумарних витрат при розробці заходів, що знижують ризики АМП. Процес управління чинниками ризику в системі управління безпекою плавання може бути вдосконалений і бути більш ефективним з точки зору забезпечення безпеки судноплавства, якщо визначити цільовий оптимальний рівень безпеки на підставі критерію мінімуму сумарних витрат. Даний підхід дозволить підвищити точність оцінки узагальненого ризику виникнення АМП при використанні водного транспорту. При цьому при оцінці ризиків повинні враховуватися як класи АМП, так і чинники, що впливають на безпеку самого судна, людини, навколишнього середовища і вантажу.

Існуюча невідповідність між обмеженими можливостями підходів з оцінки та управління ризиками у системі управління безпекою судноплавства та потребами і вимогами практики щодо зниження ризиків АМП визначає необхідність вирішення наукового завдання щодо удосконалення методів і моделей оцінки та управління ризиками виникнення і запобігання АМП для скорочення несприятливого ризику реалізації АМП від впровадження запобіжного заходу (рис. 6).

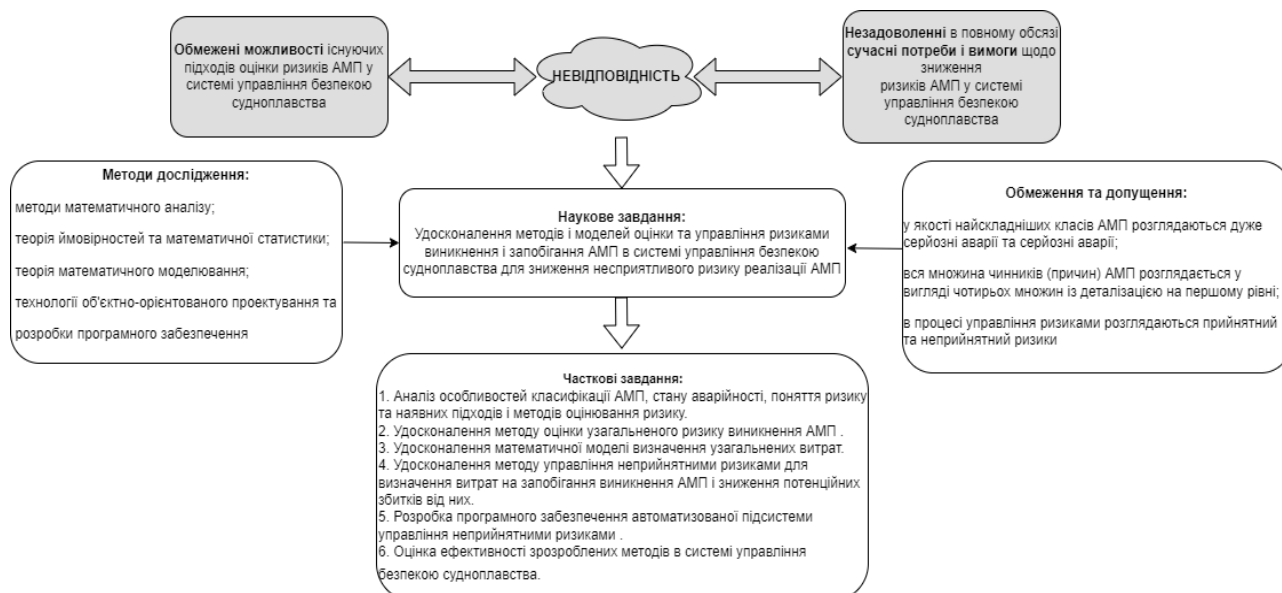


Рисунок 6 – Невідповідність у предметній області та наукове завдання, яке забезпечує її подолання

При цьому скорочення несприятливого ризику реалізації АМП від впровадження запобіжного заходу можна представити як

$$\Delta R_q = R_q - R'_q, \quad (1)$$

де R_q – узагальнений ризик виникнення АМП;

R'_q – узагальнене значення несприятливого ризику для АМП у разі впровадження заходів, спрямованих на запобігання (зниження) несприятливого ризику.

Для вирішення наукового завдання необхідно вирішити такі часткові завдання:

1. Проаналізувати особливості класифікації АМП у морському праві України і стан аварійності морського та річкового флоту України. Проаналізувати поняття ризику у контексті управління ризиками виникнення і запобігання АМП та наявних підходів і методів

оцінювання ризику. Проаналізувати публікації щодо досліджень процесів оцінки ризиків у системі управління безпекою судноплавства.

2. Удосконалити метод оцінки узагальненого ризику виникнення АМП у системі управління безпекою судноплавства з врахуванням найскладніших класів АМП та чинників, що впливають на безпеку судноплавства.

3. Удосконалити математичну модель визначення узагальнених витрат, що знижують несприятливий ризик АМП з врахуванням в моделі інтенсивності потоку АМП, збитків, ймовірності запобігання подіям тощо.

4. Удосконалити метод управління неприйнятними ризиками для визначення витрат на запобігання виникнення АМП і зниження потенційних збитків від них в системі управління безпекою судноплавства з врахуванням всіх заходів щодо запобігання або зниження несприятливих ризиків виникнення АМП.

5. Розробити програмне забезпечення автоматизованої підсистеми управління неприйнятними ризиками в системі управління безпекою судноплавства.

6. Оцінити ефективність застосування програмного забезпечення автоматизованої підсистеми управління неприйнятними ризиками, реалізованого на основі удосконалених методів і моделей оцінки та управління ризиками виникнення і запобігання АМП в системі управління безпекою судноплавства.

У ході проведення дослідження, на наш погляд, будуть задіяні методи математичного аналізу, теорія ймовірностей та математичної статистики, теорія математичного моделювання, а також технології об'єктно-орієнтованого проектування та розробки програмного забезпечення.

У ході проведення дослідження мають місце такі обмеження та допущення:

– в якості найскладніших класів АМП розглядаються дуже серйозні аварії та серйозні аварії;

– вся множина чинників (причин) АМП розглядається у вигляді чотирьох множин із деталізацією їх на першому рівні;

– у процесі управління ризиками розглядаються прийнятний та неприйнятний ризики. Під прийнятним під час оцінювання розуміється такий ризик, з яким посадова особа в умовах заданої предметної області згодна.

Висновки. У статті проведено аналіз стану аварійності морського та річкового флоту України у 2006-2021 роках, який показав, що для зменшення потенційного збитку від АМП необхідне врахування та реалізації всіх заходів щодо запобігання або зниження ризиків виникнення АМП.

Визначено, що одним з найважливіших етапів управління ризиком АМП у ході діяльності, пов'язаної із судноплавством, є етап оцінки відповідного ризику. За результатами аналізу наявних підходів і методів оцінювання ризику визначено, що саме застосування ймовірнісних методів оцінки ризику дають найточніші процеси оцінки ризиків виникнення і запобігання АМП, які враховують широкий набір чинників. При цьому при застосуванні відповідних ймовірнісних методів оцінки ризику необхідно у відповідних формальних моделях враховувати максимально всі чинники, що впливають на безпеку як самого судна, так і людини, навколишнього середовища і вантажу тощо.

Аналіз публікацій щодо досліджень процесів оцінки ризиків у системі управління безпекою судноплавства дозволяє зробити висновок про те, що в рамках цих досліджень не враховується критерій мінімальних сумарних витрат при розробці заходів, що знижують ризики АМП. Процес управління чинниками ризику в системі управління безпекою плавання може бути вдосконалений і бути більш ефективним з точки зору забезпечення безпеки судноплавства, якщо визначити цільовий оптимальний рівень безпеки на підставі критерію мінімуму сумарних витрат. Даний підхід дозволить підвищити точність оцінки узагальненого ризику виникнення АМП з використанням водного транспорту. При цьому при оцінці ризиків повинні враховуватися як класи АМП, так і чинники, що впливають на безпеку самого судна, людини, навколишнього середовища і вантажу.

Проведено постановку завдання дослідження: визначена невідповідність у предметній області; визначене наукове завдання, вирішення якого дозволить забезпечити усунення невідповідності; визначені часткові завдання, методи дослідження, обмеження та допущення.

ЛІТЕРАТУРА

1. Kristiansen S. Maritime Transportation: Safety Management and Risk Analysis / S. Kristiansen. -Elsevier, 2010. - 508 p.
2. Gucma M. Combination of processing methods for various simulation data sets / M. Gucma // TransNav. - 2008. - № 2(1). - P. 11–15.
3. А.Б. Юдович Предотвращение навигационных аварий морских судов – 2-е изд., доп. – М: Транспорт, 1988. – 224 с.: ил.48, табл. 14.
4. Кириченко А. В. Организационно-технические основы безопасности судов и портовых средств. / А. В. Кириченко, С. В. Латухов, В. А. Никитин, О. А. Ражев. - СПб: Изд-во ГУМРФ им. адм. С. О. Макарова, 2014. - 368 с.
5. Мойсеенко С. С. Безопасность морских грузоперевозок / С. С. Мойсеенко, Л. Е. Мейлер. - Калининград: Изд-во БГАРФ, 2011. - 398 с.
6. Yin J. Quantitative Risk Assessment for Maritime Safety Management / PhD thesis. Hong Kong Polytechnic University. - 2011. <http://repository.lib.polyu.edu.hk/jspui/bitstream/>.
7. Піпченко О. Д. Розвиток теорії та практики управління ризиками при вирішенні комплексних навігаційних задач. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису. Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.22.13 – навігація та управління рухом (271 – річковий та морський транспорт). – Національний університет "Одеська морська академія", м. Одеса, 2021.
8. Про затвердження Положення про класифікацію, порядок розслідування та обліку аварійних морських подій із суднами : Наказ Міністерства транспорту та зв'язку України від 29.05.2006 № 516. База даних «Законодавство України» / ВР України. URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/z0959-06> (дата звернення: 01.12.2022).
9. Аналіз стану безпеки руху, польотів, судноплавства в Україні за 2012 рік. Офіційний сайт Міністерства інфраструктури України. URL: https://mtu.gov.ua/files/Avar_analiz_2012.Pdf (дата звернення: 01.12.2022)
10. Аналіз стану безпеки руху, польотів, судноплавства в Україні за 2013 рік. Офіційний сайт Міністерства інфраструктури України. URL: <https://mtu.gov.ua> (дата звернення: 01.12.2022).
11. Аналіз стану безпеки руху, польотів, судноплавства в Україні за 2014 рік. Офіційний сайт Міністерства інфраструктури України. URL: <https://mtu.gov.ua> (дата звернення: 01.12.2022).
12. Аналіз стану безпеки руху, польотів, судноплавства в Україні за 2015 рік. Офіційний сайт Міністерства інфраструктури України. URL: https://mtu.gov.ua/files/Аналіз_2015.pdf (дата звернення: 01.12.2022).
13. Аналіз стану безпеки руху, судноплавства та аварійності на транспорті в Україні за 2016 рік. Укртрансбезпека / Аналіз аварійності. URL: http://dsbt.gov.ua/sites/default/files/imce/Bezpeka_DTP/analiz_2017/analiz_avariynosti_2016.pdf (дата звернення 01.12.2022).
14. Аналіз стану безпеки руху, судноплавства та аварійності на транспорті в Україні за 2017 рік. Укртрансбезпека / Аналіз аварійності. URL: http://dsbt.gov.ua/sites/default/files/imce/Bezpeka_DTP/2018/analiz_avariynosti_2017.compressed.pdf (дата звернення 01.12.2022).
15. Аварії та інциденти на морському та річковому транспорті за 2018 рік. Офіційний сайт Укртрансбезпеки / Аналіз аварійності. URL: <http://dsbt.gov.ua/storinka/avariyi-ta-incydynty-na-morskomu-ta-richkovomutransporti-za-2018-rik> (дата звернення: 01.12.2022).

16. Стан аварійності та безпеки судноплавства на водному транспорті в Україні (у тому числі і за її межами, але із українськими суднами), включаючи маломірні (малі) судна за 1 півріччя 2019 року з наростаючим підсумком. Офіційний сайт Морської адміністрації України. URL: <https://marad.gov.ua/storage/app/sites/1/public-information/analiz-4-avariynosti-za-2-kv-2019.docx> (дата звернення: 01.12.2022).

17. Стан аварійності та безпеки судноплавства на водному транспорті в Україні (у тому числі і за її межами, але із українськими суднами), включаючи маломірні (малі) судна за 2019 рік з наростаючим підсумком. Офіційний сайт Морської адміністрації України. URL: <https://marad.gov.ua/storage/app/sites/1/public-information/analiz-avariynostiza-2019.pdf> (дата звернення: 01.12.2022).

18. Стан безпеки судноплавства та аварійності на водному транспорті в Україні (у тому числі і за її межами, але із українськими суднами), включаючи маломірні (малі) судна за 2020 рік з наростаючим підсумком. Офіційний сайт Морської адміністрації України. URL: https://marad.gov.ua/storage/app/sites/1/uploaded-files/16012021/Zvit_2020.pdf (дата звернення: 01.12.2022).

19. Стан безпеки судноплавства та аварійності на водному транспорті в Україні (у тому числі і за її межами, але із українськими суднами), включаючи маломірні (малі) судна за перше півріччя 2021 року з наростаючим підсумком. Офіційний сайт Морської адміністрації України. URL: https://data.gov.ua/dataset/cf069d00-9793-4974-9367-d39796282a59/resource/f9fa8a7c-74eb-4e62-ae62-7bcef5a02e/download/zvit_1pivrich_2021.pdf (дата звернення: 01.12.2022).

REFERENCES

1. Kristiansen S. *Maritime Transportation: Safety Management and Risk Analysis* / S. Kristiansen. - Elsevier, 2010. - 508 p.
2. Gucma M. *Combination of processing methods for various simulation data sets* / M. Gucma // TransNav. - 2008. - № 2(1). - P. 11–15.
3. A.B. Yudovich *Prevention of navigational accidents of seagoing ships* [*Predotvrashcheniye navigatsionnykh avariy morskikh sudov*]. - 2nd ed. – Moscow: Transport, - 224 p.: ill. 48, Table 14.
4. Kirichenko A. V. *Organizational and technical bases of safety of ships and port facilities* [*Organizatsionno-tekhnicheskiye osnovy bezopasnosti sudov i portovykh sredstv*]. / A. V. Kirichenko, S.V. Latukhov, V.A. Nikitin, O.A. Razhev. - St. Petersburg: Publishing house of S.O. Makarov State Marine Engineering University, 2014. - 368 c.
5. Moiseenko S.S. *Safety of marine cargo transportation* [*Bezopasnost' morskikh gruzoperevozk*]. / S.S. Moiseenko, L.E. Mailer. - Kaliningrad: Publishing house of BGRF, 2011. - 398 c.
6. Yin J. *Quantitative Risk Assessment for Maritime Safety Management* / PhD thesis. Hong Kong Polytechnic University. - 2011. <http://repository.lib.polyu.edu.hk/jspui/bitstream/>.
7. Pipchenko O. D. *Development of the theory and practice of risk management in solving complex navigation problems* [*Rozvytok teorii ta praktyky upravlinnya ryzykamy pry vyrishenni kompleksnykh navihatsiynykh zadach*]. – Qualifying scientific work on the rights of manuscript. Dissertation for the degree of Doctor of Technical Sciences in specialty 05.22.13 - navigation and traffic control (271 - river and sea transport) - National University "Odesa Maritime Academy", Odesa, 2021.
8. *On Approval of the Regulation on Classification, Procedure of Investigation and Accounting of Maritime Accidents with Ships* [*Pro zatverdzhennya Polozhennya pro klasyfikatsiyu, poriadok rozsliduvannya ta obliku avariynykh mors'kykh podiy iz sudnamy*]: Order of the Ministry of Transport and Communications of Ukraine dated 29.05.2006 No. 516. Database "Legislation of Ukraine" / VR of Ukraine. URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/z0959-06> (date of application: 01.12.2022).
9. *Analysis of traffic, flight and navigation safety in Ukraine in 2012* [*Analiz stanu bezpeky rukhu, pol'otiv, sudnoplavstva v Ukrayini za 2012 rik*]. Official website of the Ministry of Infrastructure of Ukraine. URL: https://mtu.gov.ua/files/Avar_analiz_2012.Pdf (date of application: 01.12.2022)

10. *Analysis of traffic, flight and navigation safety in Ukraine in 2013* [Analiz stanu bezpeky rukhu, pol'otiv, sudnoplavstva v Ukrayini za 2013 rik]. Official website of the Ministry of Infrastructure of Ukraine. URL: https://mtu.gov.ua/files/Avar_analiz_2013.Pdf (date of application: 01.12.2022).

11. *Analysis of traffic, flight and navigation safety in Ukraine in 2014* [Analiz stanu bezpeky rukhu, pol'otiv, sudnoplavstva v Ukrayini za 2014 rik]. Official website of the Ministry of Infrastructure of Ukraine. URL: <https://mtu.gov.ua/files/Аналіз за 2014.pdf> (date of application: 01.12.2022).

12. *Analysis of traffic, flight and navigation safety in Ukraine in 2015* [Analiz stanu bezpeky rukhu, pol'otiv, sudnoplavstva v Ukrayini za 2015 rik]. Official website of the Ministry of Infrastructure of Ukraine. URL: <https://mtu.gov.ua/files/Аналіз - 2015.pdf> (date of application: 01.12.2022).

13. *Analysis of the state of traffic safety, navigation and accidents on transport in Ukraine for 2016* [Analiz stanu bezpeky rukhu, sudnoplavstva ta avariynosti na transporti v Ukrayini za 2016 rik]. Ukrtransbezpeka / Analysis of accidents. URL: http://dsbt.gov.ua/sites/default/files/imce/Bezpeka_DTP/analiz_2017/analiz_avariynosti_2016.pdf (date of application: 01.12.2022).

14. *Analysis of the state of traffic safety, navigation and accidents on transport in Ukraine for 2017* [Analiz stanu bezpeky rukhu, sudnoplavstva ta avariynosti na transporti v Ukrayini za 2016 rik]. Ukrtransbezpeka / Analysis of accidents. URL: http://dsbt.gov.ua/sites/default/files/imce/Bezpeka_DTP/2018/analiz_avariynosti_2017_compressed.pdf (date of application: 01.12.2022).

15. *Accidents and incidents on sea and river transport in 2018* [Avariya ta intsydenty na mors'komu ta richkovomu transporti za 2018 rik]. Official website of Ukrtransbezpeka / Accident rate analysis. URL: <http://dsbt.gov.ua/storinka/avariya-ta-incydenty-na-morskomu-ta-richkovomutransporti-za-2018-rik> (date of application: 01.12.2022).

16. *The state of accident rate and safety of navigation on water transport in Ukraine (including abroad, but with Ukrainian vessels), including small (small) vessels for the 1st half of 2019 with an increasing total* [Stan avariynosti ta bezpeky sudnoplavstva na vodnomu transporti v Ukrayini (u tomu chysli i za yiyi mezhamy, ale iz ukrayins'kymy sudnamy), vklyuchayuchy malomirni (mali) sudna za 1 pivrichchya 2019 roku z narostayuchym pidsumkom]. Official website of the Maritime Administration of Ukraine. URL: <https://marad.gov.ua/storage/app/sites/1/public-information/analiz-4-avariynosti-za-2-kv-2019.docx> (date of application: 01.12.2022).

17. *The state of accident rate and safety of navigation on water transport in Ukraine (including abroad, but with Ukrainian vessels), including small (small) vessels for 2019 with an increasing total* [Stan avariynosti ta bezpeky sudnoplavstva na vodnomu transporti v Ukrayini (u tomu chysli i za yiyi mezhamy, ale iz ukrayins'kymy sudnamy), vklyuchayuchy malomirni (mali) sudna za 2019 rik z narostayuchym pidsumkom]. Official website of the Maritime Administration of Ukraine. URL: <https://marad.gov.ua/storage/app/sites/1/public-information/analiz-avariynostiza-2019.pdf> (date of application: 01.12.2022).

18. *The state of accident rate and safety of navigation on water transport in Ukraine (including abroad, but with Ukrainian vessels), including small (small) vessels for 2020 with an increasing total* [Stan avariynosti ta bezpeky sudnoplavstva na vodnomu transporti v Ukrayini (u tomu chysli i za yiyi mezhamy, ale iz ukrayins'kymy sudnamy), vklyuchayuchy malomirni (mali) sudna za 2020 rik z narostayuchym pidsumkom]. Official website of the Maritime Administration of Ukraine. URL: https://marad.gov.ua/storage/app/sites/1/uploaded-files/16012021/Zvit_2020.pdf (date of application: 01.12.2022).

19. *The state of accident rate and safety of navigation on water transport in Ukraine (including abroad, but with Ukrainian vessels), including small (small) vessels for 2021 with an increasing total* [Stan avariynosti ta bezpeky sudnoplavstva na vodnomu transporti v Ukrayini (u tomu chysli i za yiyi mezhamy, ale iz ukrayins'kymy sudnamy), vklyuchayuchy malomirni (mali) sudna za 2021 rik z

narostayuchym pidsumkom]. Official website of the Maritime Administration of Ukraine. URL: https://data.gov.ua/dataset/cf069d00-9793-4974-9367-d39796282a59/resource/f9fa8a7c-74eb-4e62-ae62-7bcefac5a02e/download/zvit_1pivrich_2021.pdf. (date of application: 01.12.2022).

Boiko A., Deminskyi A.

**ANALYSIS OF THE STATE OF ACCIDENT RATE OF WATER TRANSPORT IN UKRAINE
AND SETTING THE TASK OF IMPROVING THE METHODS OF ASSESSMENT AND
MANAGEMENT OF RISKS OF OCCURRENCE AND PREVENTION OF MARITIME
ACCIDENTS**

The article analyses the state of accident rate of the sea and river fleet of Ukraine in 2006-2021. Particular attention is paid to very serious accidents and serious accidents. It is determined that one of the most important stages of managing the risk of a maritime accident during activities related to shipping is the stage of assessing the relevant risk. Based on the results of the analysis of existing approaches and methods of risk assessment, it is proved that the use of probabilistic methods of risk assessment provides the most accurate processes for assessing the risks of occurrence and prevention of maritime accidents, which consider a wide range of factors. At the same time, when applying the appropriate probabilistic methods of risk assessment, it is necessary to consider all factors affecting the safety of the vessel itself, as well as the human, the environment and cargo, etc. in the relevant formal models.

The analysis of publications on research of risk assessment processes in the system of navigation safety management was carried out. The results of the analysis allow us to conclude that these studies do not consider the criterion of minimum total costs in the development of measures to reduce the risks of the ASM. It is determined that the process of managing risk factors in the navigation safety management system can be improved and be more effective in terms of ensuring navigation safety if the target optimal level of safety is determined based on the criterion of minimum total costs. This approach will improve the accuracy of the assessment of the generalized risk of maritime accidents using water transport.

The article contains the statement of the research problem, the discrepancy in the subject area is defined, the scientific task is defined, the solution of which will ensure the elimination of the discrepancy, partial tasks, research methods, limitations and assumptions are defined.

Keywords: analysis, method, risk, maritime emergency, maritime and river transport, damage, factor, navigation safety management system.

УДК 656.6

doi.org/10.33298/2226-8553.2023.1.37.10

Тимощук О.М., Мельник О.В.

**АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ МАНЕВРУ РОЗХОДЖЕННЯ
ЗМІНОЮ КУРСУ**

У статті наведено опис маневру розходження судна зміною курсу та наведено його характеристики. Розглянуто процедуру визначення граничного моменту часу, коли судно потрапляє у позицію, з якої не може розійтися з ціллю на заданій дистанції. Отримано

аналітичний вираз, який формалізує можливість застосування маневру розходження зміною курсу.

Ключові слова: безпека судноводіння, попередження зіткнення суден, маневр розходження ухиленням, умова можливості розходження маневром ухилення.

Постановка проблеми

У стиснених районах плавання морських суден ускладняється навігаційними перешкодами та інтенсивним судноплавством, внаслідок чого створюються передумови для виникнення аварійних ситуацій.

Під час плавання у стиснених районах через швидкоплинну зміну навігаційної ситуації виникає необхідність створення сучасних методів вибору безпечного маневру розходження. До них належать використання областей неприпустимих значень параметрів руху суден. Попередження зіткнення суден, що небезпечно зближуються, у стиснених водах істотно залежить від оперативності способу вибору безпечного маневру розходження, яким найчастіше є маневр зміни курсу.

Тому розробка процедури оцінювання можливості застосування маневру розходження зміною курсу є актуальним та перспективним науковим напрямом..

Аналіз останніх досягнень і публікацій

Численні роботи вітчизняних та зарубіжних науковців присвячені проблемі запобігання зіткненням суден. Для опису процесу розходження у роботі [1] використовуються методи теорії оптимальних дискретних процесів, а проблема попередження зіткнень суден докладно досліджено у роботі [2], у якій запропоновано метод гнучких стратегій їх розходження.

У роботі [3] для опису взаємодії суден під час розходження використано метод нелінійної інтегральної інваріантності, а взаємодії суден під час розходження методами теорії диференціальних ігор формалізовані у роботах [4,5].

Результати дослідження ефективності маневрів розходження пари суден наведено у роботі [6]. У монографії [7] розглянуто метод попередження зіткнення суден зміщенням на лінію паралельну траєкторії руху.

Формалізації взаємодії пари суден в разі небезпечного зближення присвячено роботу [8], а керування трьома суднами для безпечного розходження розглянуто на роботах [9,10].

Розглянуті роботи присвячені методам розходження суден у ситуації небезпечного зближення. У разі достатнього водного простору перевагу має маневр розходження зміною курсу.

Метою статті є аналіз можливості застосування стандартного маневру розходження суден зміною курсу ситуації небезпечного зближення..

Виклад основного матеріалу.

Маневр розходження зміною курсу, як показано на рис. 1 містить дві ділянки: ділянка відхилення з програмної траєкторії руху курсом ухилення K_y у момент часу початку ухилення t_y . Друга ділянка – вихід на програмну траєкторію руху з параметрами K_b – курсом виходу та t_b – момент повороту на курс виходу. Заключними характеристиками маневру розходження є час t_k і курс K_k повороту судна з ділянки виходу на програмну траєкторію та кінцевий програмний курс.

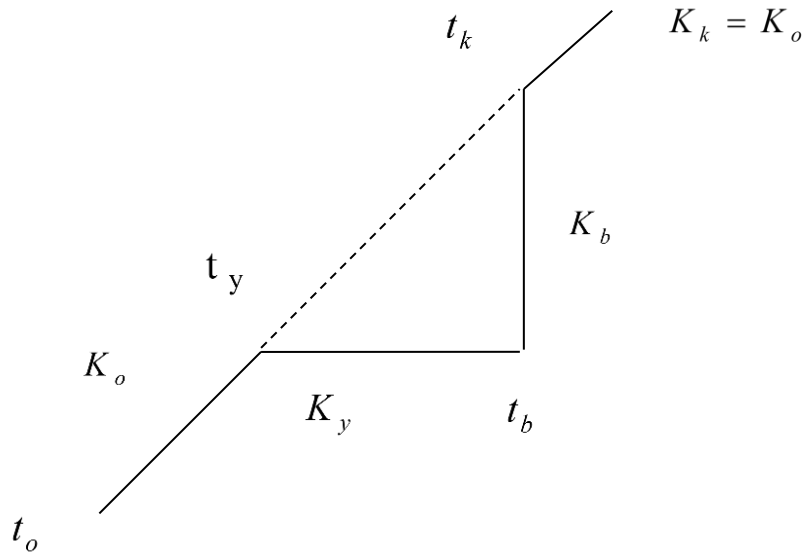


Рисунок 1 – Маневр розходження зміною курсу

Знайдемо умову, яка визначає можливість застосування маневру розходження зміною курсу судна. Насамперед, судно та ціль повинні небезпечно зближуватися. Очевидно, що підмножина маневрів розходження існує, якщо є хоча б один курс ухилення, який забезпечує розходження судна та цілі на дистанції найкоротшого зближення $D_{\min}$ що дорівнює або є більшою за допустиму дистанцію зближення D_d .

Небезпека зіткнення виникає в разі прогнозованого потрапляння судна в безпечну область (домен) цілі, – вона вказує на майбутню неприпустиму ситуацію заздалегідь, виходячи з прогнозу зміни відносної позиції судна та цілі. Очевидно, небезпека зіткнення виникає у разі, коли прогнозоване значення дистанції найкоротшого зближення $D_{\min}$ є меншим за значення гранично допустимої дистанції зближення D_d .

Якщо за наявності небезпеки зіткнення дистанція між суднами перевищує значення D_d та судно може своїм маневром забезпечити максимальне значення дистанції найкоротшого зближення $\max D_{\min}$, для якого $\max D_{\min} \geq D_d$, воно може застосувати маневр розходження. З часом за незмінних параметрів руху суден дистанція між ними скорочується і настає момент часу t_d , коли буде досягнуто рівність $\max D_{\min} = D_d$.

В разі подальшого зближення суден із програмними параметрами руху $\max D_{\min} < D_d$ судно потрапляє в підмножину неприпустимих позицій, причому ніяким маневром зміни курсу воно не зможе розійтися з ціллю на дистанції D_d . Тому момент часу t_d потрапляння судна в підмножину неприпустимих позицій визначає можливість використання стандартного маневру розходження. Причому якщо $t_d > 0$, то застосування маневру розходження можливе, інакше ($t_d \leq 0$) розходження маневром зміни курсу неможливе.

Знайдемо аналітичний вираз для розрахунку моменту часу t_d , коли судно ухиляється від зіткнення зміною курсу, враховуючи співвідношення швидкостей судна та цілі. Розглянемо випадок, коли швидкість судна V_1 є більшою за швидкість цілі V_2 , тобто $\rho = \frac{V_1}{V_2} \geq 1$ (рис. 2).

В даному випадку, як показано на рис. 2, судно може лягти на будь-який відносний курс, та момент часу t_d визначається, коли судно досягає межі області неприпустимих позицій цілі, при цьому справедливою є рівність $D(t_d) = D_d$.

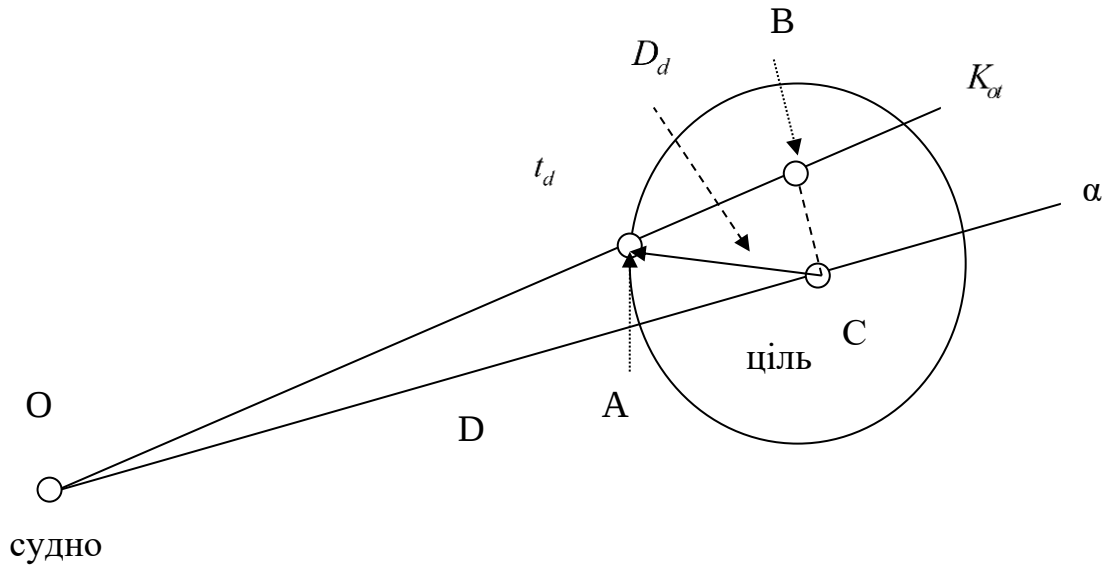


Рисунок 2 – До визначення t_d за $\rho \geq 1$

Залежність поточної дистанції $D(t)$ від часу t за незмінних параметрів відносного руху K_{ot} і V_{ot} отримана у роботі [9]:

$$D(t) = \sqrt{V_{ot}^2 t^2 + D^2 - 2DV_{ot}t \cos(K_{ot} - \alpha)},$$

де α і D – значення початкового пеленгу та відстані.

Тому можна записати рівняння:

$$D(t_d) = \sqrt{V_{ot}^2 t_d^2 + D^2 - 2DV_{ot}t_d \cos(K_{ot} - \alpha)} = D_d,$$

з якого випливає

$$V_{ot}^2 t_d^2 + D^2 - 2DV_{ot}t_d \cos(K_{ot} - \alpha) = D_d^2.$$

Останнє рівняння можна переписати у такому вигляді:

$$V_{ot}^2 t_d^2 - 2DV_{ot}t_d \cos(K_{ot} - \alpha) + D^2 - D_d^2 = 0,$$

або

$$t_d^2 - 2kt_d + q = 0, \quad (1)$$

$$\text{де } k = \frac{D \cos(K_{ot} - \alpha)}{V_{ot}}, \quad q = \frac{D^2 - D_d^2}{V_{ot}^2}.$$

Розв'язуючи рівняння (1) відносно змінної t_d , отримаємо:

$$t_{d1,2} = k \pm \sqrt{k^2 - q}.$$

Підставляючи значення k і q , знайдемо корені t_{d1} і t_{d2} :

$$\begin{aligned} t_{d1} &= \frac{D \cos(K_{ot} - \alpha)}{V_{ot}} + \sqrt{\frac{D^2 \cos^2(K_{ot} - \alpha)}{V_{ot}^2} - \frac{D^2 - D_d^2}{V_{ot}^2}} = \\ &= \frac{1}{V_{ot}} \left\{ D \cos(K_{ot} - \alpha) + \sqrt{D_d^2 - D^2 [1 - \cos^2(K_{ot} - \alpha)]} \right\}, \end{aligned}$$

або

$$\begin{aligned} t_{d1} &= \frac{1}{V_{ot}} \left\{ D \cos(K_{ot} - \alpha) + \sqrt{D_d^2 - D^2 \sin^2(K_{ot} - \alpha)} \right\}, \\ t_{d2} &= \frac{1}{V_{ot}} \left\{ D \cos(K_{ot} - \alpha) - \sqrt{D_d^2 - D^2 \sin^2(K_{ot} - \alpha)} \right\}. \end{aligned}$$

Моменту часу t_d досягнення судном, що оперує, межі області неприпустимих позицій відповідає кореню t_{d2} рівняння (1) – точка А на рис. 2. Отже:

$$t_d = \frac{1}{V_{ot}} \left\{ D \cos(K_{ot} - \alpha) - \sqrt{D_d^2 - D^2 \sin^2(K_{ot} - \alpha)} \right\}. \quad (2)$$

Якщо ж швидкість судна менша за швидкість цілі, тобто $\rho \leq 1$, те, як показано в роботі [9], відносний курс у разі зміни курсу судна K_1 в діапазоні від 0 до 2π може знаходитися в секторі, обмеженому максимальним $K_{ot \max}$ та мінімальним $K_{ot \min}$ значеннями, причому:

$$K_{ot \min} = \pi + K_2 - \arcsin \rho \text{ і } K_{ot \min} = \pi + K_2 + \arcsin \rho.$$

Очевидно, максимальне значення дистанції найкоротшого зближення $\max D_{\min}$ досягається в разі екстремального курсу відхилення K_{otex} ($K_{ot \max}$ або $K_{ot \min}$).

Для визначення моменту часу t_d , тобто повороту на екстремальний курс ухилення K_{otex} за $\rho \leq 1$, наведемо рис. 3, з якого випливає:

$$t_d = \frac{OM}{V_{otn}},$$

де V_{otn} – початкова відносна швидкість.

Шукане значення визначається з виразу:

$$OM = \frac{x}{\sin(K_{otn} - K_{otex})},$$

де K_{otn} – початковий відносний курс.

У свою чергу,

$$x = y - D_d \text{ і } y = \Delta_y D \sin(K_{otex} - \alpha),$$

де $\Delta_y = \text{sign}[\sin(K_{otex} - K_{otn})] = \pm 1$.

Тому

$$t_d = \frac{\Delta_y D \sin(K_{otex} - \alpha) - D_d}{\Delta_y V_{otn} \sin(K_{otn} - K_{otex})}. \quad (3)$$

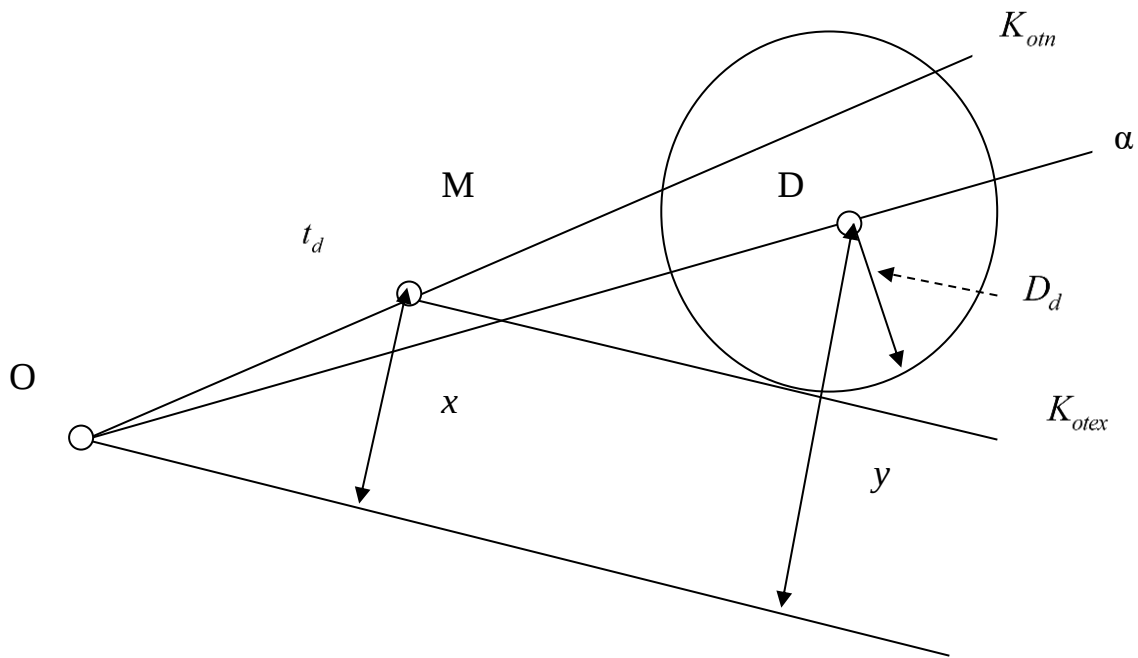


Рисунок 3 – Визначення величини t_d за $\rho < 1$

Отже, для випадку $\rho < 1$ розрахунок моменту часу t_d виконується за допомогою виразу (3). Тому у разі вибору судном, що оперує, маневру розходження зміною курсу момент часу t_d розраховується за допомогою виразу:

$$t_d = \begin{cases} \frac{D \cos(K_{otn} - \alpha) - \sqrt{D_d^2 - D^2 \sin^2(K_{otn} - \alpha)}}{V_{otn}}, & \rho \geq 1 \\ \frac{\Delta_y D \sin(K_{otex} - \alpha) - D_d}{\Delta_y V_{otn} \sin(K_{otn} - K_{otex})}, & \rho < 1 \end{cases}.$$

Таким чином, аналітично умова можливості застосування маневру розходження ухиленням полягає у справедливості нерівності $t_d > 0$.

Висновки

1. Наведено опис маневру розходження судна ухиленням та його характеристики.
2. Запропоновано визначення поняття граничного моменту часу t_d , коли судно потрапляє в підмножину неприпустимих позицій, у яких воно не може розійтися з ціллю на заданій дистанції.
3. Отримано аналітичні залежності для умови можливості застосування маневру розходження ухиленням.

ЛІТЕРАТУРА

1. Куликов А. М. Оптимальное управление расхождением судов / А. М. Куликов, В. В. Поддубный // Судостроение. – 1984. – № 12. – С. 22–24.
2. Цымбал Н. Н. Гибкие стратегии расхождения судов / Н. Н. Цымбал, И. А. Бурмака, Е. Е. Тюпиков. – Одесса: КП ОГТ, 2007. – 424 с.
3. Павлов В. В. Некоторые вопросы алгоритмизации выбора маневра в ситуациях расхождения судов/ В. В. Павлов, Н. И. Сеньшин // Кибернетика и вычислительная техника. – 1985. – № 68. – С. 43–45.
4. Кудряшов В. Е. Синтез алгоритмов безопасного управления судном при расхождении с несколькими объектами / В. Е. Кудряшов // Судостроение. – 1978. – №5. – С. 35–40.
5. Lisowski J. Dynamic games methods in navigator decision support system for safety navigation/ Lisowski J. // Advances in Safety and Reliability. – 2005. – Vol. 2. – London-Singapore, Balkema Publishers. – P. 1285–1292.
6. Пятаков Э. Н. Оценка эффективности парных стратегий расходящихся судов / Э. Н. Пятаков., С. И. Заичко // Судовождение: Сб. научн. трудов. / ОНМА, – Вып.15. – Одесса: "ИздатИнформ", 2008. – С. 166 – 171.
7. Вагущенко Л. Л. Расхождение с судами смещением на параллельную линию пути / Л. Л. Вагущенко. – Одесса: Фенікс, 2013. – 180 с.
8. Пятаков Э. Н. Взаимодействие судов при расхождении для предупреждения столкновения / Э. Н. Пятаков, Р. Ю. Бужбецкий, И. А. Бурмака, А. Ю. Булгаков – Херсон: Гринь Д.С., 2015. – 312 с.
9. Бурмака И. А. Управление судами в ситуации опасного сближения / И. А. Бурмака., Э. Н. Пятаков., А. Ю. Булгаков – LAP LAMBERT Academic Publishing, – Саарбрюккен (Германия), – 2016. – 585 с.
10. Бурмака И. А. Маневр расхождения трех судов изменением курсов/ И. А. Бурмака, А. Ю. Булгаков // Автоматизация судовых технических средств: науч.-техн. сб. – 2014. – Вып. 20. Одесса: ОНМА. – С. 18–23.

REFERENCES

1. Kulikov A. M. Optimum management by divergence of vessels / A. M. Kulikov, and V. V. Poddubnyy // Sudostroenie. – 1984. – №12. – P. 22–24.
2. Tsimbal N. N. Flexible strategies of divergence of vessels/ N. N. Tsimbal, I. A. Burmaka and E. E. Tyupikov. – Odessa: KP OGT, 2007. – 424 p.
3. Pavlov V. V. Some questions of choice of maneuver in the situations of divergence of vessels/ V. V. Pavlov, N. I. Senshin // Kibernetika i vychislitel'naya tekhnika. – 1985. – №68. – P. 43–45.
4. Kudryashov V. E. Synthesis of algorithms of safe management by a ship at divergence with a few objects / V. E. Kudryashov //Sudostroenie. – 1978. – №5. – P. 35–40.
5. Lisowski J. Dynamic games methods in navigator decision support system for safety navigation/ Lisowski J. // Advances in Safety and Reliability. – 2005. – Vol. 2. – London-Singapore, Balkema Publishers. – P. 1285–1292.

6. Pyatakov E. N. Estimation of efficiency of pair strategies of going away vessels / E. N. Pyatakov, S. I. Zaichko // Sudovozhdenie. – 2008. – №15. – P. 166–171.
7. Vagushchenko L. L. Divergence with vessels by displacement on the parallel line of way / L. L. Vagushchenko. – Odessa: Feniks. – 2013. – 180 p.
8. Pyatakov E. N. Cooperation of vessels at divergence for warning of collision / E. N. Pyatakov, R. Y. Buzhbeckij, I. A. Burmaka, A. Y. Bulgakov. – Kherson: Grin D. S. – 2015. – 312 p.
9. Burmaka I. Management by vessels in the situation of dangerous rapprochement / I. Burmaka, E. Pyatakov, A. Bulgakov. – LAP LAMBERT Academic Publishing, – Saarbryukken (Germany), – 2016. – 585 p.
10. Burmaka I. A. Maneuver of divergence of three vessels by the change of courses/ I. A. Burmaka, A. Y. Bulgakov // Avtomatizatsiya sudovyykh tekhnicheskikh sredstv. – 2014. – №20. – P. 18–23.

УДК 656.6:629.5

doi.org/10.33298/2226-8553.2023.1.37.11

Дубинець О.В.

МОЖЛИВІСТЬ КЕРУВАННЯ СИТУАЦІЄЮ НЕБЕЗПЕЧНОГО ЗБЛИЖЕННЯ

У статті розглянуто керованість ситуацією зближення зміною курсу судна. Запропоновано кількісну оцінку керованості ситуацією зближення судном та отримано аналітичний вираз для її розрахунку. Діяльність показано, що характеристика керованості ситуацією зближення залежить від величини відносини швидкості судна і цілі. У випадку, коли швидкість судна більша за швидкість цілі, то характеристика дорівнює одиниці, в іншому випадку вона не перевищує 0,5.

Ключові слова: безпека судноводіння, попередження зіткнення суден, маневр розходження ухиленням, керованість ситуацією зближення.

Постановка проблеми

Успішне вирішення проблеми забезпечення безпеки судноводіння веде до покращення охорони людського життя на морі, а також до зниження шкоди навколишньому середовищу та майну.

Плавання морських суден у стиснених районах ускладнене інтенсивним судноплавством та навігаційними перешкодами, які створюють передумови виникнення аварійних ситуацій. Тому у стиснених водах відбувається понад 80% усіх навігаційних аварій, що підтверджує велику складність умов плавання у стиснених водах.

Основною особливістю плавання у стиснених районах є швидкоплинна зміна навігаційної ситуації, що зумовлює необхідність розробки простих у застосуванні та оперативних методів забезпечення безпечного розходження суден у ситуаціях їх небезпечного зближення.

Процес розходження передбачає зміну ситуації небезпечного зближення на допустиму безпечну ситуацію за допомогою маневру розходження. Тому для процесу розходження важливою характеристикою є керованість ситуацією зближення, що показує потенційну

можливість зміни маневром розходження. Цим обумовлено розгляд керованості ситуації зближення.

Таким чином, дослідження керованості ситуацією зближення, чому присвячена дана стаття, є актуальним та перспективним науковим напрямом.

Аналіз останніх досягнень та публікацій

Багато робіт вітчизняних та зарубіжних вчених присвячені проблемі забезпечення безпечного розходження суден. Так, основні засади керування процесом розходження суден у ситуації небезпечного зближення розглянуті у роботі [1], а робота [2] присвячена дослідженню методів локально-незалежного керування та у ній запропоновано метод формування гнучких стратегій розходження, які враховують основні чинники.

У роботі [3] розглянуто формалізацію взаємодії суден за їхнього небезпечного зближення та у залежності від його типу вибір стратегії розходження для попередження зіткнення. Екстрену стратегію розходження в разі надмірного зближення суден запропоновано у роботі [4], а спосіб вибору оптимального стандартного маневру розходження пари суден запропоновано у роботі [5]. Врахування навігаційних небезпек та інерційності судна в процесі розрахунку параметрів маневру розходження розглянуто в роботах [6, 7].

У роботах [8, 9] наголошується, що завдання вибору оптимального маневру розходження відрізняється високим рівнем складності, з урахуванням того, що процес керування рухом судна є багатовимірним та нестационарним, а задачі розходження суден притаманний ігровий характер. Опис процесу розходження суден методами диференціальної різницевої гри запропоновано у роботі [10].

У роботі [11] викладено теоретичне обґрунтування автономної судової системи ухилення від зіткнення, в ній розглянуто алгоритм ухилення від зіткнення. Наведено вимоги до автономної навігації з урахуванням чинників, що впливають на процес ухилення від зіткнення.

Показано, що дослідження автоматизації керування судном можуть проводитись у класичному або комп'ютерному варіанті. Класичний варіант заснований на математичних моделях, а в разі комп'ютерного варіанту використаний штучний інтелект, тобто еволюційні алгоритми, логіка фуззі, експертні методи, нейромережі та комбінації цих методів.

Для оцінювання ефективності методів розходження суден необхідно розглянути можливість зміни небезпечної ситуації наближення ухиленням судна, що маневрує.

Мета дослідження. Метою статті є аналіз керованості ситуацією зближення судном за зміни його курсу.

Виклад основного матеріалу

Під керованістю судном ситуацією небезпечного зближення мається на увазі можливість змінити прогнозовану ситуацію небезпечного зближення на ситуацію зближення, що належить підмножині безпечних ситуацій.

Тому що для ситуації небезпечного зближення характерно те, що дистанція найкоротшого зближення $D_{\min}$ менша за допустиму станцію D_d , та безпечне розходження можливе збільшенням $D_{\min}$ до значення не меншого за D_d .

Враховуємо, що:

$$D_{\min} = |D \sin(K_{ot} - \alpha)|,$$

тому збільшення $D_{\min}$ можливо лише зміною відносного курсу K_{ot} . Отже, керованість судном ситуацією небезпечного зближення визначається можливістю судна забезпечити довільний відносний курс зміною свого курсу.

Очевидно, що з таких позицій визначення керованості судном ситуацією небезпечного зближення як її оцінку Q_{us} доцільно вибрати відношення множини M_s відносних курсів, які можливі в разі зміни курсу судна на 360° , до множини M_Σ всіх можливих відносних курсів.

Звертаємо увагу на те, що $M_\Sigma = 2\pi$. Тому $Q_{us} = \frac{M_s}{2\pi}$.

В разі маневрування судна з більшою, ніж у цілі, швидкістю зміна його курсу на 2π веде до зміни відносного курсу, як показано в роботі [1], також на 2π . Тому в цьому випадку $M_s = 2\pi$ і $Q_{us} = 1$.

Під час маневрування судна, швидкість V_1 якого менше за швидкість цілі V_2 , у разі зміни його курсу на 2π відносний курс змінюється у секторі, обмеженому відносними курсами $K_{ot\min}$ і $K_{ot\max}$, які відповідають курсам $K_{l\min}$ і $K_{l\max}$, як показано на рис. 1.

У роботі [1] показано, що дані відносні курси визначаються виразами $K_{ot\min} = \pi + K_2 - \arcsin \rho$ і $K_{ot\max} = \pi + K_2 + \arcsin \rho$.

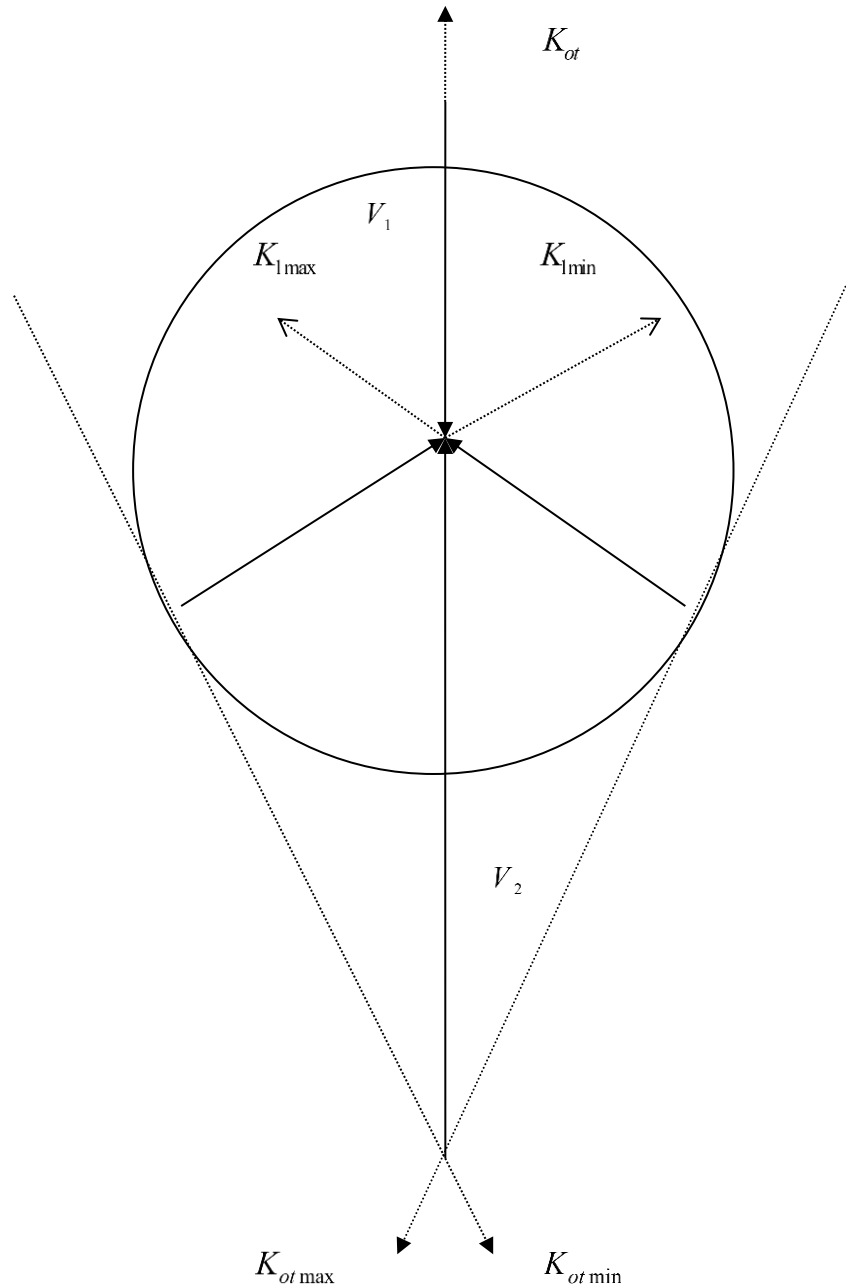


Рисунок 1 – Зміна відносного курсу K_{ot} залежно від курсу судна

Отже, безліч відносних курсів M_s характеризується дугою $s = 2 \arcsin \rho$, а оцінка керованості $Q_{us} = \frac{\arcsin \rho}{\pi}$.

Підсумовуючи вищевикладене, можна записати вираз для оцінки керованості судном ситуацією небезпечного зближення:

$$Q_{us} = \begin{cases} 1, & \text{if } \rho > 1; \\ \frac{\arcsin \rho}{\pi}, & \text{if } \rho \leq 1. \end{cases}$$

Висновки

1. Розглянуто поняття керованості ситуацією зближення судном за зміни його курсу.
2. Запропоновано оцінку керованості ситуацією зближення судном та отримано аналітичний вираз для її розрахунку.
3. Показано, що характеристика керованості ситуацією зближення залежить від величини відношення швидкості судна та цілі. Якщо швидкість судна більша за швидкість цілі, то характеристика дорівнює одиниці, в іншому випадку вона не перевищує 0,5.

ЛІТЕРАТУРА

1. Бурмака И. А. Управление судами в ситуации опасного сближения / И. А. Бурмака., Э. Н. Пятаков., А. Ю. Булгаков – LAP LAMBERT Academic Publishing, – Саарбрюккен (Германия), – 2016. – 585 с.
2. Цымбал Н. Н. Гибкие стратегии расхождения судов / Н. Н. Цымбал, И. А. Бурмака, Е. Е. Тюпиков. – Одесса: КП ОГТ, 2007. – 424 с.
3. Пятаков Э. Н. Взаимодействие судов при расхождении для предупреждения столкновения / Э. Н. Пятаков, Р. Ю. Бужбецкий, И. А. Бурмака, А. Ю. Булгаков – Херсон: Гринь Д.С., 2015. – 312 с.
4. Бурмака И. А. Экстренная стратегия расхождения при чрезмерном сближении судов / И. А. Бурмака, А. И. Бурмака, Р. Ю. Бужбецкий. – LAP LAMBERT Academic Publishing, 2014. – 202 с.
5. Сафин И. В. Выбор оптимального маневра расхождения / И. В. Сафин // Автоматизация судовых технических средств. – №7. – 2002. – С. 115–120.
6. Бурмака И. А. Результаты имитационного моделирования процесса расхождения судов с учетом их динамики / И. А. Бурмака // Судовождение. – 2005. – №10. – С. 21–25.
7. Петриченко Е. А. Вывод условия существования множества допустимых маневров расхождения с учетом навигационных опасностей / Е. А. Петриченко // Судовождение. – 2003. – №.6. – С. 103–107.
8. Lisowski J. Dynamic games methods in navigator decision support system for safety navigation/ Lisowski J. // Advances in Safety and Reliability. – 2005. – Vol. 2. – London-Singapore, Balkema Publishers. – P. 1285–1292.
9. Lisowski J. Game control methods in navigator decision support system / Lisowski J. // The Archives of Transport. – 2005. – No 3–4, Vol. XVII. – P. 133–147.
10. Lisowski J. Game and computational intelligence decision making algorithms for avoiding collision at sea/ Lisowski J. // Proc. of the IEEE Int. Conf. on Technologies for Homeland Security and Safety. – 2005. – Gdańsk. – P. 71–78.
11. Statheros Thomas. Autonomous ship collision avoidance navigation concepts, technologies and techniques / Statheros Thomas, Howells Gareth, McDonald-Maier Klaus. // J. Navig. – 2008. – 61, № 1. – P. 129–142.

REFERENCES

1. Burmaka I. Management by vessels in the situation of dangerous rapprochement / I. Burmaka, E. Pyatakov, A. Bulgakov. – LAP LAMBERT Academic Publishing, – Saarbrücken (Germany), – 2016. – 585 p.

2. Tsimbal N. N. Flexible strategies of divergence of vessels/ N. N. Tsimbal, I. A. Burmaka and E. E. Tyupikov. – Odessa: KP OGT, 2007. – 424 p.
3. Pyatakov E. N. Cooperation of vessels at divergence for warning of collision / E. N. Pyatakov, R. Y. Buzhbeckij, I. A. Burmaka, A. Y. Bulgakov. – Kherson: Grin D. S. – 2015. – 312 p.
4. Burmaka I. Urgent strategy of divergence at excessive rapprochement of vessels / I. Burmaka, A. Burmaka, R. Buzhbetskiy. – LAP LAMBERT Academic Publishing, 2014. – 202 p.
5. Safin I. V. Choice of optimum maneuver of divergence / I. V. Safin // Avtomatizatsiya sudovykh tekhnicheskikh sredstv. – 2002. – №7. – P. 115–120.
6. Burmaka Y. A. Results of imitation design of process of divergence of vessels taking into account their dynamics / Y. A. Burmaka // Sudovozhdenye: sb. nauchn. trudov. – 2005. – №10. – P. 21–25.
7. Petrichenko E. A. Conclusion of condition of existence of great number of possible manoeuvres of divergence taking into account navigation dangers/ E. A. Petrichenko // Sudovozhdenie. – 2003. – №6. – P. 103–107.
8. Lisowski J. Dynamic games methods in navigator decision support system for safety navigation/ Lisowski J. // Advances in Safety and Reliability. – 2005. – Vol. 2. – London-Singapore, Balkema Publishers. – P. 1285–1292.
9. Lisowski J. Game control methods in navigator decision support system / Lisowski J. // The Archives of Transport. – 2005. – No 3–4, Vol. XVII. – P. 133–147.
10. Lisowski J. Game and computational intelligence decision making algorithms for avoiding collision at sea/ Lisowski J. // Proc. of the IEEE Int. Conf. on Technologies for Homeland Security and Safety. – 2005. – Gdańsk. – P. 71–78.
11. Statheros Thomas. Autonomous ship collision avoidance navigation concepts, technologies and techniques / Statheros Thomas, Howells Gareth, McDonald-Maier Klaus. // J. Navig. – 2008. – 61, № 1. – P. 129–142.

УДК 629.5.078:656.075

doi.org/10.33298/2226-8553.2023.1.37.12

Головань А.І.

КОНЦЕПТУАЛЬНА МОДЕЛЬ ПЛАНУВАННЯ ТА ОПТИМІЗАЦІЇ ГРАФІКІВ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ВАНТАЖНИХ СУДЕН

Сучасний світ вимагає постійного розвитку та вдосконалення технічних засобів, особливо в сфері морського транспорту. Вантажні судна є важливою складовою глобальної торговельної системи, а тому актуальність дослідження технічного стану суднових технічних засобів не викликає сумнівів. Результати таких досліджень можуть мати значне практичне значення, оскільки вони сприяють підвищенню ефективності та безпеки морського транспорту.

Хоча існує багато досліджень, присвячених технічному обслуговуванню суден, багато аспектів цієї теми залишаються недостатньо дослідженими. Наприклад, вплив різних методів технічного обслуговування на ефективність судноплавства є темою, яка потребує подальшого дослідження. Аналіз наукової літератури з цієї теми вказує на існування проблеми відсутності достатньо ефективних методів моделювання процесів зміни технічного стану суднових

технічних засобів, тому ця проблема є актуальною і потребує подальшого наукового дослідження.

У статті визначено, що задачі прогнозування та планування технічного обслуговування вантажних суден можуть бути ефективно вирішені за допомогою аналітичних та статистичних моделей, зокрема Марківських моделей, які дозволяють моделювати процеси зносу та пошкоджень.

У статті проведено порівняльний аналіз аналітичних та статистичних моделей, що використовуються для моделювання процесів зміни технічного стану суднових технічних засобів вантажних суден. Особлива увага приділена Марківським моделям, які виявилися особливо корисними для моделювання процесів зносу та пошкоджень.

Досліджено важливість розгляду вантажного судна як складного об'єкта, що включає різні конструктивні компоненти та системи, що його обслуговують. Визначено, що врахування цих факторів може допомогти в плануванні та оптимізації технічного обслуговування, підвищуючи тим самим надійність суден і знижуючи загальні витрати на експлуатацію.

Ключові слова: моделювання, технічний стан, вантажні судна, аналітичні моделі, статистичні моделі, Марківські моделі, технічне обслуговування.

Постановка проблеми. Стаття висвітлює проблему моделювання процесів зміни технічного стану суднових технічних засобів вантажних суден. Це важливе питання, оскільки ефективність та безпека морського транспорту в значній мірі залежать від технічного стану суден. Неадекватне або неправильне моделювання цих процесів може призвести до неправильного обслуговування або ремонту суден, що, у свою чергу, може призвести до аварій та інших небезпечних ситуацій.

У контексті наукових завдань, стаття спрямована на розробку нових або вдосконалення існуючих математичних моделей для опису процесів зміни технічного стану суднових технічних засобів. Це може включати вивчення різних факторів, які впливають на ці процеси, та розробку методів для їх кількісної оцінки.

З практичної точки зору, результати цієї роботи можуть бути використані для покращення процедур обслуговування та ремонту суден, а також для планування та оптимізації їх експлуатації. Крім того, вони можуть допомогти в управлінні ризиками, пов'язаними з технічним станом суден, та в підвищенні загальної безпеки морського транспорту.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В цілому, аналіз останніх досліджень і публікацій вказує на важливість використання аналітичних та статистичних моделей для моделювання процесів зміни технічного стану вантажних суден [1]. Це може допомогти в плануванні та оптимізації технічного обслуговування [2], підвищуючи тим самим надійність суден і знижуючи загальні витрати на експлуатацію [3]. Використання Марківських моделей, зокрема, може допомогти в плануванні та оптимізації графіка обслуговування, передбачення потреби в ремонті та заміні компонентів [4]. Вони дозволяють моделювати процеси зносу та пошкоджень, які є відмінними властивостями експлуатації вантажних суден [5]. Також аналіз вказує на важливість розгляду вантажного судна як складного об'єкта, що включає різні конструктивні компоненти та системи, що його обслуговують [6]. Кожний з цих компонентів і систем може перебувати в різних станах (робочий, неробочий - виконання позапланового ТО, виконання запланованого ТО), що впливає на загальний технічний стан судна [7].

Врахування цих факторів може допомогти в плануванні та оптимізації технічного обслуговування, підвищуючи тим самим надійність суден і знижуючи загальні витрати на експлуатацію.

Мета дослідження полягає в розробці ефективних методів та моделей для планування та оптимізації технічного обслуговування вантажних суден, що допоможуть збільшити надійність суден і знизити загальні витрати на експлуатацію.

Основні результати дослідження. Основою моделей, що описують закономірності зміни технічного стану, є моделі закономірностей розвитку та накопичення пошкоджень. У цьому контексті використовуються аналітичні та статистичні моделі.

З традиційної практики, аналітичні моделі використовуються на етапі розробки нових технологій обробки, створення та дослідження матеріалів, що беруть участь в процесі зносу, виявлення причин незадовільних експлуатаційних якостей тощо.

Аналітичні моделі представляють собою найбільш строго обґрунтований опис процесів зносу і відрізняються повнотою врахування факторів. При цьому широко використовуються експериментальні дані, а також експлуатаційні дані про знос. Однак, з їх допомогою досить складно моделювати випадкові експлуатаційні фактори, що діють в інтервалі між технічним обслуговуванням суднових технічних засобів.

У контексті технічного обслуговування вантажних суден, ці моделі можуть бути застосовані для прогнозування технічного стану судна, включаючи різні складові, такі як двигуни, корпус, рушій, навігаційне обладнання, енергетичне обладнання, тощо. Особливість цього сектора полягає у тому, що випадкові експлуатаційні фактори можуть включати різноманітні умови моря, навантаження, погодні умови та інші фактори, які впливають на стан судна та його технічних засобів між плановими технічними обслуговуваннями.

Іншим напрямком у моделюванні процесів зміни технічного стану є використання статистичних моделей. Базуючись на них, було побудовано теорію масового обслуговування [8], що дозволяє розв'язувати задачі прогнозування потреби у технічному обслуговуванні на основі статистичних даних, не заглиблюючись в сутність фізичних процесів. Найбільшого поширення набули Марківські моделі, які можуть допомогти в плануванні та оптимізації графіка обслуговування, передбачення потреби в ремонті та заміні компонентів. Статистичні моделі, особливо Марківські, виявляються корисними, оскільки вони можуть моделювати процеси зносу та пошкоджень, які є відмінними властивостями експлуатації вантажних суден.

Марківські моделі займають особливе місце в сучасному теоретичному підході до моделювання процесів технічного обслуговування та експлуатації вантажних суден. Завдяки своїм властивостям з урахуванням випадковості та непередбачуваності, вони стають незамінними в інструментах прогнозування та планування.

Основне припущення Марківського процесу полягає у тому, що майбутній стан системи залежить виключно від поточного стану, а не від шляху, яким було досягнуто цього стану. У контексті технічного обслуговування вантажних суден, це може бути інтерпретовано так, що поточний стан судна (наприклад, рівень зносу чи пошкоджень компонентів) впливає на його майбутній стан.

Марківські моделі можуть використовуватися для моделювання широкого спектра сценаріїв, включаючи динаміку зносу суднових технічних засобів, імовірності виникнення дефектів або несправностей, імовірність необхідності проведення певного виду технічного обслуговування та багато іншого. Це може служити основою для ефективного планування та оптимізації технічного обслуговування, підвищуючи тим самим надійність суден і знижуючи загальні витрати на експлуатацію.

Основа використання цього методу полягає в уявленні процесу зміни технічного стану вантажного судна як випадкового [9]. Можливі стани об'єкта представляються у вигляді графа, вершинами якого є стани з імовірностями перебування у них P_i , а стрілки вказують напрямки можливих переходів з відповідними інтенсивностями λ_{ij} .

Найбільшого поширення набули однорідні Марківські моделі, коли інтенсивність переходу λ_{ij} не залежить від інтервалу часу Δt і від того, в який момент часу t на осі часу починається цей елементарний відрізок. Вказана задача зводиться до вирішення системи рівнянь Чепмена-Колмогорова при постійних інтенсивностях переходу $\lambda_{ij} = \text{const}$ (однорідний процес) або зі змінними інтенсивностями $\lambda_{ij} = f(t)$ (неоднорідний процес). Описаний підхід може бути використаний для аналізу та прогнозування різних сценаріїв технічного обслуговування судна, включаючи динаміку зносу технічних засобів, частоту та

тривалість ремонтних робіт, а також можливості для планування технічного обслуговування та мінімізації простоїв судна.

Для обчислення комплексних показників надійності складного об'єкта, який складається з багатьох компонентів, у яких відбуваються різні процеси зміни технічного стану, потрібно виділити принаймні три основних стани:

1. Робочий, 2. Неробочий - виконання позапланового ТО, 3. Виконання запланованого ТО.

Причому в цих станах може перебувати кожна конструктивна компонента складного об'єкта і системи.

Складний об'єкт, наприклад, головний двигун вантажного судна, може розглядатися як об'єкт, який забезпечує виконання основної функції - надання судну руху з заданими показниками. Ця функція підтримується робочим станом компонентів конструкції самого двигуна, а також робочим станом систем, що його обслуговують. Кожна з компонент конструкції підлягає запланованому ТО і може підлягати позаплановому ТО у випадку відмови. Точно так само, кожна з систем і їх компонентів може підлягати запланованим і позаплановим видам ТО.

Якщо відомі інтенсивності відмов компонентів і систем, інтенсивності їх відновлення, інтенсивності запланованих ТО і виконання запланованих ТО, можуть бути визначені комплексні показники надійності з рівнянь Чепмена-Колмогорова.

Інтенсивності відмов і запланованих ТО, а також відновлення і виконання запланованих ТО залежать від конфігурації системи ТО, а також від властивостей самого об'єкта і характеру процесів, що в ньому відбуваються. Це може стати основою для детального планування та оптимізації технічного обслуговування вантажного судна.

Наприклад, головний двигун вантажного судна може розглядатися як об'єкт, що складається з наступних конструктивних компонентів:

А. Остов, фундаментна рама, кріплення до судового фундаменту.

В. Кришка циліндра з компонентами. С. Колінчастий вал, упорний підшипник та підшипники рами. D. Шатун із підшипниками.

Е. Поршень із штоком, сальник штока. F. Втулки циліндрів.

G. Крейцкопф, підшипники крейцкопфа, паралелі.

Н. Привід розподільчого валу (для двигунів з традиційними механічними системами управління).

І. Розподільчий вал із підшипниками (для двигунів з традиційними механічними системами управління).

J. Привід газорозподільчих органів (для двигунів з традиційними механічними системами управління).

К. Електронні контролери подачі палива і управління клапанами (для двигунів з електронною подачею палива та електронним газорозподілом).

L. Вихлопні клапани. M. Демпфер.

Щодо систем, що обслуговують двигун, можна виділити наступні:

A. Система управління, запуску та реверсу. B. Система подачі повітря.

C. Паливна система. D. Система циркуляційного змащування.

E. Система змащування циліндрів. F. Система охолодження.

G. Система контролю. H. Дренажна система.

I. Система вентиляції картера. J. Вихлопна система.

В свою чергу, кожна система розглядається як сукупність різноманітних компонентів. Інтенсивності відмов у результаті виконання незалежних процесів можуть вважатися сумами інтенсивностей відмов за відповідними видами та причинами. Інтенсивності відмов складних компонентів можуть розглядатися через відповідні коефіцієнти відмов.

Позначимо індексом i - поточний стан, яких може бути загалом $2(M + N)$, де M - кількість вузлів, що підлягають ТО та беруть участь у розрахунку, N - кількість систем двигуна, що підлягають ТО. Множник "2" означає, що різновид ТО може бути як плановим,

так і позаплановим. Лише один стан відповідає робочому стану головного дизеля і його систем, тому загальна кількість станів складає $2(M + N) + 1$.

Цей підхід дозволяє враховувати різні стани технічного стану і складності системи технічного обслуговування вантажного судна, що включає численні компоненти і системи. Залежно від конкретних умов, різні компоненти і системи можуть мати різні відмови і рівні надійності, що слід враховувати при плануванні та проведенні технічного обслуговування. На Рисунку 1 представлено граф можливих станів головного двигуна, що використовується для розрахунку комплексних показників надійності. Стан S є працездатним.

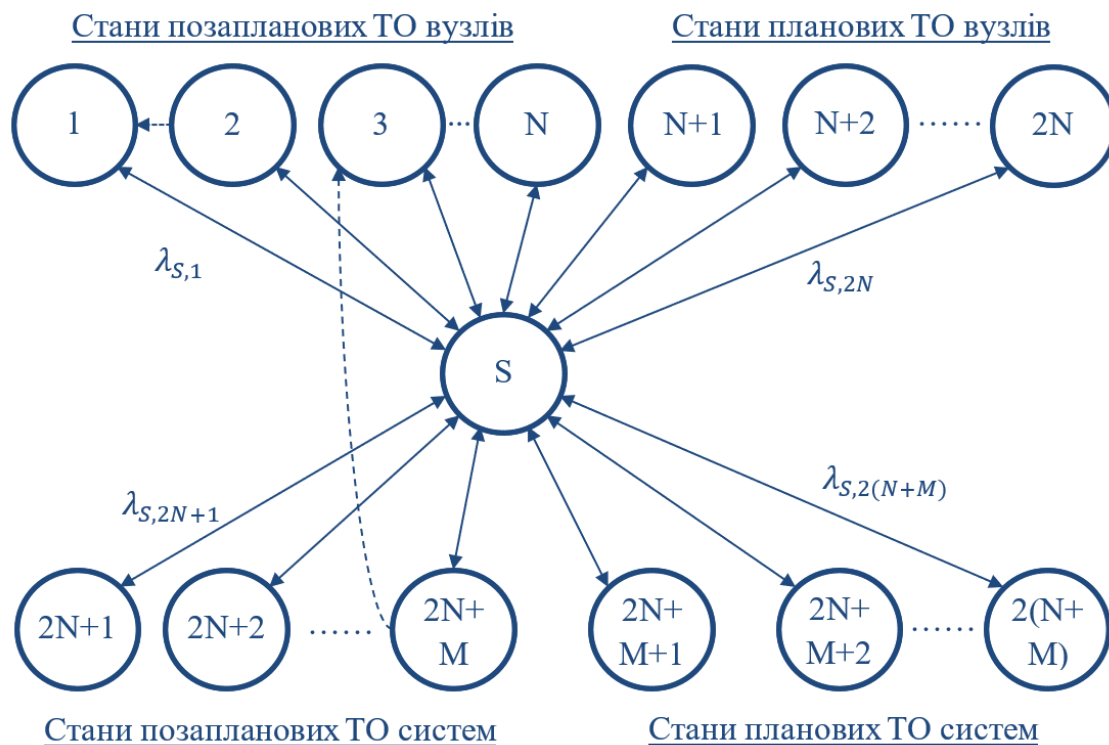


Рисунок 1 - Граф станів суднового технічного засобу (на прикладі головного двигуна)

При $i = 1, 2, \dots, N$ маємо місце непланові ТО внаслідок відмови вузла, $i = (N + 1), (N + 2), \dots, (2N)$ - планові ТО вузла. При $i = (2N + 1), (2N + 2), \dots, (2N + M)$ - позапланові ТО системи внаслідок відмови, а при $i = (2N + M + 1), (2N + M + 2), \dots, 2(N + M)$ - планові ТО системи. Система рівнянь для розрахунку значень ймовірностей відповідних станів визначається розв'язанням системи рівнянь Чепмена-Колмогорова (рівняння 1).

Така модель дозволяє детально враховувати окремі можливі стани головного двигуна в рамках технічного обслуговування вантажного судна. Це забезпечує більш точний і деталізований аналіз надійності, враховуючи різні види ТО - як планові, так і непланові, для різних вузлів та систем. Система рівнянь Чепмена-Колмогорова, використана в цьому контексті, дозволяє обчислити ймовірності перебування в різних станах на основі інтенсивностей переходів між ними.

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dP_1(t)}{dt} = -\mu_{1,S} \cdot P_1(t) + \lambda_{S,1} \cdot P_S(t) \\ \frac{dP_2(t)}{dt} = -\mu_{2,S} \cdot P_2(t) + \lambda_{S,2} \cdot P_S(t) \\ \dots \dots \dots \dots \dots \\ \frac{dP_i(t)}{dt} = -\mu_{i,S} \cdot P_i(t) + \lambda_{S,i} \cdot P_S(t) \\ \frac{dP_S(t)}{dt} = \sum_{i=1}^{M+N} \mu_{i,S} \cdot P_i(t) - P_S(t) \sum_{i=1}^{M+N} \lambda_{S,i} \end{array} \right. \quad (1)$$

У випадку, коли встановлено зв'язок відмови вузла або системи з відмовами інших вузлів та систем, система рівнянь ускладнюється через появу додаткових членів, що враховують інтенсивність зв'язаних відмов.

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dP_1(t)}{dt} = -\mu_{1,S} \cdot P_1(t) + \lambda_{S,1} \cdot P_S(t) + \lambda_{2,1} \cdot P_2(t) \\ \frac{dP_2(t)}{dt} = -\mu_{2,S} \cdot P_2(t) + \lambda_{S,2} \cdot P_S(t) - \lambda_{2,1} \cdot P_2(t) \\ \frac{dP_3(t)}{dt} = -\mu_{3,S} \cdot P_3(t) + \lambda_{S,3} \cdot P_S(t) + \lambda_{(2N+3),3} \cdot P_{2N+3}(t) \\ \dots \dots \dots \dots \dots \\ \frac{dP_{2N+3}(t)}{dt} = -\mu_{(2N+3),S} \cdot P_{2N+3}(t) + \lambda_{S,3} \cdot P_S(t) - \lambda_{(2N+3),3} \cdot P_{2N+3}(t) \\ \dots \dots \dots \dots \dots \\ \frac{dP_i(t)}{dt} = -\mu_{i,S} \cdot P_i(t) + \lambda_{S,i} \cdot P_S(t) \\ \frac{dP_S(t)}{dt} = \sum_{i=1}^{M+N} \mu_{i,S} \cdot P_i(t) - P_S(t) \sum_{i=1}^{M+N} \lambda_{S,i} \end{array} \right. \quad (2)$$

Наприклад, якщо відмова вузла 2 призводить до відмови вузла 1, і відмова системи M призводить до відмови вузла 3, то система рівнянь (1) набуває форми (2).

Прикладами таких зв'язків відмов можуть бути відмови підшипників шатунів через пошкодження теплообмінника і відмови системи змащування. Іншим прикладом може бути відмова системи охолодження, що веде до перегріву двигуна і можливої відмови циліндрів або підшипників. Або, наприклад, відмова системи живлення, яка може призвести до збою в системі управління, що, в свою чергу, може призвести до відмови двигуна.

Числове розв'язання цієї істотно розрідженої системи диференціальних рівнянь навіть при змінних у часі інтенсивностях відмов не представляє суттєвих ускладнень. Основною проблемою є збір надійних експлуатаційних даних та визначення інтенсивностей відмов та відновлень.

Як правило, на практиці, відсутня вибірка необхідних параметрів. Навіть при наявності значної кількості відмов, вимагається, щоб ці відмови, будучи розбиті за видами, вузлами, системами тощо, представляли репрезентативну вибірку. Зазвичай це нереально. Отже, було б значущим кроком вперед вирішити цю задачу визначення інтенсивностей відмов та відновлень за допомогою експлуатаційних звітних даних, які включають закономірності зміни технічного стану. Одним з шляхів вирішення цієї задачі є методологія, заснована на цифрових двійниках і аналізу даних в реальному часі [10].

Для опису процесів зміни технічного стану також може бути застосований цей самий метод Марківських процесів. При цьому заздалегідь повинна бути сформована система можливих станів на шляху від робочого стану після технічного обслуговування або виробництва

до планового ТО або відмови. Основною особливістю цих станів є те, що самостійно, без проведення технічного обслуговування, об'єкт не може покращити технічний стан.

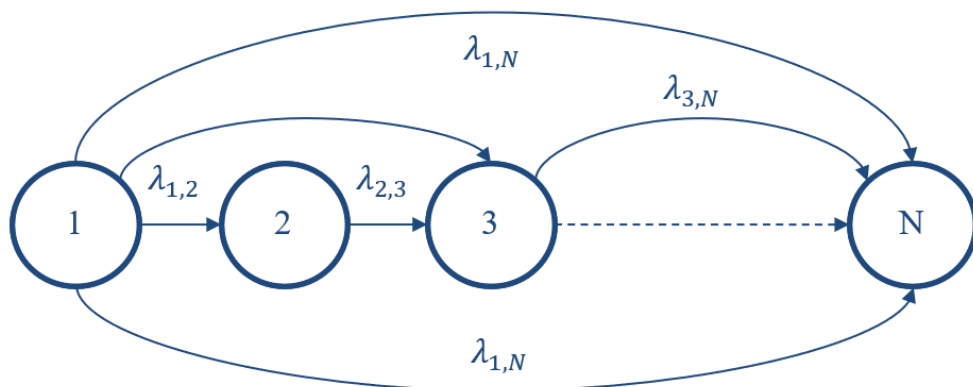


Рисунок 2 - Граф зміни технічного стану

При деградації технічного стану він може переходити з категорії в категорію з різною швидкістю, що може, зокрема, виражатися в переході в іншу категорію, минаючи проміжну категорію. На Рисунку 2 представлено умовний граф зміни технічного стану.

Система рівнянь, що описує динаміку зміни технічних станів, може бути представлена у вигляді (3). Так само, як і в попередньому випадку, основна проблема полягає в отриманні необхідної інформації про фактичні значення інтенсивностей переходу з одного стану в інший (λ).

[illegible]

Кількість проміжних станів між початковим (1) і кінцевим (N) є тим більшою, чим більше кількість ділянок з особливостями зміни технічного стану потрібно виділити. А проблема наявності достатньої статистичної інформації загострюється зі збільшенням числа можливих станів що потрібно виділити. Тому найчастіше задачу вирішують виділенням двох станів (робочого і неробочого).

Іншим суттєвим недоліком цього методу є складність обліку властивостей планово-попереджувальної системи технічного обслуговування. Якщо для регламентованого методу технічного обслуговування принципової складності не виникає, то для методів технічного обслуговування за станом (з виконанням прогнозу і адаптацією періодичності виявленому стану), а тим більше комбінованих методів технічного обслуговування, побудова алгоритму функціонування об'єднаної моделі об'єкт-система технічного обслуговування стає складною задачею.

Разом з тим Марківські моделі можуть бути використані для дослідження об'єкта в цілому, що має кінцеву кількість елементів, видів відмов елементів і систему технічного обслуговування. Система технічного обслуговування налаштована на попередження відмов певного виду (за результатами аналізу критичності), роботи за технічним обслуговуванням об'єднуються в комплекси. Відповідно кожен комплекс, налаштований на попередження найбільш критичних відмов автоматично забезпечує попередження інших з кінцевою ефективністю.

В змішаній моделі інтенсивності переходу з різних станів можуть бути отримані через величини інтенсивностей зношування, таким чином дозволяючи об'єднати фізичну модель з Марківською чи напівмарківською.

Висновки. Основні висновки дослідження включають:

1. В результаті проведеного дослідження була розроблена нова модель для моделювання процесів зміни технічного стану суднових технічних засобів вантажних суден. Ця модель дозволяє більш точно прогнозувати зміни в технічному стані суднових технічних засобів, що сприяє підвищенню ефективності та безпеки морського транспорту.

2. Отримані результати можуть бути пояснені застосуванням сучасних методів моделювання та аналізу даних. Використання цих методів дозволило виявити нові закономірності в процесах зміни технічного стану суднових технічних засобів.

3. Результати цього дослідження можуть бути корисними як в теоретичному, так і в практичному аспектах. З теоретичної точки зору, вони сприяють розвитку наукових знань в області моделювання технічних процесів. З практичної точки зору, вони можуть бути використані для підвищення ефективності та безпеки вантажних суден.

В цілому, дослідження вказує на важливість використання аналітичних та статистичних моделей для моделювання процесів зміни технічного стану вантажних суден. Це може допомогти в плануванні та оптимізації технічного обслуговування, підвищуючи тим самим надійність суден і знижуючи загальні витрати на експлуатацію.

ЛІТЕРАТУРА

1. Lazakis, I., Raptodimos, Y., & Varelas, T. (2017). Predicting ship machinery system condition through analytical reliability tools and artificial neural networks. *Ocean Engineering*, 152, 404–415. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2017.11.017>
2. Oikonomou, S., Lazakis, I., & Papadakis, G. (2019). An Innovative Machine Learning System for Real Time Condition Monitoring of Ship Machinery. In *Lecture notes in civil engineering*. Springer Nature. https://doi.org/10.1007/978-981-15-4672-3_47
3. Dynamic reliability analysis tool for ship machinery maintenance. (2015). In *CRC Press eBooks* (pp. 639–646). <https://doi.org/10.1201/b18855-83>
4. Verma, A. K., Srividya, A., Ramesh, P. G., Deshpande, A., & Sadiq, R. (2016). Expert Knowledge Base in Integrated Maintenance Models for Engineering Plants. In *Studies in fuzziness and soft computing*. Springer Nature. https://doi.org/10.1007/978-3-319-32229-2_36
5. Tan, A., Kim, Y., & Kosse, V. (2008). Condition monitoring of low-speed bearings — a review. *Australian Journal of Mechanical Engineering*, 6(1), 61–68. <https://doi.org/10.1080/14484846.2008.11464558>
6. Michala, A. L., & Lazakis, I. (2016). Ship machinery and equipment wireless condition monitoring system. In *University of Strathclyde Publishing eBooks* (pp. 63–69). <http://eprints.gla.ac.uk/138003/>
7. Dimopoulos, G., Georgopoulou, C., & Stefanatos, J. (2019). Advanced Ship Machinery Modeling and Simulation. In *Springer eBooks* (pp. 433–464). https://doi.org/10.1007/978-3-030-02810-7_14
8. Zhang, Y., Ren, S., Liu, Y., & Si, S. (2017). A big data analytics architecture for cleaner manufacturing and maintenance processes of complex products. *Journal of Cleaner Production*, 142, 626–641. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.07.123>
9. Alhouli, Y. (2011). Development of Ship Maintenance Performance Measurement Framework to Assess the Decision Making Process to Optimise in Ship Maintenance Planning. In *[Thesis]. Manchester, UK: The University of Manchester; 2011.* <https://ethos.bl.uk/OrderDetails.do?uin=uk.bl.ethos.532215>
10. Головань, А. (2023). Розроблення систем інформаційного забезпечення підтримки технічної придатності суден торгового флоту України на основі цифрових двійників і аналізу

даних в реальному часі (0123U102159). <https://nddkr.ukrintei.ua/view/rk/d1025734d23e9a0005f89ffa7dc9a215>

REFERENCES

1. Lazakis, I., Raptodimos, Y., & Varelas, T. (2017). Predicting ship machinery system condition through analytical reliability tools and artificial neural networks. *Ocean Engineering*, 152, 404–415. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2017.11.017>
2. Oikonomou, S., Lazakis, I., & Papadakis, G. (2019). An Innovative Machine Learning System for Real Time Condition Monitoring of Ship Machinery. In *Lecture notes in civil engineering*. Springer Nature. https://doi.org/10.1007/978-981-15-4672-3_47
3. Dynamic reliability analysis tool for ship machinery maintenance. (2015). In *CRC Press eBooks* (pp. 639–646). <https://doi.org/10.1201/b18855-83>
4. Verma, A. K., Srividya, A., Ramesh, P. G., Deshpande, A., & Sadiq, R. (2016). Expert Knowledge Base in Integrated Maintenance Models for Engineering Plants. In *Studies in fuzziness and soft computing*. Springer Nature. https://doi.org/10.1007/978-3-319-32229-2_36
5. Tan, A., Kim, Y., & Kosse, V. (2008). Condition monitoring of low-speed bearings — a review. *Australian Journal of Mechanical Engineering*, 6(1), 61–68. <https://doi.org/10.1080/14484846.2008.11464558>
6. Michala, A. L., & Lazakis, I. (2016). Ship machinery and equipment wireless condition monitoring system. In *University of Strathclyde Publishing eBooks* (pp. 63–69). <http://eprints.gla.ac.uk/138003/>
7. Dimopoulos, G., Georgopoulou, C., & Stefanatos, J. (2019). Advanced Ship Machinery Modeling and Simulation. In *Springer eBooks* (pp. 433–464). https://doi.org/10.1007/978-3-030-02810-7_14
8. Zhang, Y., Ren, S., Liu, Y., & Si, S. (2017). A big data analytics architecture for cleaner manufacturing and maintenance processes of complex products. *Journal of Cleaner Production*, 142, 626–641. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.07.123>
9. Alhouli, Y. (2011). Development of Ship Maintenance Performance Measurement Framework to Assess the Decision Making Process to Optimise in Ship Maintenance Planning. In *[Thesis]. Manchester, UK: The University of Manchester; 2011.* <https://ethos.bl.uk/OrderDetails.do?uin=uk.bl.ethos.532215>
10. Golovan, A. (2023). Development of information support systems for maintaining the technical serviceability of Ukrainian merchant ships based on digital twins and real-time data analysis [Rozroblennia system informatsiinoho zabezpechennia pidtrymky tekhnichnoi prydatnosti suden torhovoho flotu Ukrainy na osnovi tsyfrovych dviinykiv i analizu danykh v realnomu chasi] (0123U102159). <https://nddkr.ukrintei.ua/view/rk/d1025734d23e9a0005f89ffa7dc9a215> [in Ukrainian]

Golovan A.I.

CONCEPTUAL MODEL OF PLANNING AND OPTIMIZATION OF CARGO VESSEL MAINTENANCE SCHEDULES

The modern world requires continuous development and improvement of technical means, especially in the field of maritime transport. Cargo ships are an important part of the world trade system, and therefore the importance of research into the technical condition of shipboard equipment is undeniable. The results of such studies can be of considerable practical importance in improving the efficiency and safety of maritime transport. Although there is a large body of research on ship maintenance, many aspects of this topic remain under-researched. For example, the impact of different maintenance methods on shipping efficiency is a topic that requires further research. An analysis of the scientific literature on this topic indicates that there is a problem of lack of sufficiently effective methods for modeling the processes

of changing the technical condition of the ship's technical means, so this problem is relevant and requires further scientific research.

The article states that the tasks of forecasting and planning the maintenance of cargo ships can be effectively solved by analytical and statistical models, in particular, by Markov models, which allow modeling the processes of wear and damage.

The article provides a comparative analysis of analytical and statistical models used to model the processes of changes in the technical condition of on-board technical means of cargo ships. Special attention is paid to Markov models, which have proven to be particularly useful for modeling wear and damage processes.

The importance of considering a cargo ship as a complex object that includes various structural components and systems serving it is investigated. It is found that taking these factors into account can help to plan and optimize maintenance, thereby increasing ship reliability and reducing overall operating costs.

Keywords: modeling, technical condition, cargo ships, analytical models, statistical models, Markov models, maintenance.

УДК 656.5:656.63

doi.org/10.33298/2226-8553.2023.1.37.13

Мельник О.М.

АКТУАЛЬНІ ПРОБЛЕМИ БЕЗПЕКИ МОРСЬКОГО ТРАНСПОРТУ. ТЕНДЕНЦІЇ, РИЗИКИ ТА СТРАТЕГІЇ ВРЕГУЛЮВАННЯ

У контексті зростання вимог до безпеки та ефективності операцій на морському транспорті стає актуальним проведення аналізу основних викликів і загроз, з якими стикаються судновласники, оператори та регуляторні органи. У цій статті звертається увага на актуальні проблеми безпеки морського транспорту, досліджуються їх тенденції, потенційні ризики та можливі стратегії регулювання. Особлива увага приділяється проблемам, пов'язаним із навігацією, технічним станом суден, навчанням екіпажів, а також впливом факторів довкілля на безпеку морського транспорту. У статті проводиться аналіз існуючих стратегій та регуляторних механізмів, спрямованих на безпеку морського транспорту. Розглядаються підходи до управління ризиками, включаючи використання нових технологій, запровадження міжнародних стандартів та співробітництво між країнами. Результати дослідження надають корисні рекомендації для судновласників, операторів суден та регуляторних органів з метою підвищення безпеки морського транспорту. Аналіз проблем безпеки та запропоновані стратегії врегулювання спряють розробленню ефективних заходів підвищення безпеки експлуатації суден, зниження ризиків та забезпечення безпеки морських перевезень.

Ключові слова: безпека морського транспорту, морське перевезення вантажів, ризики, стратегії регулювання, навігація і управління суднами, технічний стан суден, навчання екіпажів, людський фактор, фактори довкілля.

Постановка проблеми. Недостатня увага до безпеки, недосконалість заходів безпеки, недостатній рівень впровадження міжнародних стандартів та слабе співробітництво між країнами є основними факторами, що призводять до загроз безпеці морського транспорту. Розв'язання цієї проблеми передбачає необхідність розробки інноваційних підходів,

впровадження нових технологій та політик, підвищення свідомості і культури безпеки серед учасників морського транспорту, а також підтримку міжнародного співробітництва з метою створення єдиної системи безпеки на морі.

Аналіз літератури. Морський і внутрішній водний транспорт є складною і динамічною системою, яка відіграє важливу роль у світовій економіці та поєднанні різних регіонів світу. Його розвиток та ефективна експлуатація потребують постійного вдосконалення технологій, суворого дотримання стандартів безпеки та управління ризиками, а також врахування навколишнього середовища та змін у глобальній торгівлі.

Багато досліджень розглядають проблеми безпеки та безпекові заходи в морському транспорті. Дослідження ризиків та безпеки в морському транспорті та визначення напрямків подальших досліджень представлено у [1]. Вимоги до безпеки морського транспорту в перевезенні вибухових матеріалів визначено у [2]. Наукова праця [3] розглядає заходи безпеки та захист при перевезенні ядерних речовин морським транспортом. Виклики та можливості для покращення безпеки в морському транспорті в Арктиці вивчені у [4]. Розробка інструменту безпеки морського транспорту для операцій перевезення на внутрішніх водних шляхах запропоновано в [5]. Оцінка безпеки ключових вузлів морського транспорту в Китаї [6]. Моделювання паттерни поведінки ключових показників продуктивності для покращення безпеки організації в морському транспорті [7]. Порівняльний аналіз умов у сфері охорони праці в морському транспорті пасажирських та вантажних суден в Норвегії представлено в [8]. Оцінка потенційного негативного впливу системи факторів на експлуатаційний стан судна під час перевезення надгабаритних та важких вантажів та природа походження основних проблем безпеки та потенційних загроз судноплавству [9-10].

Загальний аналіз досліджень, проведених у галузі безпеки морського транспорту, показує, що ця проблема є важливою та має багатоаспектний характер. Ці дослідження надають підстави для розвитку стратегій та політик, спрямованих на покращення безпеки та зменшення ризиків у морському транспорті, що є актуальним завданням.

Мета статті. Мета даної статті полягає у проведенні аналізу проблем безпеки морського транспорту та виявленні основних факторів, що спричиняють загрози та ризики в цій галузі. Розробка рекомендацій та стратегій щодо поліпшення безпеки морського транспорту, впровадження ефективних заходів та співробітництва, а також поширення і підтримка свідомості про важливість безпеки у всіх аспектах морського транспорту.

Основна частина. Водний транспорт - це комплексна система, яка забезпечує переміщення вантажів та пасажирів транспортними артеріями з використанням морських та річкових транспортних засобів, та відповідної інфраструктури. Він відіграє важливу роль у глобальній економіці, забезпечуючи міжнародну торгівлю, перевезення енергетичних ресурсів та економічне зближення різних регіонів світу.

Окремо морський транспорт характеризується високою вантажопідйомністю та здатністю перевозити великі обсяги вантажів на великі відстані, володіючи широким географічним охопленням, що дозволяє здійснювати транспортування у найвіддаленіших і найдоступніших регіонах світу. Морські судна відрізняються різноманітними конструктивними особливостями та включають досить широкий спектр спеціалізацій, кожна з яких призначена для певного виду перевезень. Однією з ключових особливостей морського транспорту є його міжнародний характер та наявність судноплавних шляхів, що з'єднують різні країни та континенти, забезпечуючи тим самим міжнародну торгівлю та культурний обмін. Це вимагає дотримання міжнародних норм та стандартів, а також співпраці між державами у сфері безпеки та охорони навколишнього середовища.

Втім морський транспорт також стикається з певними викликами. Серед них - необхідність дотримання суворих стандартів, боротьба із забрудненням довкілля, управління ризиками та проблеми безпеки портів. Крім того, морський транспорт піддається впливу погодних умов та змін клімату, що потребує вжиття відповідних заходів для забезпечення безпеки та ефективності його експлуатації.

Сучасне судно є комплексною системою, яка має бути керована у трьох основних аспектах. По-перше це управління та маневрування судном як технічним об'єктом, що спрямоване на забезпечення безпеки морського перевезення вантажів та пасажирів. Це процес включає в себе експлуатацію та контроль за навігаційними системами та обладнанням, ремонт та обслуговування технічних систем та комплексів судна, а також систем безпеки.

Друга складова це управління судном як комерційним об'єктом, з погляду на цей економічний аспект, воно спрямоване досягнення максимальної ефективності транспортного процесу. Це включає різні дії, такі як планування та оптимізація маршрутів переходу, управління вантажними операціями, облік витрат і доходів, а також моніторинг ринкових умов і конкуренція. Головна мета полягає у забезпеченні максимального прибутку та забезпеченні ефективності транспортних операцій, оптимізації використання ресурсів та забезпеченні конкурентоспроможності на ринку.

І нарешті управління судном як соціальним об'єктом, спрямоване на створення та підтримання оптимальних умов життєдіяльності, які включають у собі управління судновим екіпажем, забезпечення належних умов праці, організацію побуту тощо.

Таким чином, управління судном потребує комплексного підходу, що враховує технічні, економічні та соціальні аспекти його функціонування. Взаємозв'язок та взаємодія цих аспектів важливі для забезпечення безпеки та ефективності суднових операцій та оптимальних умов експлуатації самого судна.

Проблеми безпеки морського транспорту мають високий ступінь актуальності з низки причин. По-перше, забезпечення безпечної експлуатації суден є основними пріоритетами для запобігання людським втратам та збереженню життів на морі. По-друге, є ключовим фактором для збереження морської екосистеми та запобігання забрудненню морського середовища. Також проблеми безпеки морського транспорту впливають на економічну стабільність та розвиток морської торгівлі, оскільки несприятливі події, такі як аварії та втрати вантажів, можуть завдати значної шкоди як судноплавним компаніям, так і глобальній економіці. Нарешті, ефективне управління ризиками та співробітництво між країнами сприяють створенню гармонізованих міжнародних стандартів безпеки, що, у свою чергу, підвищують довіру та співпрацю в морській галузі (рис. 1).



Рисунок 1 – Важливі чинники безпеки морського транспорту

Безпека судна як об'єкта морського транспорту безпосередньо пов'язана із збереженням людських життів. Зважаючи на те, що аварії та інциденти на морі можуть призвести до втрати життя і завдати серйозної шкоди здоров'ю людей, він також може призвести до забруднення морського середовища нафтою, хімічними речовинами та іншими небезпечними матеріалами. Це може мати серйозні наслідки для морської фауни та флори, а також для екологічної стійкості регіонів та континентів. Аварійність світового флоту та пошкодження суден нерозривно пов'язані до стану світової економіки та незмінно ведуть економічні втрати. Для деяких країн перевезення вантажів морським шляхом є основним

способом транспортування товарів, і будь-які збої або проблеми безпеки перевезень можуть викликати затримки, збитки та додаткові витрати вплинути на репутацію підприємств, портів і країн. У свою чергу судноплавні компанії, які не забезпечують належного рівня безпеки, можуть зіткнутися з негативними наслідками, включаючи втрату довіри клієнтів, інвесторів та ринкової частки. Крім того, існуючі міжнародні стандарти та норми, що регулюють безпеку морського транспорту, допомагають забезпечити єдиний і стандартний підхід до безпеки, що також сприяє співпраці між країнами та регіонами.

Як зазначено, забезпечення безпеки судна є невід'ємною частиною системи забезпечення безпеки морської галузі та має важливе значення для захисту людей, довкілля та економічної стабільності тому перед тим як розглянути проблеми, пов'язані з безпекою морського транспорту, необхідно перерахувати ряд факторів, які так чи інакше впливають на безпеку морського транспорту (табл.1):

Вирішення зазначених проблем потребує системного підходу, який включає удосконалення систем та обладнання, підвищення якості навчання екіпажів, суворе дотримання норм та правил безпеки, а також співробітництво між морськими організаціями та регулюючими органами для розробки та впровадження ефективних заходів в системі управління безпекою.

Таблиця 1- Фактори впливу на безпеку морського транспорту

Чинники впливу	Негативні наслідки
Управління судном та маневрування	Неправильні рішення в процесі керування судном можуть призвести до зіткнень з іншими суднами, наявності небезпечного крену, посадки на мілину, або контакту з перешкодами, а також попадання в несприятливі погодні умови. Недостатня навченість екіпажу, неправильне використання навігаційних інструментів, приладів та систем або відсутність актуальної інформації про майбутні або поточні умови можуть стати причинами аварій та інцидентів.
Технічний стан суден	Стан суден, систем, механізмів та обладнання відіграють важливу роль у забезпеченні безпеки морського транспорту. Неправильне обслуговування та недостатній контроль та моніторинг технічного стану суден можуть призвести до поломок або відмов систем. Також важливо стежити за відповідністю суден міжнародним стандартам та вимогам безпеки.
Рівень підготовки екіпажів суден	Недостатня підготовка та відсутність навчання екіпажів з питань безпеки. Це включає знання процедур безпеки, вміння правильно реагувати на надзвичайні ситуації, знання правил та вимог міжнародних організацій, а також навички в галузі рятувальних операцій та першої допомоги.
Вплив факторів довкілля	Навколишнє середовище має значний вплив на безпеку морського транспорту. Це включає непередбачувані погодні умови, природні катаклізми, забруднення морських вод та повітря, а також наявність підводних перешкод. Ці фактори можуть створювати небезпечні умови для суден і вимагають особливої обережності та запобіжних заходів.

Основними проблемами безпеки морського транспорту залишаються:

1. Людський фактор або помилка є однією з основних причин морських подій. Недоліки підготовки, низький рівень компетенції та навичок екіпажу, недотримання норм безпеки, втома, відволікання уваги та неправильне прийняття рішень можуть призвести до аварій та втрати життя.

2. Технічні проблеми, вихід з ладу або поломки обладнання, устаткування та система можуть призвести до серйозних аварій. Недостатнє обслуговування, старіння суден та невідповідність технічним стандартам можуть збільшити ризик виникнення аварійних ситуацій.

3. Погодні умови, такі як шторми, ожеледиця, туман та вітри, можуть створювати небезпечні ситуації на морі. Обмежена видимість, сильні вітри та високі хвилі можуть ускладнювати процес навігацію та керування судном а також становити загрозу для вантажу та людей на борту.

4. Міжнародні стандарти та правила або недостатній контроль та нагляд з боку морських організацій та регулюючих органів за їх виконанням може призвести до порушень безпеки. Несумлінні практики, відсутність регулярних перевірок та недостатнє дотримання міжнародних стандартів безпеки можуть підвищити ризик негативних подій.

5. Забруднення навколишнього середовища внаслідок аварій, витоків нафти та викидів шкідливих речовин. Це може мати негативний вплив на екосистеми та здоров'я людей.

6. Кіберризика, тероризм, піратство та контрабанда є серйозною проблемою для безпеки морського транспорту. Напади на судна, захоплення суден піратами та терористичні акти можуть створити небезпечні ситуації та спричинити втрату життів та матеріальних збитків (рис. 2);



Рисунок 2 - Основі проблеми безпеки морського транспорту

Судно займає центральне положення в рамках системи забезпечення безпеки на морському транспорті, адже саме воно відіграє важливу роль виконуючи функції з перевезення, захисту людського життя та охорони навколишнього середовища. Його відповідність нормативним вимогам, належне використання систем та обладнання сприяють підтримці високого рівня безпеки протягом усього періоду експлуатації, в цьому контексті слід виділити такі аспекти:

- **Безпека процесу транспортування.** Судно здійснює безпечне перевезення пасажирів та вантажів та повинно відповідати певним нормативним вимогам і стандартам безпеки, щоб мінімізувати ризики та забезпечити безпеку людей і вантажів, що перевозяться під час транспортування.

- **Безпека людей та самого судна.** Судно забезпечує безпеку екіпажу, має бути обладнане відповідними засобами захисту, такими як рятувальні засоби, системи пожежогасіння, системи виявлення витоків та інші пристрої, які сприяють забезпеченню безпеки та збереженню здоров'я екіпажу.

- **Безпека навколишнього середовища.** Це включає дотримання правил запобігання забруднення морських вод, керування відходами, контроль викидів шкідливих речовин та інші заходи, спрямовані на мінімізацію шкідливого впливу судна на морську екосистему (рис. 3)



Рисунок 3 – Основні функції судна в процесі забезпечення безпеки

Вочевидь що вирішення вищевказаних проблем потребує постійного вжиття необхідних заходів, такі як розробка сучасних міжнародних стандартів безпеки, підвищення рівню навчання та сертифікації моряків, удосконалення технічних систем та обладнання, покращення системи нагляду та контролю, а також співпраця між державами та організаціями.

Процес забезпечення безпеки морського транспорту є важливим завданням, яке включає низку заходів і дій, спрямованих на запобігання аваріям, захист життя і здоров'я людей, збереження навколишнього середовища та забезпечення ефективного функціонування морської інфраструктури. Перш за все це розробка та дотримання міжнародних норм та стандартів. Міжнародні організації, такі як Міжнародна морська організація (ІМО), розробляють та встановлюють норми та стандарти щодо безпеки морського транспорту. Це включає правила та регуляції, що стосуються конструкції суден, навчання та сертифікації персоналу, попередження аварій, пожежної безпеки, міжнародного співробітництва та інші аспекти безпеки.

Важливим аспектом забезпечення безпеки морського транспорту є навчання та підготовка екіпажів суден. Це включає освоєння навичок і знань з безпеки, навчання з протипожежної та рятувальної підготовки, ознайомлення з процедурами попередження аварій та реагування на них. Судна оснащуються різними технічними засобами та системами безпеки, які допомагають виявляти та запобігати аваріям, контролювати та керувати процесами на борту, а також забезпечувати зв'язок та навігацію. Прикладами таких систем є радары, системи контролю та керування вантажем, автоматичні системи контролю пожеж та аварійної сигналізації.

Одним із аспектів забезпечення безпеки морського транспорту є запобігання забруднення морського середовища від нафтових витоків, викидів забруднюючих речовин та інших шкідливих впливів. Це включає застосування запобіжних заходів при транспортуванні вантажів, встановлення систем очищення та знешкодження відходів, а також суворе дотримання правил і норм щодо захисту морського середовища. Для забезпечення безпеки морського транспорту широко застосовуються системи спостереження та контролю, такі як радары, системи відеоспостереження, системи автоматичної ідентифікації суден (AIS), системи виявлення інтрузій та інші засоби, які допомагають відстежувати рух суден, виявляти проблеми та своєчасно реагувати на них.

Забезпечення безпеки морського транспорту потребує комплексного підходу, що включає правові, технічні, операційні та людські аспекти. Воно є постійним процесом, який потребує постійного моніторингу, оновлення та вдосконалення, щоб мінімізувати ризики та забезпечити безпеку всіх учасників морської діяльності.

В більш широкому сенсі пропонується п'ять груп факторів, які сприяють забезпеченню безпеки судна (табл. 2).

Ці фактори, розділені на п'ять груп, визначають ключові аспекти безпеки судна та сприяють підвищенню рівня безпеки у морському транспорті. Безпека судна залежить від

різних аспектів, включаючи технічний стан судна, надійність обладнання та відповідність судна різноманітним вимогам. Важливими факторами є також операційні процеси, такі як планування маршруту, навігація та керування судном, контроль за вантажем, адже правильне планування маршруту та ефективне керування судном сприяють запобіганню небезпечним ситуаціям та зниженню ризику.

Регулярне обслуговування, інспекції та огляди судна є необхідними для забезпечення безпеки. Вони дозволяють виявляти потенційні проблеми та дефекти технічних систем та обладнання заздалегідь та приймати необхідні заходи для їх усунення. Дотримання стандартів та нормативів безпеки є важливим елементом у забезпеченні безпеки судноплавства, вони встановлюють вимоги щодо конструкції судна, його обладнання, експлуатації та безпеки пасажирів та екіпажу. Надійність процесу морського перевезення вантажів залежить від удосконалення методів та підходів до забезпечення безпеки. Дослідження та розробка нових технологій, моделей безпеки та методів оцінки ризиків є важливими напрямками для підвищення безпеки судноплавства. Всі ці фактори пов'язані між собою і мають значний вплив на безпеку судна. Забезпечення високого рівня безпеки вимагає системного підходу та спільних зусиль усіх зацікавлених сторін (рис. 4).

Таблиця 2 – Фактори сприяючі забезпеченню безпеки судна

ФАКТОРИ				
1	2	3	4	5
Людські фактори	Технічні фактори	Організаційні фактори	Операційні фактори	Екологічні фактори
Кваліфікований персонал та команда судна.	Надійність та належний стан судового обладнання.	Розробка та дотримання безпечних процедур та політики безпеки.	Ефективне планування маршруту з урахуванням погодних умов, течій, перешкод та інших факторів	Дотримання міжнародних та місцевих правил та норм щодо охорони навколишнього середовища.
Ефективне навчання, тренування та сертифікація екіпажу.	Регулярне технічне обслуговування та ремонт судна.	Системи управління безпекою та внутрішнього контролю.	Обробка вантажів, розміщення, закріплення, підтримка остійності судна та уникати ризику пошкодження вантажу під час перевезення.	Застосування ефективних технологій для зменшення викидів забруднюючих речовин.
Правильна організація робочого часу та відпочинку екіпажу.	Використання передових технологій та систем безпеки.	Забезпечення відповідних засобів захисту та безпеки на борту.	Ефективна комунікація між екіпажем судна, морськими портами, власниками судна та іншими сторонами дозволяє швидко реагувати на потенційні загрози безпеці та вживати необхідні заходи для запобігання аваріям.	Впровадження заходів щодо запобігання забрудненню під час бункерування, ремонту та технічного обслуговування.
Забезпечення ефективної комунікації та співпраці на борту судна.	Ефективне управління енергетичними системами, комплексами та резервними джерелами	Ефективний моніторинг та аналіз безпекових показників.	Наявність досвідченого та навченого екіпажу є важливим фактором безпеки судна. Регулярне тренування екіпажу на виконання екстрених процедур, маневреності	Забезпечення належного збереження та видалення відходів на судні.

	живлення.		та безпечних операцій	
процедур та стандартів роботи.	Контроль обладнання для рятування та пожежогасіння.	Забезпечення належної координації з управлінням та регулюючими органами.	Забезпечення безпеки пасажирів та екіпажу. Запобігання аваріям, пожежам, проникненню води та іншим небезпечним ситуаціям на судні, а також наявність належного обладнання для рятування та пожежогасіння	Систематичний моніторинг та оцінка впливу судна на навколишнє середовище.



Рисунок 4 - Ключові аспекти безпеки судна: групи факторів

Аналіз існуючих стратегій та регуляторних механізмів, спрямованих на забезпечення безпеки морського транспорту, дозволяє виявити різні підходи до управління ризиками та вжиття заходів щодо запобігання можливим аваріям та інцидентам. Управління ризиками у судноплаванні є критично важливим аспектом, оскільки воно забезпечує безпеку екіпажів та пасажирів, мінімізує ризики для життя та здоров'я людей на борту судна, запобігає забрудненню морського середовища та екологічних катастроф, підтримує економічну стабільність морської торгівлі, відповідає законодавчим вимогам та нормативам, а також сприяє створенню та підтримці репутації надійності та безпеки в морській індустрії. Існує кілька різних підходів до управління ризиками, які допомагають забезпечити безпеку та мінімізувати можливі негативні наслідки.

- Проактивний підхід, який полягає у попередньому виявленні потенційних ризиків та вжиття заходів для їх запобігання. В рамках цього підходу можуть бути проведені аналізи ризиків, оцінка ймовірності виникнення аварійних ситуацій та розробка відповідних стратегій та процедур для мінімізації ризиків.

- Реактивний підхід, який пов'язаний з реагуванням на ризики та аварійні ситуації, що виникли. Він включає розробку планів аварійної готовності, тренування екіпажів з дій у надзвичайних ситуаціях, проведення регулярних перевірок та інспекцій суден для виявлення та усунення можливих проблем.

Міжнародна Морська Організація (ММО) розробляє та впроваджує стандарти та регулятивні документи, спрямовані на забезпечення безпеки морського транспорту. Прикладом є Міжнародна конвенція з безпеки життя на морі (СОЛАС), яка встановлює мінімальні

стандарти безпеки для суден та обладнання. Навчання та сертифікація морських фахівців відіграють важливу роль у забезпеченні безпеки. Навчання та тренування екіпажів є важливою складовою управління ризиками. Підготовлений і компетентний персонал здатний ефективно реагувати на ситуації, приймати правильні рішення і запобігати негативним наслідкам.

Впровадження нових технологій відіграє важливу роль у підвищенні безпеки морського транспорту. Це включає автоматизацію та віддалене управління судном, системи виявлення та запобігання зіткнень, системи контролю та управління вантажем, системи моніторингу стану судна та інші інновації. Розвиток та впровадження нових технологій відіграє важливу роль в управлінні ризиками. Наприклад, автоматизовані системи керування судном, системи моніторингу та діагностики, використання дистанційного керування та безпілотних суден дозволяють знизити ризик виникнення аварійних ситуацій та покращити безпеку судноплавства.

Ефективне управління ризиками має центральне значення для забезпечення безпеки. Це включає ідентифікацію потенційних небезпек, оцінку ризиків, розробку стратегій запобігання та зниження ризиків, а також планування та проведення регулярних перевірок та аудитів. Міжнародне співробітництво та координація між країнами відіграють важливу роль у забезпеченні безпеки морського транспорту. Це включає обмін інформацією про безпеку, спільні навчання та тренування, співробітництво в сфері контролю за дотриманням стандартів та взаємне визнання сертифікатів.

Ці підходи є лише деякими прикладами стратегій та регуляторних механізмів, які застосовуються для забезпечення безпеки морського транспорту. Розробка та впровадження комплексних заходів та політик на основі цих підходів сприяють зниженню ризиків та підвищенню безпеки у морському транспорті. Комбінація цих підходів та їх застосування разом сприяють ефективному управлінню ризиками в судноплавстві та забезпеченню безпеки морського транспорту.

Висновки. Проведений аналіз показує, що забезпечення безпеки морського транспорту потребує комплексного підходу, який включає різні стратегії та регуляторні механізми. Незважаючи на значні досягнення в цій галузі, все ще існує потреба у постійному вдосконаленні систем безпеки. Одним із ключових напрямків є використання нових технологій та інновацій для підвищення безпеки суден та запобігання виникненню аварійних ситуацій. Це може включати автоматизацію, використання датчиків для раннього виявлення потенційних проблем, а також розробку систем попередження та управління ризиками. Важливим фактором є також запровадження та дотримання міжнародних стандартів безпеки морського транспорту. Співпраця між країнами та організаціями, такими як Міжнародна морська організація (ІМО), відіграє ключову роль у розробці та прийнятті таких стандартів.

Однак, необхідно зазначити, що безпека морського транспорту є складною та багатогранною проблемою, яку не можна вирішити лише за допомогою технічних чи регуляторних заходів. Важливу роль відіграють система підготовки та якість навчання екіпажів, обізнаність та відповідальність сторін, а також постійний моніторинг та оцінка ризиків з метою вдосконалення стратегій та регуляторних механізмів, спрямованих на забезпечення безпеки морського транспорту. Це вимагає співробітництва та координації зусиль з боку всіх зацікавлених сторін, щоб створити безпечніше та стійкіше морське середовище.

ЛІТЕРАТУРА

1. Dominguez-péry, carine & raju, lakshmi & duffour, vikhran & eydieux, jérémy & tassabehji, rana. (2021). Risk and safety in maritime transport: a review and agenda for research.
2. Chmielinski, mirosław. (2020). Requirements regarding safety maritime transport of explosives materials. Transnav, the international journal on marine navigation and safety of sea transportation. 14. 115-120. 10.12716/1001.14.01.13.

3. Okochi, mika & haberfeld, m. & hemmi, shin & takemoto, takahiro. (2021). Safety and security measures for the maritime transport of nuclear material: technical standards and physical protection. 6. 97-107. 10.18949/jintransnavi.6.2_97.
4. Bhagwat, jawahar. (2023). Maritime shipping in the arctic: challenges and opportunities to improve safety must be reflected in the state's transport policy. Arctic and north. 50. 109-126. 10.37482/issn2221-2698.2023.50.109.
5. Kershaw, carl & klockner, dr karen. (2022). Development of a maritime safety - tool for inner harbour ferry transport operations. 16. 1-11. 10.35182/tses-2021-0004.
6. Lv, j. & wang, shuang. (2015). Safety evaluation of china's maritime transport key nodes. Jiaotong yunshu xitong gongcheng yu xinxi/journal of transportation systems engineering and information technology. 15. 30-36.
7. Stanivuk, Tatjana & Bartulović, Dajana & Bartulović, Danijel. (2022). Simulating Behavior Pattern of Key Performance Indicators to Improve Organization's Safety Performance in Maritime Transport. Transactions on Maritime Science. 11. 10.7225/toms.v11.n02.w05.
8. Nævestad, Tor-Olav & Størkersen, Kristine & Laiou, Alexandra & Yannis, George. (2018). Framework conditions of occupational safety: Comparing Norwegian Maritime Cargo and Passenger Transport. International Journal of Transportation Science and Technology. 7. 10.1016/j.ijtst.2018.10.006.
9. Onyshchenko, S., Shibaev, O., Melnyk, O. (2021) "Assessment of Potential Negative Impact of the System of Factors on the Ship's Operational Condition During Transportation of Oversized and Heavy Cargoes", Transactions on Maritime Science. Split, Croatia, 10 (1). <https://doi.org/10.7225/toms.v10.n01.009>.
10. Melnyk, O., Onyshchenko, S., Koryakin, K. (2021) Nature and origin of major security concerns and potential threats to the shipping industry. Scientific Journal of Silesian University of Technology. Series Transport. 113, 145-153. ISSN: 0209-3324. <https://doi.org/10.20858/sjsutst.2021.113.11>

REFERENCE

1. Dominguez-péry, carine & raju, lakshmi & duffour, vikram & eydieux, jérémy & tassabehji, rana. (2021). Risk and safety in maritime transport: a review and agenda for research.
2. Chmielinski, mirosław. (2020). Requirements regarding safety maritime transport of explosives materials. Transnav, the international journal on marine navigation and safety of sea transportation. 14. 115-120. 10.12716/1001.14.01.13.
3. Okochi, mika & haberfeld, m. & hemmi, shin & takemoto, takahiro. (2021). Safety and security measures for the maritime transport of nuclear material: technical standards and physical protection. 6. 97-107. 10.18949/jintransnavi.6.2_97.
4. Bhagwat, jawahar. (2023). Maritime shipping in the arctic: challenges and opportunities to improve safety must be reflected in the state's transport policy. Arctic and north. 50. 109-126. 10.37482/issn2221-2698.2023.50.109.
5. Kershaw, carl & klockner, dr karen. (2022). Development of a maritime safety - tool for inner harbour ferry transport operations. 16. 1-11. 10.35182/tses-2021-0004.
6. Lv, j. & wang, shuang. (2015). Safety evaluation of china's maritime transport key nodes. Jiaotong yunshu xitong gongcheng yu xinxi/journal of transportation systems engineering and information technology. 15. 30-36.
7. Stanivuk, Tatjana & Bartulović, Dajana & Bartulović, Danijel. (2022). Simulating Behavior Pattern of Key Performance Indicators to Improve Organization's Safety Performance in Maritime Transport. Transactions on Maritime Science. 11. 10.7225/toms.v11.n02.w05.

8. Nævestad, Tor-Olav & Størkersen, Kristine & Laiou, Alexandra & Yannis, George. (2018). Framework conditions of occupational safety: Comparing Norwegian Maritime Cargo and Passenger Transport. International Journal of Transportation Science and Technology. 7. 10.1016/j.ijtst.2018.10.006.

9. Onyshchenko, S., Shibaev, O., Melnyk, O. (2021) "Assessment of Potential Negative Impact of the System of Factors on the Ship's Operational Condition During Transportation of Oversized and Heavy Cargoes", Transactions on Maritime Science. Split, Croatia, 10 (1). <https://doi.org/10.7225/toms.v10.n01.009>.

10. Melnyk, O., Onyshchenko, S., Koryakin, K. (2021) Nature and origin of major security concerns and potential threats to the shipping industry. Scientific Journal of Silesian University of Technology. Series Transport. 113, 145-153. ISSN: 0209-3324. <https://doi.org/10.20858/sjsutst.2021.113.11>

Melnyk O.M.

ACTUAL PROBLEMS OF MARITIME TRANSPORT SAFETY. TRENDS, RISKS AND STRATEGIES OF SETTLEMENT

In the context of increasing demands for safety and efficiency of maritime transport operations, it becomes relevant to analyze the main challenges and threats faced by shipowners, operators and regulators. This article draws attention to the current problems of maritime transport safety, examines their trends, potential risks and possible regulatory strategies. Particular attention is given to problems related to navigation, technical condition of ships, crew training, as well as the impact of environmental factors on maritime transport safety. The article analyzes existing strategies and regulatory mechanisms aimed at ensuring the safety of maritime transport. Various approaches to risk management, including the use of new technologies, implementation of international standards and cooperation between countries are considered. The results of the study provide useful recommendations for shipowners, ship operators and regulators to improve maritime transport safety. The analysis of safety problems and proposed settlement strategies will help to develop effective measures to reduce risks and ensure the safety of maritime transport.

Keywords: maritime transport safety, risks, regulatory strategies, navigation, technical condition of ships, crew training, human factor, environmental factors.

УДК 629.123

doi.org/10.33298/2226-8553.2023.1.37.14

Тимочко О.І., Олізаренко С.А., Сітков О.М., Руденко В.М.

МЕТОДИКА РОЗПОДІЛУ ЗАСОБІВ ПОШУКУ В ОБЛАСТІ ІНТЕРЕСУ ДЛЯ ІНФОРМАЦІЙНО-АНАЛІТИЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПОШУКОВИХ ОПЕРАЦІЙ НА МОРІ

Метою статті є розробка методики розподілу засобів пошуку по квадратах пошуку на основі розрахунку ймовірності знаходження об'єкта пошуку даним засобом пошуку у квадраті з найбільшою ймовірністю перебування об'єкта для інформаційно-аналітичного забезпечення особи, що приймає рішення. Поставлена мета досягається шляхом аналізу

джерел інформації щодо можливих підходів до розподілу засобів пошуку зниклого об'єкта для формування в особи, що приймає рішення, відповідного інформаційно-аналітичного забезпечення та розробки методики розподілу обмеженого ресурсу засобів пошуку по можливих місцях знаходження об'єкта інтересу. Доведено, що основу сучасних методик проведення пошукових операцій складають суб'єктивні судження особи, що приймає рішення, на основі яких оцінюється можливе місцезнаходження об'єкта пошуку та здійснюється відповідний розподіл засобів пошуку. Встановлено, що на розгортання наявних пошукових засобів впливає розподіл точок можливого розташування об'єкта пошуку в межах області інтересу. Для найбільшої ефективності розстановки засобів пошуку запропоновано поділити області інтересу на райони пошуку; оцінити ймовірності знаходження об'єкта пошуку для кожного району; розробити план, що забезпечує виконання цілей операції пошуку; реалізувати план пошуку; за результатами попередніх етапів, коригувати значення координат точок можливого місцезнаходження об'єкта пошуку; використовувати уточнені значення ймовірності місцезнаходження об'єкта пошуку для подальшого пошуку. Показано, що основу для отримання всієї необхідної інформації для визначення області інтересу можна отримати з системи e-Навігації. Запропонований підхід дозволяє коригувати план операції пошуку у процесі його виконання. Реалізація даної методики забезпечує підтримку прийняття рішень при розподілі засобів пошуку у передбачуваному районі пошуку, що дозволяє знизити ризик неправильного визначення пріоритету пошуку. Найбільш суттєвим результатом є розробка методики розподілу засобів пошуку необхідних об'єктів, яка відрізняється розбиттям площі пошуку на відповідні квадрати з розрахунком ймовірності знаходження об'єкта пошуку у квадраті з найбільшою ймовірністю перебування об'єкта для інформаційно-аналітичного забезпечення особи, що приймає рішення. Подальшим напрямом роботи є розширення переліку факторів, що впливають на якість виконання завдання пошуку, формалізація відповідних ознак, що впливають на результат пошуку та не введені до наведеної моделі; аналіз повноти і достовірності вхідної інформації для визначення переваги пропонованих варіантів рішення з формуванням вектору "довіри" до варіантів рішення.

Ключові слова: засіб пошуку, ймовірність знаходження, інформаційно-аналітичне забезпечення, пошуково-рятувальна операція, e-Навігація, район пошуку, площа пошуку.

Постановка проблеми. Дослідження в галузі судноплавства та проведення пошуково-рятувальних операцій свідчать, що забезпечення успішного пошуку об'єктів на морі є пріоритетом в будь-якій рятувальній операції. Успішне досягнення цілей пошукової операції залежить від оперативності планування та проведення операції. Тому швидке отримання органом пошуку інформації, необхідної для всебічної оцінки навігаційної обстановки та прийняття рішення про оптимальний комплекс заходів пошуку, є нетривіальним завданням. Особливістю роботи пошукових засобів на воді є велика площа області інтересу, в якій може знаходитись об'єкт пошуку. У теперішній час при проведенні пошукових операцій на морі не в повній мірі використовуються наукові методи. Застосування статистичних методів не є адекватним через унікальність кожного випадку проведення пошуково-рятувальних заходів. Існуючі методики проведення пошукових операцій здійснюють оцінку місцезнаходження об'єкта пошуку та розподіл засобів пошуку, як правило, на основі суб'єктивних суджень особи, що приймає рішення (ОПР). Це може призвести до підвищення ризику помилки у плануванні та проведенні пошуку. Відсутність моделей та алгоритмів інформаційно-аналітичної підтримки прийняття рішення у процесі планування призводить до збільшення часу пошуку об'єкта та нераціонального використання наявних сил та засобів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У роботі [1] запропоновано підхід щодо ідентифікації складних подій, перевагами якого є проведення аналізу моделі руху суден на основі онтології [2]. Класифікація рухомих об'єктів, наведена у роботі [3], містить побудову моделі, здатної передбачати мітки класів, на основі їх траєкторій та інших ознак. Автори

пропонують структуру генерації ознак TraClass для даних траєкторії із супутникових зображень і вимірювань слідів газу, яка генерує ієрархію ознак.

Дослідження [4, 5, 6] показують ефективність використання AIS даних для планування пошукових операцій. У роботі [7] автори розробляють три різні моделі для виявлення потенційної рибальської поведінки відповідно до виду риболовної діяльності; для траулерів розроблено модель Маркова; для парусних суден підхід розпізнавання образів на основі алгоритму Лав'єля. Використання даних AIS створює ряд пов'язаних проблем управління та обробки даних. Багато традиційних підходів інтелектуального аналізу даних припускають, що базові дані відносяться до рівномірного розподілу. Проте глобальні дані AIS часто мають великий розмір та прогалини в географічному охопленні, конфлікти повідомлень або помилкові повідомлення, особливо при обробці великих площ [8, 9].

У роботі [10] автори використовують ядра траєкторії в поєднанні з опорними векторними машинами (SVM) для виявлення активності за даними AIS. У статті [11] розглядається можливість застосування інформаційних технологій при моніторингу руху суден для пошуку нових рішень на основі концепції електронної навігації.

Метою дослідження є розробка методики розподілу засобів пошуку по квадратах пошуку на основі розрахунку ймовірності знаходження об'єкта пошуку даним засобом пошуку у квадраті з найбільшою ймовірністю перебування об'єкта для інформаційно-аналітичного забезпечення ОПП.

Основні результати дослідження. Основне завдання полягає у визначенні порядку використання наявних пошукових засобів для підвищення їх ефективності. Важливим фактором досягнення поставлених цілей пошукової операції у надводному та підводному просторі є оперативна та обґрунтована розстановка засобів планування і пошуку. При плануванні пошукової операції необхідно визначити таку відстань між наявними засобами, яка забезпечить швидке обстеження області інтересу при мінімізації витрат наявних ресурсів. Об'єкт пошуку може перебувати як у надводному, так і у підводному положенні. Також час, що пройшов від зникнення об'єкту до початку пошукової операції, може знаходитись в інтервалі від декількох хвилин до днів, місяців і навіть років. При цьому розподіл засобів на дуже великій відстані один від одного може знизити ефективність обстеження області інтересу.

Згідно з [12], у процесі планування пошукової операції необхідно вивчити та провести оцінку всієї наявної інформації щодо об'єкта пошуку:

- зниклих безвісти людей або судна, що зазнає лиха, кількість людей на борту такого судна, включаючи тих, що потребують медичної допомоги;
- переміщення і місцезнаходження суден у можливих областях інтересу;
- результати спостереження за ситуацією з використанням каналів радіо- та електров'язку;
- гідрометеорологічні умови на місці проведення операції з пошуку і рятування та призначати відповідальних за режим фіксації та реєстрації цих умов з метою їх подальшого аналізу та прогнозування;
- обладнання, механізми, прилади, інструменти, медичні вироби, лікарські засоби, засоби колективного та індивідуального захисту, наявні на борту пошуково-рятувальних одиниць;
- сповіщення суден, які перебувають у можливих районах пошуку, про їх залучення як засобів пошуку і рятування.

Для забезпечення підтримки прийняття управлінських рішень при плануванні пошуку необхідно:

- нанести область інтересу на навігаційну карту;
- прийняти рішення про методи та пошукові засоби, які необхідно використати;
- здійснити розрахунок параметрів області інтересу.

Для нанесення області інтересу на навігаційну карту на початковому етапі пошукової операції необхідно визначити вихідну точку, на основі оцінки відомих фактів та низки припущень, пов'язаних з об'єктом пошуку. Далі оцінюються ступінь невизначеності координат вихідного пункту та визначаються межі області інтересу, де знаходяться всі можливі точки місця знаходження об'єкта пошуку.

Розподіл точок можливого розташування об'єкта пошуку в межах області інтересу є одним з важливих факторів при плануванні пошуку, оскільки, виходячи з цього розподілу, проводиться розгортання наявних пошукових засобів. Можливі точки місцезнаходження об'єкта пошуку визначаються щодо вихідної точки або вихідної лінії.

1. Вихідна точка визначатися безпосередньо координатами, або дальністю та пеленгом від останньої відомої точки місця знаходження об'єкта пошуку.

2. Вихідна лінія. Для визначення даного показника використовуються відомі дані про маршрут або передбачуваний напрямок руху об'єкта пошуку.

Максимальна ефективність розстановки засобів досягається шляхом:

- поділу області інтересу на райони пошуку;
- оцінки можливості місцезнаходження об'єкта пошуку для кожного району;
- розроблення плану пошуку, що забезпечує виконання цілей операції пошуку;
- здійснення плану пошуку;
- коригування всіх значень координат точок можливого місцезнаходження об'єкта пошуку з урахуванням результатів попередніх робіт;
- використання уточнених значень ймовірності місцезнаходження об'єкта пошуку для забезпечення виконання поставлених завдань при подальшому пошуку.

Даний підхід дозволяє коригувати план операції пошуку у процесі його виконання. Навіть якщо на першому етапі у момент вибору вихідної точки або вихідної лінії об'єкт пошуку не знаходиться в обраному районі, використання даного підходу дозволить вийти в район можливого знаходження об'єкта пошуку.

Визначення області інтересу полягає у формуванні меж відповідно до максимальних дистанцій, які міг подолати об'єкт пошуку з моменту, коли було отримано останні дані про місце розташування або передбачуваного часу зникнення об'єкта пошуку. Всю необхідну інформацію для визначення області інтересу можна отримати з системи е-Навігації. З технічної точки зору е-Навігація – це єдине інформаційне середовище та інструменти, що поєднують в єдиний організм усіх учасників морського руху: від судноводіїв до операторів берегових служб, від судноплавних компаній до служб пошуку та рятування, від портів до провайдерів ІТ-послуг, від митних служб до гідрографічних організацій – для оперативного та повного обміну інформацією. Дана система дозволяє обмін такою інформацією:

- передача з борту судна на берег і назад інформації про маршрути судна:
 - запланований маршрут руху судна або передача з борту судна на станцію берегового спостереження та інші судна;
 - рекомендований маршрут для плавання у прибережних водах та заходу до порту або передача зі станції берегового стеження на борт судна;
 - короткострокова передбачена траєкторія руху судна або передача з борту судна на станцію берегового спостереження та інші судна;
- передача інформації про навігаційну обстановку зі станції берегового стеження на борт судна:
 - завдання системи управління рухом судна (СУРС);
 - інформація про безпечні фарватери;
- гідрографічна, гідрологічна та метеорологічна інформація або передача з берега на борт судна:
 - докладні електронні навігаційні карти для заходу до порту;
 - електронні карти промірів морських глибин;
 - електронні карти льодової обстановки;

Якщо відомі координати та час зникнення об'єкту, то область інтересу в якій необхідно здійснювати пошук, можна задати таким чином:

$$R_{mov}^2 = x_{dis}^2 + y_{dis}^2, \quad (1)$$

де x_{dis}, y_{dis} – координати зникнення об'єкту пошуку;

R_{mov} – радіус області інтересу відносно об'єкту пошуку який визначається:

$$R_{mov} = V_{mov} \cdot T_{bg}, \quad (2)$$

де

$$T_{bg} = (t_b - t_{dis}), \quad (3)$$

t_b – прогнозований час початку операції пошуку;

t_{dis} – час зникнення об'єкту пошуку;

V_{mov} – прогнозована швидкість руху об'єкту пошуку після зникнення.

У випадку коли координати зникнення об'єкту пошуку невідомі, проте відомі маршрут руху, область інтересу визначається виразом

$$\frac{x^2}{l_x} + \frac{y^2}{l_y} = 1, \quad (4)$$

де

$$l_x = \frac{x_{dst} - x_{kn}}{2}, \quad (5)$$

$$l_y = \frac{h}{2}, \quad (6)$$

h – ширина коридору пошуку;

x_{dst} – координата точки маршруту, до якої рухався об'єкт;

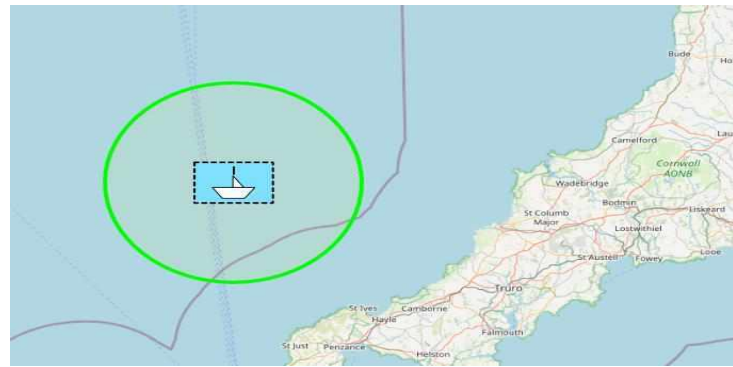
x_{kn} – координата останньої відомої точки місця знаходження об'єкту пошуку.

Результатом виконання даного етапу є нанесення на навігаційну карту області інтересу, в якій необхідно здійснити пошук об'єкта (рис. 1).

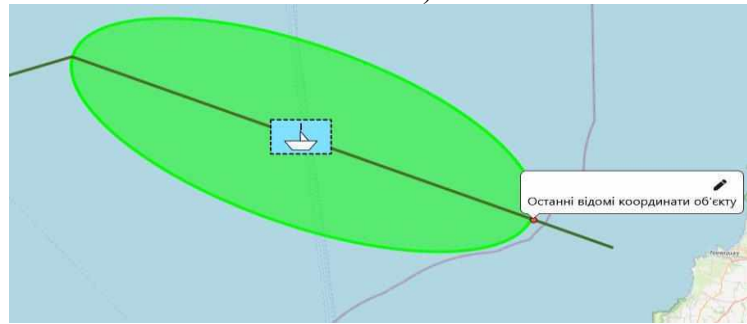
Після визначення області інтересу відбувається його розподіл на квадрати та визначення для кожного квадрату ймовірності знаходження у ньому об'єкта пошуку у певний момент часу. Ймовірність знаходження (P_{st}) об'єкта пошуку визначається:

$$P_{st} = \int_{R_{st}} f(X, t_i) dX, \quad (7)$$

де $f(X, t_i)$ – функціонал, що описує рух об'єкта відповідно до умов навігаційної обстановки та припущень щодо стану об'єкту.



а)



б)

Рисунок 1 – Графічне зображення області інтересу, в якій необхідно здійснити пошук об'єкта

R_{st} – квадрат пошуку.

Відповідно, при пошуку об'єкта можна зробити такі припущення:

- об'єкт дрейфує;
- об'єкт затонув;
- в об'єкта несправні органи управління;
- об'єкт захоплено;
- інше.

Дані припущення робляться на основі попередньої інформації про рух об'єкта та отриманих від нього сигналів. Район пошуку наведено на рис. 2.

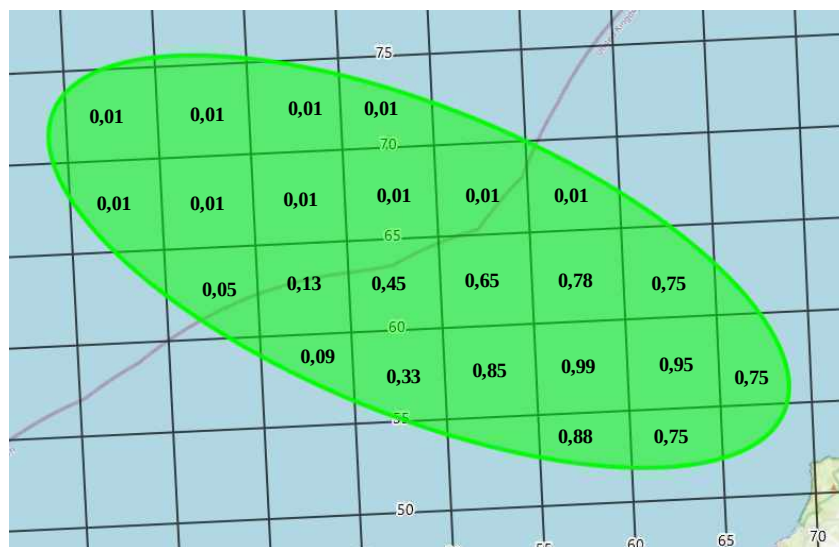


Рисунок 2 – Розподіл району пошуку на квадрати ймовірності знаходження у ньому об'єкта пошуку в певний момент часу

Відповідно, алгоритм побудови карти ймовірностей знаходження об'єкта наведено на рис. 3.

Після побудови карти ймовірностей визначаються підрайони пошуку. Щодо отриманих підрайонів визначається сумарна площа, яку необхідно обстежити пошуковими засобами. Після виконується розподіл засобів по підрайонах пошуку. Для цього визначається кількість наявних у розпорядженні засобів та їх можливості. До факторів, які необхідно при цьому враховувати, відносяться пошукова швидкість, можлива тривалість пошуку, сенсори, погодні умови, видимість, форма дна, розмір об'єкта пошуку та ін. Ці фактори визначають ширину огляду і відстань, яке пошуковий засіб може обстежити у районі пошуку. Пошукова швидкість, можлива тривалість пошуку та ширина огляду визначають площу ефективного обстеження, яку здатний забезпечити кожен засіб. Далі визначається ймовірність виконання завдання P_{su} засобом пошуку:

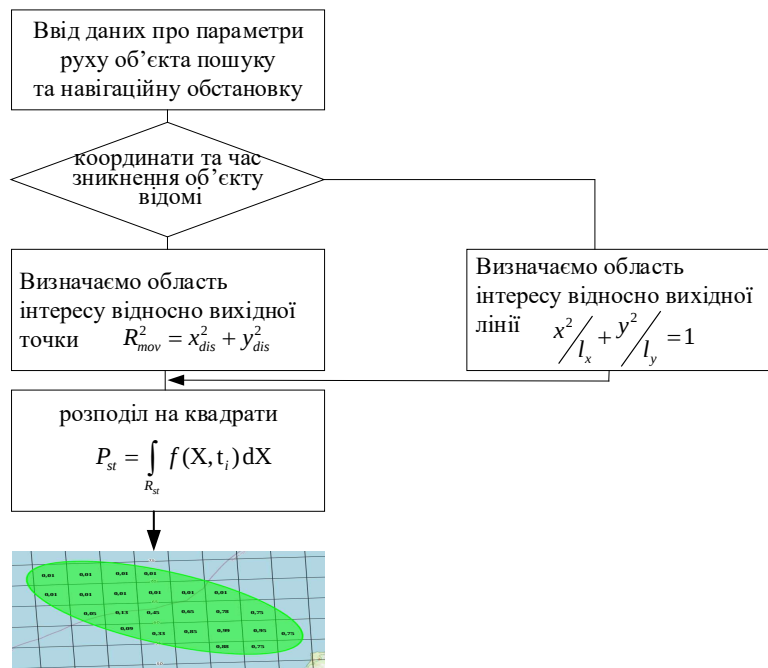


Рисунок 3 – Алгоритм побудови карти ймовірностей знаходження об'єкта

$$P_{su} = P_{mn} \cdot P_{R_{st}} \cdot P_{gms} \cdot P_{obn}, \quad (8)$$

де P_{mn} – ймовірність того, що пошуковий засіб буде справним протягом пошукової операції або рівень його справності не вплине на виконання завдання (ймовірність безвідмовної роботи);

$P_{R_{st}}$ – ймовірність того, що пошуковий засіб вийде в квадрат пошуку;

P_{obn} – ймовірність виявлення об'єкта наявними засобами при заданих умовах;

P_{gms} – ймовірність подолання несприятливих впливів у виконавчій зоні та при підході до неї.

Виділення засобів пошуку в квадраті, де практично відсутні шанси знаходження об'єкта пошуку ($P_{st} \approx 0$), вважається неефективним. Аналогічно, проведення пошуку об'єкта в квадраті, де ймовірність його знаходження є майже повною R_{st} ($P_{st} \approx 0,99$), засобом, який на може виконати це завдання (ймовірність виконання завдання ($P_{su} \approx 0$)), також вважається недоцільним. Якщо P_{st} або P_{su} дорівнюють нулю, то і ймовірність знаходження об'єкта

пошуку P_{fohj} при даному пошуку також дорівнює нулю. Фактична ймовірність P_{fohj} перебуває у взаємозв'язку із P_{st} та P_{su} , і описується залежністю:

$$P_{fohj} = P_{st} \cdot P_{su}. \quad (9)$$

Навіть невдалий пошук у тому чи іншому квадраті дає певну інформацію про ймовірне місцезнаходження об'єкту пошуку. Після проведення пошуку в квадраті, в якому не було виявлено об'єкт пошуку, виконується перерахунок P_{st} , використовуючи таку формулу:

$$P_{fohj} = (1 - P_{su}) \cdot P_{st}. \quad (10)$$

Якщо квадрат не обстежується, значення P_{st} не змінюється. Методику розподілу засобів пошуку наведено на рис. 4.

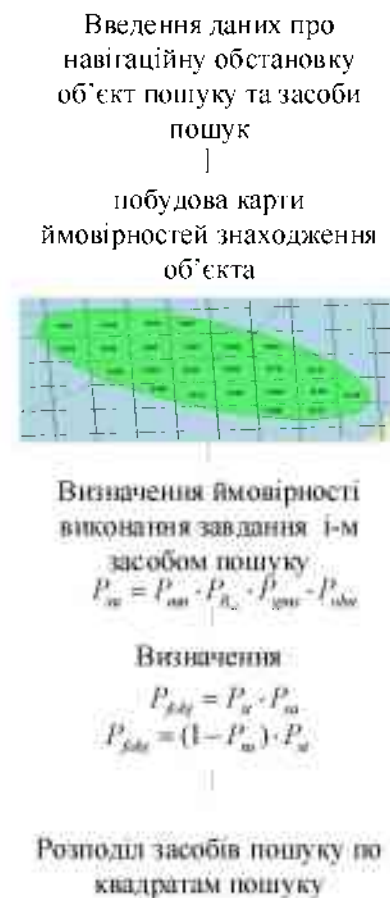


Рисунок 4 – Методика розподілу засобів пошуку по квадратах пошуку

Даний алгоритм забезпечить підтримку прийняття рішень при розподілі засобів пошуку у передбачуваному районі пошуку, що дозволить знизити ризик неправильного визначення пріоритету потреб.

Висновки. У статті розроблено алгоритм побудови карти ймовірностей знаходження об'єкта пошуку в області інтересу, яка використовує отримані критерії, а також відстань до останнього відомого місцезнаходження об'єкта пошуку. Запропоновано методику розподілу засобів пошуку по квадратах пошуку на основі розрахунку ймовірності знаходження об'єкта

пошуку даним засобом пошуку у квадраті з найбільшою ймовірністю перебування об'єкта для інформаційно-аналітичного забезпечення ОПР.

ЛІТЕРАТУРА

1. Patroumpas, K. et al. 2017. Online event recognition from moving vessel trajectories. *GeoInformatica*. 21, 2 (Apr. 2017), 389–427. DOI:<https://doi.org/10.1007/s10707-016-0266-x>.
2. OBDAIR: Ontology-Based Distributed Framework for Accessing, Integrating and Reasoning with Data in Disparate Data Sources (PDF Download Available): https://www.researchgate.net/publication/319280828_OBDAIR_Ontology-Based_Distributed_Framework_for_Accessing_Integrating_and_Reasoning_with_Data_in_Disparate_Data_Sources.
3. Lee, J.-G. et al. 2008. TraClass: Trajectory Classification Using Hierarchical Region-based and Trajectory-based Clustering. *Proc.VLDB Endow.* 1, 1 (Aug. 2008), 1081–1094. DOI:<https://doi.org/10.14778/1453856.1453972>.
4. Mazzarella, F. et al. 2014. Discovering vessel activities at sea using AIS data: Mapping of fishing footprints. 17th International Conference on Information Fusion (FUSION) (Jul. 2014), 1–7.
5. Millefiori, L. et al. 2016. A distributed approach to estimating sea port operational regions from lots of AIS data. (Washington D.C., USA, 2016).
6. Pallotta, G. et al. 2013. Vessel Pattern Knowledge Discovery from AIS Data: A Framework for Anomaly Detection and Route Prediction. *Entropy*. 15, 6 (Jun. 2013), 2218–2245. DOI:<https://doi.org/10.3390/e15062218>.
7. Souza, E.N. de et al. 2016. Improving Fishing Pattern Detection from Satellite AIS Using Data Mining and Machine Learning. *PLOS ONE*. 11, 7 (2016),. DOI:<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0158248>.
8. Poļevskis, J. et al. 2012. Methods for Processing and Interpretation of AIS Signals Corrupted by Noise and Packet Collisions. *Latvian Journal of Physics and Technical Sciences*. 49, (Jan. 2012), 25–31. DOI:<https://doi.org/10.2478/v10047-012-0015-3>.
9. Yang, M. et al. 2012. Collision and Detection Performance with Three Overlap Signal Collisions in Space-Based AIS Reception. 2012 IEEE 11th International Conference on Trust, Security and Privacy in Computing and Communications (Jun. 2012), 1641–1648.
10. de Vries, G.K.D. and van Someren, M. 2012. Machine learning for vessel trajectories using compression, alignments and domain knowledge. *Expert Systems with Applications*. 39, 18 (Dec. 2012), 13426–13439. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.eswa.2012.05.060>.
11. Якусевич, Ю. ., Тришин, В. і Дорофєєва, З. (2021) «Побудова навігаційної системи судна на основі сучасних інформаційних технологій», Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил, (4(70), с. 83-88. doi: 10.30748/zhups.2021.70.12.
12. Постанова Кабінету міністрів України № 227, від 06.03.2022, Про Національну систему пошуку і рятування на морі.

REFERENCES

1. Patroumpas, K. et al. 2017. Online event recognition from moving vessel trajectories. *GeoInformatica*. 21, 2 (Apr. 2017), 389–427. DOI:<https://doi.org/10.1007/s10707-016-0266-x>.
2. OBDAIR: Ontology-Based Distributed Framework for Accessing, Integrating and Reasoning with Data in Disparate Data Sources (PDF Download Available): https://www.researchgate.net/publication/319280828_OBDAIR_Ontology-Based_Distributed_Framework_for_Accessing_Integrating_and_Reasoning_with_Data_in_Disparate_Data_Sources.
3. Lee, J.-G. et al. 2008. TraClass: Trajectory Classification Using Hierarchical Region-based and Trajectory-based Clustering. *Proc.VLDB Endow.* 1, 1 (Aug. 2008), 1081–1094. DOI:<https://doi.org/10.14778/1453856.1453972>.

4. Mazzarella, F. et al. 2014. Discovering vessel activities at sea using AIS data: Mapping of fishing footprints. 17th International Conference on Information Fusion (FUSION) (Jul. 2014), 1–7.
5. Millefiori, L. et al. 2016. A distributed approach to estimating sea port operational regions from lots of AIS data. (Washington D.C., USA, 2016).
6. Pallotta, G. et al. 2013. Vessel Pattern Knowledge Discovery from AIS Data: A Framework for Anomaly Detection and Route Prediction. *Entropy*. 15, 6 (Jun. 2013), 2218–2245. DOI:<https://doi.org/10.3390/e15062218>.
7. Souza, E.N. de et al. 2016. Improving Fishing Pattern Detection from Satellite AIS Using Data Mining and Machine Learning. *PLOS ONE*. 11, 7 (2016),. DOI:<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0158248>.
8. Poļevskis, J. et al. 2012. Methods for Processing and Interpretation of AIS Signals Corrupted by Noise and Packet Collisions. *Latvian Journal of Physics and Technical Sciences*. 49, (Jan. 2012), 25–31. DOI:<https://doi.org/10.2478/v10047-012-0015-3>.
9. Yang, M. et al. 2012. Collision and Detection Performance with Three Overlap Signal Collisions in Space-Based AIS Reception. 2012 IEEE 11th International Conference on Trust, Security and Privacy in Computing and Communications (Jun. 2012), 1641–1648.
10. de Vries, G.K.D. and van Someren, M. 2012. Machine learning for vessel trajectories using compression, alignments and domain knowledge. *Expert Systems with Applications*. 39, 18 (Dec. 2012), 13426–13439. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.eswa.2012.05.060>.
11. Yakusevych, Yu. ., Tryshin, V. and Dorofeeva, Z. (2021) *"Building a ship's navigation system based on modern information technologies" ["Pobudova navihatsynoyi systemy sudna na osnovi suchasnykh informatsiynykh tekhnolohiy"]*, Collection of Scientific Works of the Kharkiv National University of the Air Force, (4(70)), pp. 83-88 . doi: 10.30748/zhups.2021.70.12.
12. Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine No. 227, dated 06.03.2022, On the National System of Search and Rescue at Sea.

Tymochko O.I., Rudenko V. M. Olizarenko S.A., Sitkov O.M.

METHODOLOGY FOR THE DISTRIBUTION OF SEARCH TOOLS IN THE AREA OF INTEREST FOR INFORMATION AND ANALYTICAL SUPPORT OF SEARCH OPERATIONS AT SEA

The purpose of the article is to develop a methodology for distributing search assets into search squares based on the calculation of the probability of finding the search object by a given search asset in the square with the highest probability of finding the object for information and analytical support of a decision maker. This goal is achieved by analysing the sources of information on possible approaches to the distribution of search means for a missing object to provide the decision-maker with appropriate information and analytical support and developing a methodology for allocating a limited resource of search means to possible locations of the object of interest. It is proved that the basis of modern methods of conducting search operations is the subjective judgement of the decision-maker, based on which the possible location of the object of search is assessed and the appropriate distribution of search means is carried out. It has been established that the deployment of available search means is influenced by the distribution of points of possible location of the search object within the area of interest. For the most efficient deployment of search assets, it is proposed to divide the area of interest into search areas; estimate the probability of finding the search object for each area; develop a plan that ensures the fulfilment of the objectives of the search operation; implement the search plan; based on the results of the previous stages, adjust the coordinate values of the points of possible location of the search object; use the adjusted values of the probability of finding the search object for further search. It is shown that the basis for obtaining all the necessary information to determine the area of interest can be obtained from the e-Navigation system. The proposed approach allows adjusting the plan of the

search operation in the process of its execution. The implementation of this methodology provides decision-making support for the distribution of search assets in the intended search area, which reduces the risk of incorrectly determining the search priority. The most significant result is the development of a methodology for the distribution of search means for the required objects, which is distinguished by dividing the search area into appropriate squares with the calculation of the probability of finding the search object in the square with the highest probability of the object being located for information and analytical support of the decision maker. Further work is to expand the list of factors affecting the quality of the search task, formalise the relevant features that affect the search result and are not included in the above model; analyse the completeness and reliability of the input information to determine the advantage of the proposed solution options with the formation of a vector of "trust" in the solution options.

Keywords: search tool, probability of finding, information and analytical support, search and rescue operation, e-Navigation, search area, search area.

УДК 629.5.077:629.5.087

doi.org/10.33298/2226-8553.2023.1.37.15

Гончарук І.П., Головань А.І.

ОЦІНКА НАВІГАЦІЙНОЇ БЕЗПЕКИ В ОБМЕЖЕНИХ УМОВАХ ТА РАЙОНАХ ІНТЕНСИВНОГО СУДНОПЛАВСТВА

Однією з найважливіших проблем сучасного судноплавства є забезпечення навігаційної безпеки плавання у стислих водах та районах з інтенсивним судноплавством у будь-яких гідрометеорологічних умовах. Сучасне судноводіння характеризується суттєвими особливостями, до яких насамперед слід віднести вплив стохастичних факторів на процес судноводіння, оцінку навігаційної обстановки та прийняття рішення на маневр судноводієм. Саме вказані особливості визначають досить високий рівень навігаційної аварійності водного транспорту. Останнім часом, враховуючи особливе значення водного транспорту, вживаються суттєві заходи, спрямовані на підвищення безпеки плавання, особливо в обмежених умовах, як у морських районах, так і на внутрішніх водних шляхах. До таких заходів насамперед слід віднести перегляд існуючих та прийняття нових організаційно-технічних вимог, які регламентують безпеку.

Ця стаття освітлює важливе питання забезпечення навігаційної безпеки плавання у стислих водах та районах з інтенсивним судноплавством, яке є однією з ключових проблем сучасного судноплавства. Розглядаються особливості сучасного судноводіння, включаючи вплив стохастичних факторів на оцінку навігаційної обстановки та прийняття рішень судноводієм, які спричиняють високий рівень навігаційних аварій.

Стаття включає огляд сучасних заходів для підвищення безпеки плавання, які охоплюють вдосконалення організаційно-технічних вимог, які регламентують безпеку плавання. Проте, автори вказують на наявну суперечність між постійно зростаючими вимогами до безпеки судноводіння та його реальним станом, підкреслюючи, що рівень навігаційної аварійності залишається високим, незважаючи на зусилля по його зниженню.

Основний акцент у статті зроблено на відсутність формальних методів опису процесу судноводіння, що є перешкодою для вирішення багатьох питань навігаційної

безпеки. Автори пропонують шляхи розв'язання цієї проблеми, які охоплюють ідентифікацію моделей навігаційних ризиків та розробку методології для комплексної оцінки навігаційних ризиків, з описом основних властивостей якісно-складної організаційно-технічної системи судноводіння.

Ключові слова: Судноплавство, навігаційна безпека, стислі води, райони з інтенсивним судноплавством, гідрометеорологічні умови, стохастичні фактори, оцінка навігаційної обстановки, прийняття рішень судноводієм, навігаційні аварії, організаційно-технічні вимоги, забезпечення навігаційної безпеки, поведінка організаційно-технічної системи, моделі навігаційних ризиків, ймовірнісний простір станів, комплексна оцінка навігаційних ризиків, внутрішні водні шляхи, морські райони, водний транспорт.

Постановка проблеми. Постановка проблеми даної статті пов'язана з актуальністю і складністю забезпечення навігаційної безпеки судноплавства, особливо у стислих водах та районах з інтенсивним судноплавством, незалежно від гідрометеорологічних умов. Виокремлюється проблема впливу стохастичних факторів на процес судноводіння, оцінку навігаційної обстановки та прийняття рішень судноводієм, які істотно підвищують рівень навігаційної аварійності.

Незважаючи на значні зусилля, направлені на розробку та впровадження нових організаційно-технічних вимог, що регламентують безпеку, проблема високого рівня навігаційної аварійності залишається актуальною. Відчутною перешкодою в розв'язанні цього питання є відсутність формальних методів опису процесу судноводіння, що обумовлено стохастичним характером факторів, які впливають та об'єктивними теоретичними труднощами опису поведінки складної організаційно-технічної системи судноводіння в ймовірнісному просторі станів.

Таким чином, існує потреба в розробці нових методів та інструментів для ідентифікації та моделювання навігаційних ризиків, які б дозволили провести комплексну оцінку таких ризиків і, як результат, сприяли збільшенню навігаційної безпеки.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Через високу інтенсивність руху суден в районах з інтенсивним рухом суден, водні шляхи є зонами з високим потенціалом аварій, які пов'язані зі значними ризиками для державного і приватного секторів. Незважаючи на значні зусилля, докладені багатьма організаціями на різних рівнях для досягнення безпечної морської транспортної системи, аварії та інциденти на морі не демонструють тенденції до значного зниження, а продовжують відбуватися з високою частотою (EMSA, 2022). З усіх аварій 2,9 % були дуже серйозними (EMSA, 2022). Зокрема, на локальних морських ділянках з високою інтенсивністю руху та складними навігаційними умовами, таких як північна частина Балтійського моря, Адріатичне море та Сінгапурська протока, зіткнення суден є одним з найпоширеніших типів аварій. У відповідь на занепокоєння зацікавлених сторін були розроблені різні методи вивчення ризиків і безпеки морського транспорту, що використовують різні підходи. До них належать методи вилучення моделей морського руху, виявлення аномалій, моделювання ймовірності та наслідків морських аварій, а також статистичний аналіз морських аварій. Варто зазначити, що багато з цих підходів значною мірою покладаються на статистичні дані про аварії. У статтях представлені різні методи та інструменти для виявлення та моделювання навігаційних ризиків з метою підвищення безпеки судноплавства. В роботі [1] розглянуто та проаналізовано методи оцінки ризиків на морських водних шляхах на основі неаварійних критичних подій, виявлених на основі даних AIS, і зроблено висновок, що необхідно більше уваги приділяти тому, як визначаються неаварійні критичні події та які фактори впливають на зв'язок між їхньою появою та аварійністю. Автори дослідження [2] обговорюють стандартизацію оцінки ризиків у навігації і припускають, що глобальний збір відповідних емпіричних даних може зробити результати аналізу ризиків менш сумнівними, але порівнянними. Робота [3] пропонує систему, засновану на ймовірнісній моделі оцінки ризиків, для кращого розуміння ризику зіткнення і визначення більш прийняттого рівня дій з ухилення. Стаття [4] досліджує навігаційні ризики в акваторії мосту через річку Янцзи в Нанкіні на основі

просторово-часового аналізу на масивних траєкторіях AIS з використанням методів GIS і виявляє три типи критичних навігаційних ризиків, включаючи ризик безпечної відстані, ризик зіткнення з пірсом і ризик транспортних заторів. Статті [5, 6] свідчать про те, що комплексна оцінка навігаційних ризиків вимагає поєднання різних методів та інструментів, включаючи визначення неаварійних критичних подій, стандартизацію оцінки ризиків, імовірнісну модель оцінки ризиків та просторово-часовий аналіз траєкторій. Загалом, ці роботи пропонують різні підходи до комплексної оцінки навігаційних ризиків і сприяють підвищенню безпеки судноплавства.

Мета дослідження полягає у дослідженні методів оцінки навігаційної безпеки плавання в стислих водах та районах з інтенсивним судноплавством.

Основні результати дослідження. Судноплавство у стислих водах та районах з інтенсивним рухом суден вимагає від судноводіїв високого рівня уваги, вміння адаптуватися до швидко змінюваних обставин і уміння приймати виважені рішення в умовах часових обмежень. В умовах високого трафіку суден і стислого простору, випадкові фактори і непередбачувані обставини можуть значно збільшувати ризик навігаційних аварій.

На стислих водах і в районах з інтенсивним судноплавством, простір для маневрування може бути значно обмежений. Це вимагає від судноводіїв високої точності у керуванні судном, а також уміння адаптуватися до несподіваних змін, таких як раптові дії інших суден. В районах з високим трафіком суден, ризик зіткнень і інших аварійних ситуацій зростає [7]. Судноводії повинні бути в стані швидко реагувати на дії інших суден та приймати рішення в обмежений час. Непередбачувані обставини, такі як раптові зміни погодних умов, помилки у обладнанні або непередбачувані дії інших суден, можуть суттєво ускладнити процес судноводіння [8].

Забезпечення навігаційної безпеки вимагає постійної уваги до навколишньої обстановки, вміння швидко реагувати на зміни і гнучкості в прийнятті рішень [9]. Важливою складовою є також використання сучасного навігаційного обладнання, ретельна підготовка і регулярне тренування судноводіїв, а також впровадження ефективних систем керування ризиками на борту судна [10].

В умовах неперервного розвитку судноплавства і постійного зростання інтенсивності морського трафіку, питання підвищення безпеки плавання стає все актуальнішим. Незважаючи на значні зусилля, спрямовані на зниження навігаційної аварійності, вона залишається високою, що свідчить про наявність суперечності між теоретичними вимогами і реальним станом судноводіння.

Сучасні заходи, що спрямовані на підвищення безпеки плавання, включають [11]:

Вдосконалення технологій: Розробка та впровадження новітніх навігаційних систем, які включають автоматизовані системи керування, системи раннього виявлення зіткнень, а також більш точні та надійні системи GPS і радарів.

Покращення навчання і підготовки судноводіїв: Розвиток і вдосконалення програм навчання та підготовки, які спрямовані на підвищення професійних навичок судноводіїв, зокрема в умовах стислих вод і забезпечення безпеки при високому трафіку суден.

Посилення регуляторного контролю: Покращення міжнародних і національних стандартів і вимог до безпеки судноплавства, посилення контролю за їх дотриманням, а також впровадження жорсткіших санкцій за порушення цих вимог.

Підвищення освіченості і обізнаності судноводіїв: Важливим аспектом є не лише технічна підготовка, але і розуміння ролі людського фактору в процесі судноводіння. Тому важливо організовувати періодичні тренінги і семінари, що підвищують обізнаність судноводіїв щодо безпеки плавання.

Однак, необхідно зазначити, що незважаючи на всі ці заходи, повне виключення ризику аварій майже неможливе через наявність стохастичних факторів. Тому ключовим є постійний розвиток та адаптація безпеки судноплавства до змінюваних умов та викликів.

Модель зіткнення і посадки судна на мілину була вперше запропонована у 1974 році Макдаффом, що позначається через

$$P = P_a \times P_c \quad (1)$$

де P - ймовірність того, що судно потрапить в аварію зіткнення під час свого проходження певної акваторії; P_a - геометрична ймовірність того, що судно зіткнеться з аварійними сценаріями а саме, ймовірність зіткнення, якщо не вжито жодних запобіжних заходів не вжито запобіжних заходів; P_c - причинно-наслідкова ймовірність, тобто умовна ймовірність того, що судно зіткнеться з іншими суднами ймовірність того, що зіткнення станеться в аварійному сценарії. З тих пір численні дослідники докладають свої зусилля для оцінки причинно-наслідкового зв'язку та геометричної ймовірності оцінки.

Оцінка ймовірності причинно-наслідкового зв'язку. Виходячи з рівняння (1), ймовірність зіткнення можна оцінити двома незалежними ймовірностями - геометричною ймовірністю, яка залежить від геометричних параметрів акваторії, розміру судна, інтенсивності руху, швидкості судна над водою, курсу судна; та ймовірністю причинно-наслідкового зв'язку, яка визначається операційними навичками суднової команди, маневреністю судна в умовах при аварійних сценаріях. Відповідно, в більшості літературних джерел ймовірність причинно-наслідкового зв'язку для окремих акваторій розглядаються як константа для одного і того ж конкретного сценарію аварії. Для оцінки значення ймовірності причинно-наслідкового зв'язку використовують кілька методів.

Найпростіший спосіб полягає у використанні статистики нещасних випадків для калібрування ймовірності причинно-наслідкового зв'язку ймовірності. Цей підхід значною мірою покладається на наявність статистичних записів про аварії. Крім того, цей метод не здатний відображати глибоке розуміння причин аварій. Відповідно, він не може надавати підтримку особам, які приймають рішення, коли необхідно впроваджувати рішення щодо зниження ризиків.

Метод аналізу дерева несправностей також може бути використаний для оцінки ймовірності причинно-наслідкового зв'язку. Наприклад - дерево несправностей застосоване для визначення ймовірності причинно-наслідкового зв'язку для зіткнення в умовах хорошої видимості, і другий - дерево несправностей, застосоване для визначення ймовірності причинно-наслідкового зв'язку для заземлення під напругою в умовах хорошої видимості. Використовуючи дерево несправностей, помилка, пов'язана з роботою людини, і помилка, пов'язана з недієздатністю і помилки, пов'язані з втратою працездатності, можуть бути змодельовані за допомогою дерева відмов.

Байєсівський мережевий підхід, як покращення аналізу дерева несправностей, може також може бути використаний для оцінки ймовірності причинно-наслідкового зв'язку. За допомогою ретельно побудованої Байєсівської мережі, можна включити експертні оцінки та статистику, щоб з метою моделювання людських помилок, людської поведінки, механічних відмов тощо. Мережа Байєсівських нейронних мереж будується за допомогою вузлів і дуг. Вузли - це змінні, які можуть мати кілька різних значень і кожне значення з певною ймовірністю. Наприклад, вузлом може бути "Погодні умови", а значення для "Погодних умов" можуть бути "Хороші" або "Погані", а ймовірність "Хороших" або "Поганих" значень може бути визначена за статистичними даними. На ймовірність значень вузла можуть впливати інші вузли через з'єднання дуг. Наприклад, на вузол "Видимість" може впливати вузол "Погодні умови", а на вузол "Час реакції" може впливати вузол "Видимість".



Рисунок 1- Вузли та дуги простої Байєсівської мережі

Для того, щоб оцінити геометричну ймовірність зіткнення суден, була застосована теорія молекулярних зіткнень. Згідно з цією теорією, геометрична ймовірність зіткнення суден має приблизно лінійну залежність з відстанню проходження, тобто часткою відстані проходження від середнього вільного пробігу константа є наближенням геометричної ймовірності. Ймовірність може бути обчислити за формулою

$$P_a = \frac{X \cdot L}{D^2} \cdot \frac{\sin(\theta/2)}{925} \quad (2)$$

де D - середня відстань між суднами (в милях); X - фактична довжина шляху, яку необхідно подолати для одного судна (морські милі); L - середня довжина судна (м). У цій формулі припускається, що основний потік суден рухається з однаковою швидкістю V , і є одиночне судно, що наближається до потоку зі швидкістю V і кутом θ . Цю модель можна легко розширити до більш загальних сценаріїв. Однак, геометрична ймовірність також завищена, особливо коли кут дуже малий. Крім того, припущення про однакову швидкості також не є обґрунтованим і може призвести до недооцінки. На основі доказів, модель може бути поширена на більш складні умови.

Fujii запропонував модель для оцінки середньої кількості ухильних дій суден, що проходять через зону, як

$$\int_{entrance}^{exit} (\rho D_e V_{rel}/V) dx \quad (3)$$

де ρ - щільність суден (кількість суден на одиницю площі), D_e – діаметр ухилення, V_{rel} - відносна швидкість, а V - швидкість судна, що проходить повз. Модель розроблено на основі геометрії та законів руху. D_e змінюється від 9,5 до 16,3 від довжини судна за Fujii. Припущення моделі Fujii є більш обґрунтованими порівняно з іншими моделями. Однак результати показують, що модель Fujii також переоцінює геометричну ймовірність. Це пов'язано з тим, що ухильні дії припускається в 9,5-16,3 рази більшою за довжину судна, що є досить консервативним. Насправді, мінімальна відстань між суднами в деяких протоках (наприклад, в Сінгапурській протоці) становить приблизно 3 довжини судна. Після новаторської роботи Fujii була запропонована концепція судового простору і широко застосовується в дослідженнях з безпеки судноплавства. Визначено різні типи суден, що мають різні типи судових областей з різними формами і розмірами. З тих пір були запропоновані, розроблені і застосовуються нечіткі розміри суден для оцінки частоти зіткнень.

На додаток до вищезгаданих моделей, існує також кілька нових моделей розроблених дослідниками. Проста модель випадкового блукання була побудована в роботі Tan and Ota (1999) [12] для оцінки геометричної ймовірності. Roelaven та ін. (1995) [13] розраховували ймовірність аварії шляхом підбору узагальнених лінійних моделей. Geng et al. (2009) [14] підібрали розподіл курсів суден за даними польових спостережень, а потім розраховували ймовірність зіткнення судна з мостом. Debnath і Chin [15] (2009) та Chin and Debnath (2009) [16] вивчали сприйнятий ризик зіткнення в портових водах.

Висновки. З урахуванням того, що система оцінки морських ризиків була добре розроблена, два питання все ще викликають занепокоєння. Одна з головних проблем полягає в тому, як кількісно оцінити вплив людських помилок. Формальний опис процесу судноводіння допомагає стандартизувати практики, встановити загальноприйняті норми і протоколи, а також сприяє вдосконаленню підготовки судноводіїв. Статистика показує, що близько 80 % зіткнень відбуваються через людські помилки, і це є основною причиною більшості транспортних аварій. ІМО запропонувала Human Reliability Analysis (HRA), деякі загальні інструменти, такі як Technique for Human Error Rate Prediction (THERP) and Human Error Assessment та Reduction

Technique (HEART), були запропоновані для використання в HRA морських аварій [17]. Однак, дуже мало дослідницьких робіт було опубліковано з аналізу аварійних ситуацій. Моделювання людського фактору все ще залишається складним завданням у проектах з оцінки морських ризиків, все ще залишається складною задачею, і майбутні дослідження є дуже бажаними. Також існує велика потреба в тому, щоб для морських аварій збирати дані про інциденти і людські помилки, подібні до тих, що збираються в авіації. Інше питання полягає в тому, як вирішити проблему невизначеності параметрів. Виходячи з вищезазначених підходів, оцінка ризику визначається різноманітними вхідними даними параметрами, такими як гідрографічний стан, характеристики суднового потоку, навігаційна ситуація. Загальновизнано, що невизначеність є неминучим компонентом процедури оцінки ризиків. Крім того, нестача даних може спричинити труднощі при оцінці ризику з невизначеністю параметрів. Для розповсюдження невизначеності на протязі всього аналізу та оцінки параметрів застосовано метод Байєсівського моделювання. Невизначеності протягом всього аналізу, показують, що результати будуть стійкими до притаманних їм невизначеностей.

Під час досліджень були запропоновані заходи, щодо вдосконалення системи управління судноводінням при зниженні навігаційних ризиків. Розглянуті моделі для оцінки навігаційної безпеки плавання в стислих водах та районах з інтенсивним судноплавством. Запропоновано два питання для подальших досліджень: невизначеність параметрів і кількісна оцінка людського фактора.

ЛІТЕРАТУРА

1. Du, L., Goerlandt, F., & Kujala, P. (2020). Review and analysis of methods for assessing maritime waterway risk based on non-accident critical events detected from AIS data. *Reliability Engineering & System Safety*, 200, 106933. <https://doi.org/10.1016/j.ress.2020.106933>
2. Froese, J. G. (2022). Standardization of Risk Assessment in Navigation. *Journal of Physics: Conference Series*, 2311(1), 012015. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2311/1/012015>
3. Chin, H. C., & Debnath, A. K. (2009). Modeling perceived collision risk in port water navigation. *Safety Science*, 47(10), 1410–1416. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2009.04.004>
4. Xia, H. (2021). Navigational risk analysis based on GIS spatiotemporal trajectory mining: a case study in Nanjing Yangtze River Bridge waters. *Arabian Journal of Geosciences*, 14(3). <https://doi.org/10.1007/s12517-021-06621-6>
5. Hsu, W. K., Chen, J., Huynh, N. P., & Lin, Y. (2022). Risk Assessment of Navigation Safety for Ferries. *Journal of Marine Science and Engineering*, 10(5), 700. <https://doi.org/10.3390/jmse10050700>
6. Li, B., & Pang, F. (2018). Innovative assessment scheme of navigation risk based on improved multi-source information fusion techniques. *International Journal of Distributed Sensor Networks*, 14(4), 155014771877254. <https://doi.org/10.1177/1550147718772543>
7. Debnath, A. K., & Chin, H. C. (2010). Navigational Traffic Conflict Technique: A Proactive Approach to Quantitative Measurement of Collision Risks in Port Waters. *Journal of Navigation*, 63(1), 137–152. <https://doi.org/10.1017/s0373463309990233>
8. Li, S., Meng, Q., & Qu, X. (2012). An Overview of Maritime Waterway Quantitative Risk Assessment Models. *Risk Analysis*, 32(3), 496–512. <https://doi.org/10.1111/j.1539-6924.2011.01697.x>
9. Banda, O. a. V., Goerlandt, F., Kuzmin, V. A., Kujala, P., & Montewka, J. (2016). Risk management model of winter navigation operations. *Marine Pollution Bulletin*, 108(1–2), 242–262. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.03.071>
10. Kim, K. S., Jeong, J., & Park, G. (2013). A Study on the Development of Ship's Passage Risk Assessment Simulator. *Journal of the Korean Institute of Intelligent Systems*, 23(3), 220–225. <https://doi.org/10.5391/jkiis.2013.23.3.220>

11. Wróbel, K., Krata, P., Montewka, J., & Hinz, T. (2016). Towards the Development of a Risk Model for Unmanned Vessels Design and Operations. *TransNav: International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*, 10(2), 267–274. <https://doi.org/10.12716/1001.10.02.09>
12. Tan, B., & Otay, E. N. (1999). Modeling and analysis of vessel casualties resulting from tanker traffic through narrow waterways. *Naval Research Logistics*. [https://doi.org/10.1002/\(sici\)1520-6750\(199912\)46:8](https://doi.org/10.1002/(sici)1520-6750(199912)46:8)
13. Roeleven, D., Stipdonk, H., Kok, M., & De Vries, W. A. (1995). Inland waterway transport: Modelling the probability of accidents. *Safety Science*, 19(2–3), 191–202. [https://doi.org/10.1016/0925-7535\(94\)00020-4](https://doi.org/10.1016/0925-7535(94)00020-4)
14. Geng, B., Wang, H., & Wang, J. (2009). Probabilistic model for vessel-bridge collisions in the Three Gorges Reservoir. *Frontiers of Architecture and Civil Engineering in China*, 3(3), 279–285. <https://doi.org/10.1007/s11709-009-0044-z>
15. Debnath, A. K., & Chin, H. C. (2009). Hierarchical Modeling of Perceived Collision Risks in Port Fairways. *Transportation Research Record*, 2100(1), 68–75. <https://doi.org/10.3141/2100-08>
16. Chin, H. C., & Debnath, A. K. (2009). Modeling perceived collision risk in port water navigation. *Safety Science*, 47(10), 1410–1416. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2009.04.004>
17. IMO. (2018). REVISED GUIDELINES FOR FORMAL SAFETY ASSESSMENT (FSA) (2nd ed.). International Maritime Organization. <https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/OurWork/Safety/Documents/MSC-MEPC%202-Circ%2012-Rev%202.pdf>

REFERENCES

1. Du, L., Goerlandt, F., & Kujala, P. (2020). Review and analysis of methods for assessing maritime waterway risk based on non-accident critical events detected from AIS data. *Reliability Engineering & System Safety*, 200, 106933. <https://doi.org/10.1016/j.ress.2020.106933>
2. Froese, J. G. (2022). Standardization of Risk Assessment in Navigation. *Journal of Physics: Conference Series*, 2311(1), 012015. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2311/1/012015>
3. Chin, H. C., & Debnath, A. K. (2009). Modeling perceived collision risk in port water navigation. *Safety Science*, 47(10), 1410–1416. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2009.04.004>
4. Xia, H. (2021). Navigational risk analysis based on GIS spatiotemporal trajectory mining: a case study in Nanjing Yangtze River Bridge waters. *Arabian Journal of Geosciences*, 14(3). <https://doi.org/10.1007/s12517-021-06621-6>
5. Hsu, W. K., Chen, J., Huynh, N. P., & Lin, Y. (2022). Risk Assessment of Navigation Safety for Ferries. *Journal of Marine Science and Engineering*, 10(5), 700. <https://doi.org/10.3390/jmse10050700>
6. Li, B., & Pang, F. (2018). Innovative assessment scheme of navigation risk based on improved multi-source information fusion techniques. *International Journal of Distributed Sensor Networks*, 14(4), 155014771877254. <https://doi.org/10.1177/1550147718772543>
7. Debnath, A. K., & Chin, H. C. (2010). Navigational Traffic Conflict Technique: A Proactive Approach to Quantitative Measurement of Collision Risks in Port Waters. *Journal of Navigation*, 63(1), 137–152. <https://doi.org/10.1017/s0373463309990233>
8. Li, S., Meng, Q., & Qu, X. (2012). An Overview of Maritime Waterway Quantitative Risk Assessment Models. *Risk Analysis*, 32(3), 496–512. <https://doi.org/10.1111/j.1539-6924.2011.01697.x>
9. Banda, O. a. V., Goerlandt, F., Kuzmin, V. A., Kujala, P., & Montewka, J. (2016). Risk management model of winter navigation operations. *Marine Pollution Bulletin*, 108(1–2), 242–262. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.03.071>
10. Kim, K. S., Jeong, J., & Park, G. (2013). A Study on the Development of Ship's Passage Risk Assessment Simulator. *Journal of the Korean Institute of Intelligent Systems*, 23(3), 220–225. <https://doi.org/10.5391/jkiis.2013.23.3.220>

11. Wróbel, K., Krata, P., Montewka, J., & Hinz, T. (2016). Towards the Development of a Risk Model for Unmanned Vessels Design and Operations. *TransNav: International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*, 10(2), 267–274. <https://doi.org/10.12716/1001.10.02.09>
12. Tan, B., & Otay, E. N. (1999). Modeling and analysis of vessel casualties resulting from tanker traffic through narrow waterways. *Naval Research Logistics*. [https://doi.org/10.1002/\(sici\)1520-6750\(199912\)46:8](https://doi.org/10.1002/(sici)1520-6750(199912)46:8)
13. Roeleven, D., Stipdonk, H., Kok, M., & De Vries, W. A. (1995). Inland waterway transport: Modelling the probability of accidents. *Safety Science*, 19(2–3), 191–202. [https://doi.org/10.1016/0925-7535\(94\)00020-4](https://doi.org/10.1016/0925-7535(94)00020-4)
14. Geng, B., Wang, H., & Wang, J. (2009). Probabilistic model for vessel-bridge collisions in the Three Gorges Reservoir. *Frontiers of Architecture and Civil Engineering in China*, 3(3), 279–285. <https://doi.org/10.1007/s11709-009-0044-z>
15. Debnath, A. K., & Chin, H. C. (2009). Hierarchical Modeling of Perceived Collision Risks in Port Fairways. *Transportation Research Record*, 2100(1), 68–75. <https://doi.org/10.3141/2100-08>
16. Chin, H. C., & Debnath, A. K. (2009). Modeling perceived collision risk in port water navigation. *Safety Science*, 47(10), 1410–1416. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2009.04.004>
17. IMO. (2018). REVISED GUIDELINES FOR FORMAL SAFETY ASSESSMENT (FSA) (2nd ed.). International Maritime Organization. <https://wwwcdn.imo.org/>

Honcharuk I.P., Golovan A.I.

ASSESSMENT OF NAVIGATIONAL SAFETY IN RESTRICTED CONDITIONS AND AREAS OF INTENSIVE SHIPPING TRAFFIC

One of the most important problems of modern shipping is to ensure navigational safety in restricted waters and areas with intensive shipping traffic in any hydrometeorological conditions. Modern navigation is characterized by significant features, which primarily include the influence of stochastic factors on the navigation process, assessment of the navigation situation and decision-making on maneuvering by the navigator. It is these features that determine the rather high level of navigation accidents in water transport. Recently, given the special importance of water transport, significant measures have been taken to improve navigation safety, especially in limited conditions, both in marine areas and inland waterways. Such measures include, first of all, the revision of existing and adoption of new organizational and technical requirements governing safety.

This article highlights the important issue of ensuring navigational safety in restricted waters and areas with intensive shipping traffic, which is one of the key problems of modern shipping. The features of modern navigation are considered, including the influence of stochastic factors on the assessment of the navigational situation and decision-making by the navigator, which cause a high level of navigation accidents.

The article includes an overview of modern measures to improve navigation safety, which include the improvement of organizational and technical requirements governing navigation safety. However, the authors point to the existing contradiction between the ever-increasing requirements for safety of navigation and its actual state, emphasizing that the level of navigation accidents remains high despite efforts to reduce it.

The article focuses on the lack of formal methods for describing the navigation process, which is an obstacle to solving many navigation safety issues. The authors propose ways to solve this problem, which include the identification of models of navigation risks and the development of a methodology for a comprehensive assessment of navigation risks, with a description of the main properties of a qualitatively complex organizational and technical system of navigation.

Keywords: Shipping, navigation safety, compressed waters, areas with intensive navigation, hydrometeorological conditions, stochastic factors, assessment of the navigation situation, decision-making by the navigator, navigation accidents, organizational and technical requirements, ensuring navigation safety, behavior of the organizational and technical system, models of navigation risks, probability space of states, comprehensive assessment of navigation risks, inland waterways, marine areas, water transport.

УДК 656.5:656.63

doi.org/10.33298/2226-8553.2023.1.37.16

Корякін К.С.

ОГЛЯД МЕТОДІВ ОЦІНКИ НАДІЙНОСТІ СУДНОВИХ НАВІГАЦІЙНИХ ПРИЛАДІВ ТА СИСТЕМ

Зростання кількості суден, їх розмірів та швидкості призводить до збільшення інтенсивності руху і потребує підвищення безпеки плавання. Надійність всіх суднових технічних засобів важлива для забезпечення безпеки плавання. Автори вважають, що це є важливою передумовою для вирішення проблеми надійності суднових систем. Стаття присвячена проблемі зниження надійності суднових систем, пристроїв та суден внаслідок безперервного ускладнення їх технічного обладнання. Незважаючи на надійність комплектуючих елементів, вузлів та приладів, безперервне ускладнення суднових технічних засобів призводить до зниження загальної надійності системи. Одним із факторів, який спричиняє зниження надійності, є вихід з ладу основного обладнання через специфічні умови експлуатації суден. Це може створити аварійну обстановку і призвести до серйозних наслідків, включаючи людські жертви. Оскільки морські транспортні судна перебувають далеко від берегових баз, вони не можуть розраховувати на швидку допомогу з боку судноремонтних підприємств. Загальний контекст статті полягає в пошуку рішень та заходів, які можуть покращити надійність суднових систем та забезпечити безпеку плавання. Аналізуючи проблему зниження надійності та використовуючи резервування агрегатів, автори прагнуть сприяти розвитку безпечної та надійної морських перевезень.

Ключові слова. безперервний працездатний стан, надійність, суднові системи, резервування, дублювання, аварійна обстановка, безпека плавання, технічні пристрої, ризик аварій.

Постановка проблеми. Зростання кількості суден, їх розмірів та швидкості призводить до збільшення інтенсивності руху і потребує підвищення безпеки плавання. Надійність всіх суднових технічних засобів важлива для забезпечення безпеки плавання, що є важливою передумовою для вирішення проблеми надійності суднових систем.

Мета статті полягає у дослідженні проблеми зниження надійності суднових систем та пропозиції шляхів її вирішення для забезпечення безперебійної роботи судового устаткування та підвищення безпеки плавання. Основним фокусом є використання резервування (дублювання) агрегатів як підходу для забезпечення неперервності роботи судна та зменшення ризику аварійних ситуацій. Метою є пропонування технічних рішень та рекомендацій, що сприятимуть підвищенню надійності суднових систем та забезпеченню безпеки плавання в умовах зростаючого транспортного потоку та ускладнених умов експлуатації суден.

Основний текст. Надійність устаткування одна із основних показників процесу експлуатації. За визначенням надійність ця властивість об'єкта зберігати у часі у встановлених межах значення всіх параметрів, що характеризують здатність виконувати необхідні функції у заданих режимах та умовах застосування, технічного обслуговування, ремонтів, зберігання та транспортування. Як відомо, надійність є комплексною властивістю, яка залежно від призначення об'єкта та умов його експлуатації складається з поєднань властивостей: безвідмовності, довговічності, ремонтпридатності та збереження, що визначає необхідність кількісно оцінювати рівень надійності, визначати залежність надійності від режимів використання та умов експлуатації.

Електронна компонентна база для застосування на судах суттєво відрізняється від загальнопромислової електроніки. Відмінності наведено у таблиці 1:

Таблиця 1. Аспекти ввідмінності суднової від загальнопромислової електронної компонентної бази

Аспект	Суднова електронна компонентна база	Загальнопромислова електронна компонентна база
Функціональна номенклатура	До 1500 найменувань	Менш ніж 1500 найменувань
Серійність протягом життєвого циклу	Мала серійність	Велика серійність
Вимоги безвідмовності	Напрацювання до відмови 10^9 годин і більше	Напрацювання до відмови 410000 і менше годин
Температурний діапазон	Від мінус 60 до плюс 125 °C	Від 0 до плюс 45 °C
Довговічність експлуатації	Не менше 15 років	Від 10 000 до 100 000 годин

Комплекс таких жорстких вимог передбачає очевидним облік впливу режимно-часових процесів деградації параметрів електронних компонентів на кількісні оцінки стійкості електронної апаратури тривалого функціонування.

Гарантію відповідності електронно-компонентної бази заданим вимогам можуть дати лише безпосередні випробування електронних компонентів та функціональних блоків на надійність. При з одного боку, ймовірність безвідмовної роботи таких приладів та систем виявляється близькою до одиниці, що вимагає непомірно більших обсягів вибірок, що висуваються на випробування, з іншого боку, час, протягом якого гарантується ця ймовірність, велике, і, якщо навіть здійснювати безпосередні випробування, отримана інформація безнадійно відставатиме від темпів просування приладів та систем до замовника. Тому найчастіше практична можливість переконатися у виконанні жорстких вимог до встановлення компонентів та блоків в апаратуру стає проблематичною.

Усі дослідження надійності спрямовані на вирішення наступних трьох проблем: оцінка та прогнозування надійності приладів та систем на етапах проектування (апріорні методи); експериментальна оцінка показників надійності, тобто підтвердження проектного рівня надійності за результатами випробувань чи експлуатації (апостеріорні методи) та вжиття заходів щодо досягнення та забезпечення заданого рівня надійності шляхом оптимізації стратегії технічного обслуговування, резервування, обсягу запасних частин тощо. (Оптимізаційні завдання).

Пошук способів отримання інформації про надійність приладів та систем за більш короткі терміни і по можливості, якщо це апостеріорні методи, на меншій кількості зразків, що випробовуються, призвів до ідеї розробки методів прискореної оцінки, що включають апріорні (розрахункові), апостеріорні (експериментальні) і комбінованих методів. Згаданим

методам необхідний достовірний критерій, що дозволяє інтерпретувати результати дослідів у сфері поширення.

Такий критерій можна отримати на основі теорії, що описує процеси деградації приладів та систем. Однак теоретичні роботи в галузі прискореної оцінки надійності базуються або на теорії прогнозування, або на закономірностях та постулатах фізичного характеру, що описують окремі сторони процесів деградації та руйнувань. При цьому не враховується, що об'єкти дослідження є продукцією виробництва та ті зміни, які відбуваються в них у процесі випробувань та є причинами ненадійності, закладеними технологією виробництва. Усе це висуває розробку вероятностно-фізических основ прискореної оцінки надійності у низку найважливіших завдань у сфері надійності. Від вирішення цього питання залежить реалізація вимог до надійності елементів та вузлів, що диктуються потребами транспорту.

Умовно у проблемі надійності можна вибрати два напрями: забезпечення надійності та її розрахунок (контроль). Перше ґрунтується на вирішенні традиційних конструкторських та технологічних завдань зі створення високоякісних приладів та систем та правильної їх експлуатації, друге пов'язано, в основному, із застосуванням спеціальних математичних методів. Оскільки існуючі системи, що розробляються, призначаються для експлуатації протягом тривалого часу для забезпечення їх безвідмовності проводяться спеціально-профілактичні роботи, об'єднані в систему профілактичного технічного обслуговування.

До теперішнього часу в теорії та практиці надійності найбільшого розвитку набув напрямок, заснований на використанні тільки ймовірнісних концепцій (теорія ймовірності). У цьому випадку відмови розглядаються як деякі абстрактні випадкові події, а різноманітні фізичні стани приладів та систем звільняються до двох станів: справності та несправності. У ході експлуатації системи також можуть виявлятися та усуватися помилки. Якщо при їх виправленні не вносяться нові помилки або менше, ніж усувається, то в ході експлуатації надійність системи безперервно зростає. Чим інтенсивніше проводиться експлуатація, тим інтенсивніше виявляються помилки і зростає надійність. Методологія отримання кінцевих результатів про надійність приладів та систем відповідно до вірогідної (статистичної) теорії полягає в тому, що на підставі випробувань або експлуатації отримують статистику відмов, приладів та систем. Далі, використовуючи відомі статистичні критерії згоди, вибирають найбільш підходящу модель розподілу випадкових величин, розроблену в теорії ймовірностей (експоненційну, нормальну, Вейбулла, логарифмічно нормальне та ін), і приймають її як теоретичну модель розподілу ймовірностей безвідмовної роботи (моделі надійності) виходячи з якої визначають необхідні кількісні показники надійності. Оцінка (розрахунок) надійності систем здійснюється шляхом обчислення ймовірностей працездатних станів елементів (Рис.1);

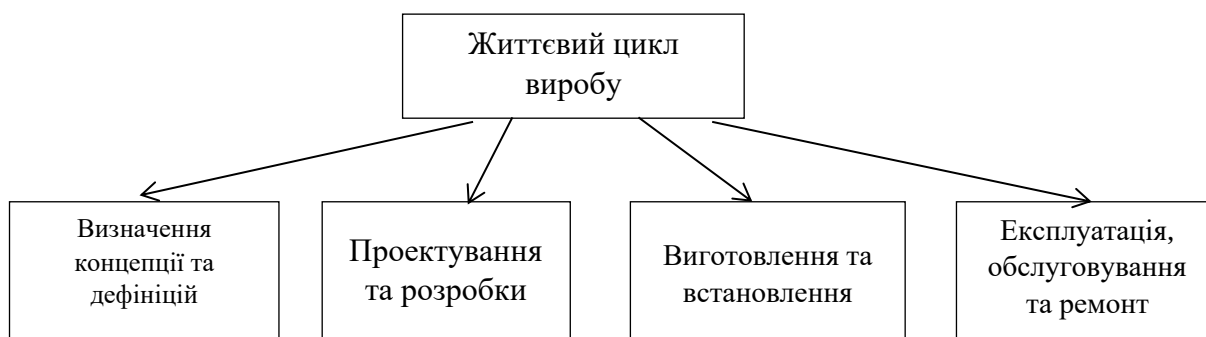


Рисунок 1 - Стадії життєвого циклу виробу.

На весь життєвий цикл об'єкта розробляється програма забезпечення надійності, що є документом, що встановлює комплекс взаємопов'язаних організаційно-технічних вимог та заходів, що підлягають проведенню на певних стадіях життєвого циклу об'єкта та спрямовані

на забезпечення заданих вимог до надійності та (або) підвищення надійності. Така програма розробляється як єдиного документа чи вигляді окремих документів на стадіях розробки, виробництва та експлуатації. Програми забезпечення надійності є основним документом, що дозволяє здійснити комплексний підхід до вирішення завдань забезпечення надійності з урахуванням інтересів усіх сторін (постачальника, споживача) на всіх стадіях життєвого циклу об'єктів. Програма забезпечення надійності спрямована на аналіз, підтвердження, контроль та підтримання рівня надійності, встановленого у нормативно-технічних документах та залежить від проектних рішень, специфічних обмежень та вимог. Важливим фактором є визначення правильних вимог до надійності, оскільки, як правило, немає точної інформації про надійність складових виробу, що розробляється. Тому як метод прискореної оцінки надійності на стадії висування рекомендують використовувати методи імітаційного моделювання (на основі інформації про аналоги і прототипи об'єкта та їх складові), статистичного моделювання та наближеного апріорного розрахунку.

Особливу важливість мають завдання, які забезпечують безвідмовність, довговічність та ремонтпридатність об'єкта. Випробувальна стратегія має забезпечувати оцінку достовірності ризиків постачальника та споживача. На стадії виготовлення об'єкта використовують методи прискорених форсованих випробувань (визначальних і контрольних), і навіть методи прогнозування.

На стадії експлуатації, обслуговування та ремонту об'єкт застосовується за призначенням, обслуговується та ремонтується. Заходи щодо забезпечення надійності повинні концентруватися на зборі експлуатаційної інформації, оцінці та аналізі даних про несправності та відмови, стратегії технічного обслуговування та ремонту, забезпечення запасними частинами. розрахунку та прискорених випробувань.

На рисунку 2 наведено класифікацію методів оцінки надійності, які формально, виходячи зі способу отримання вихідної інформації про об'єкт, поділяються на апостеріорні (методи прискорених випробувань, методи прогнозування), апріорні (методи моделювання та методи розрахунку) та апріорно - апостеріорні (комбіновані), що представляють собою поєднання ознак як апріорних, і апостеріорних методів (розрахунково-експериментальні методи), рис.2;

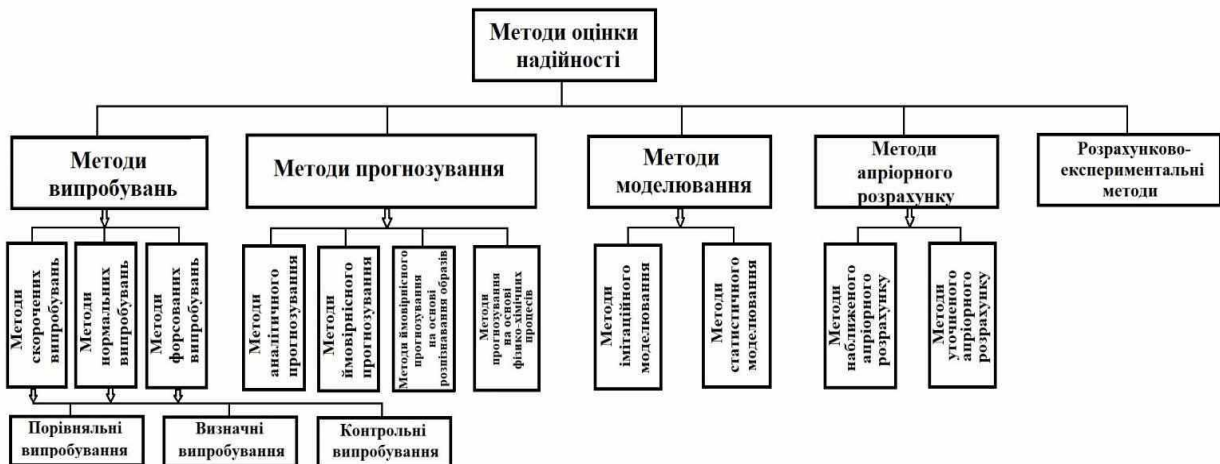


Рисунок 2 – Класифікація методів оцінки надійності

Прогнозування надійності полягає в спостереженні прямих (визначальних) чи непрямих прогнозуючих параметрів. Прогнозувати можна або за результатами завершених спостережень вибірки приладів та систем, або дослідити надійність виробу у процесі роботи. Ця обставина набуває особливої важливості для приладів та систем, які виготовляються в одиничній чи невеликій кількості примірників та виконують відповідальні функції. Для них неприпустимою є оцінка надійності за статистикою відмов (особливо це стосується високонадійних приладів та систем із надмірною структурою).

У межах класифікації методів прогнозування надійності існують такі способи:

- пряме прогнозування;
- Зворотне прогнозування;
- прогнозування вперед;
- прогнозування у теперішньому;
- прогнозування назад;
- Індивідуальне прогнозування;
- групове прогнозування

Для вирішення завдань надійності найчастіше використовується перша група.

Щоб обґрунтувати вибір того чи іншого методу прогнозування, необхідно мати можливість кількісно оцінити його якість. Кожен метод повинен супроводжуватись певним значенням показника якості.

Математичне моделювання дозволяє в деяких випадках передбачити надійність виробу в дуже стислий термін. Методи математичного моделювання надійності можна поділити на дві основні групи:

- методи статистичного моделювання;
- методи імітаційного моделювання.

Методи статистичного моделювання використовують із дослідження поведінки вибірки приладів та систем у процесі випробувань на надійність. Дані методи ґрунтуються на використанні генератора випадкових чисел, розподілених за заданим законом розподілу. Як випадкова величина найчастіше вибирається час до відмови виробу. Статистичне моделювання дозволяє імітувати будь-який план випробувань і отримувати всі статистичні оцінки досліджуваної вибірки приладів та систем, що «відмовили». Перехід до кількісних показників надійності здійснюється безпосередньо через статистичні оцінки при непараметричних методах оцінки надійності, або шляхом обчислення параметрів теоретичних розподілів відмов.

Методи імітаційного моделювання (машинного експерименту) використовують із дослідження поведінки складних приладів та систем чи систем у заданому, котрий іноді реальному масштабі часу. За результатами моделювання поведінки виробу проводять статистичну обробку результатів його функціонування, на підставі якої одержують оцінки показників надійності.

Оцінка надійності методами апріорного розрахунку використовується на етапі проектування чи модернізації виробу. Такі методи засновані на апріорній інформації про об'єкт досліджень, а саме:

- структурна схема надійності;
- склад, номенклатура та показники надійності елементів;
- режими роботи елементів;
- умови експлуатації виробу, тощо.

За цільовим призначенням розрізняють апріорні розрахунки на стадії проектування або на стадії експлуатації (розрахунки, що констатують). Головним призначенням методів апріорного розрахунку надійності є:

- порівняльний аналіз різних конструктивних та схематичних варіантів виробу на стадії його проектування н відпрацювання;
- орієнтовна оцінка надійності виробу на етапі розробки технічного завдання та етапах технічного проектування;
- орієнтовна оцінка надійності складного виробу на етапі відпрацювання дослідного зразка для обґрунтування розподілу вимог до надійності складових частин виробу та орієнтовної оцінки комплекту запасних частин та термінів технічного обслуговування та ремонту.

Розрахунково-експериментальні методи використовують для визначення показників надійності однотипних елементів та складових частин, що входять до складу виробу

Експериментальна оцінка може проводитись як методами прискорених випробувань, так і за результатами підконтрольної експлуатації.

Розрахунково-експериментальні методи дозволяють оцінити ступінь адекватності і уточнити оцінки, отримані методами апіорного розрахунку.

Представлений підхід до методів для прискореної оцінки надійності дозволяє застосувати системний підхід на основі базової теоретичної моделі надійності - розподілу напрацювання до відмови та об'єднати існуючі та знову розроблювані апіорні, апостеріорні та комбіновані методи з метою скорочення часу отримання інформації про надійність виробу.

Останнім часом все більшого поширення набувають імовірно-фізичні моделі надійності, які можуть успішно замінювати існуючий апарат дослідження та прогнозування належності. Імовірно-фізичний підхід заснований на використанні законів розподілу відмов (моделей надійності), що впливають з аналізу фізичних процесів деградації та призводять до відмови. У цьому фізичні процеси деградації розглядаються як випадкових процесів. Цей підхід до дослідження надійності названий ймовірно-фізичним, оскільки він безпосередньо встановлює зв'язок ймовірності досягнення граничного рівня фізичним визначальним параметром, тобто пов'язує значення ймовірності відмови та фізичного параметра, що викликає відмову. Внаслідок цього параметри ймовірного розподілу відмов мають певний фізичний зміст. У приладів та систем електронної техніки типу інтегральних схем практично неможливо назвати всі визначальні параметри, що викликають відмови численних компонентів, і тим більше виміряти їх. У такому випадку залишається можливість статистичної оцінки середньої швидкості узагальненого процесу деградації виробу. Однак, безсумнівно те, що в цих виробках протікають фізичні деградації, які визначають відповідну ймовірність руйнування, тобто цим виробам відповідає певна імовірно-фізична модель надійності.

Експериментально доведено, що розбіжність щодо оцінки показників належності приладів та систем залежно від прийнятої теоретичної моделі може становити кілька порядків. Отже вибір тієї чи іншої теоретичної моделі розподілу відмов елементів зрештою визначає відповідну точність розрахункових кількісних показників надійності технічних пристроїв і систем, що розробляються. Правильний вибір теоретичної моделі розподілу відмов високонадійних інтегральних схем, напівпровідникових приладів та систем тощо. виявляється не простим завданням, оскільки для електронних компонентів отримання повних вибірок відмов, навіть у форсованих режимах, неможливо. Вибір теоретичної моделі розподілу відмов у разі може бути здійснено переважно з урахуванням фізичного обґрунтування. Відомо кілька схем формалізації моделей відмов виходячи з аналізу динаміки визначальних параметрів, які призводять до відмовного стану. Однією з перших спроб уявлення процесу поведінки визначального параметра при формалізації моделі параметричних відмов стало уявлення зміни визначального параметра як лінійного закону (рис. 3) [5, 6, 7].

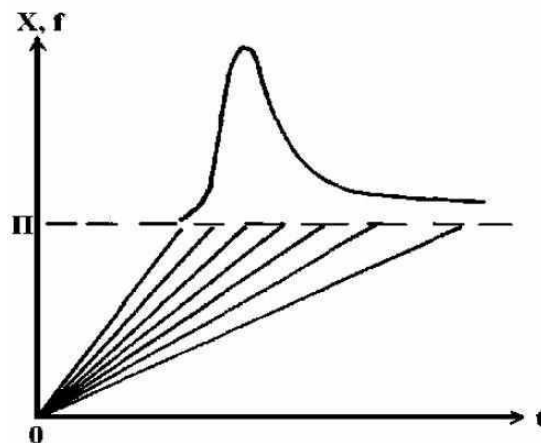


Рисунок 3 – Модель випадкового процесу деградації (віяловий процес) та схема формування розподілу напрацювання до відмови (альфа-розподіл)

Розглядаючи стаціонарний процес зношування, також приймається гіпотеза про сильне "перемішування" стаціонарного процесу зношування, при якому зміна дисперсії передбачається пропорційним часом, а розподіл часу напрацювання для великих значень зносу асимптотично нормальним (рис. 4) [5, 6, 7]:

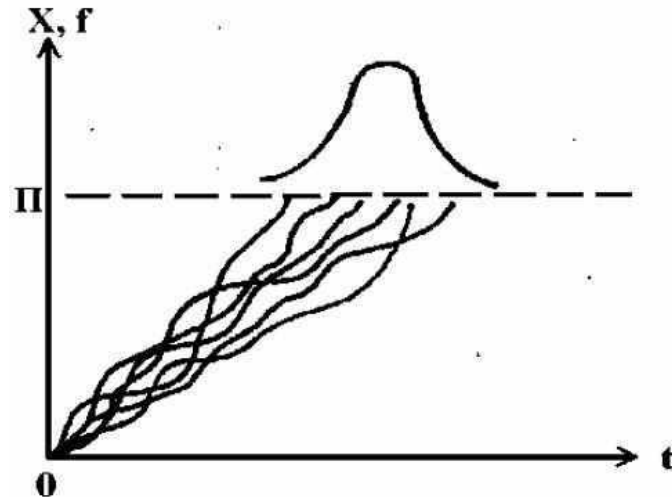


Рисунок 4 – Модель випадкового процесу деградації (сильно “перемішаний” гаусівський процес) та схема формування розподілу напрацювання до відмови (нормальний параметричний розподіл)

Аналізуючи різноманітні деградаційні процеси, можна назвати, що вони мають випадкову природу, причому зміна їх значень носить як монотонний, і немонотонний характер. Складні вироби електронної техніки типу інтегральних схем одночасно схильні до дії багатьох процесів. Всі ці процеси, некорельовані та слабкорельовані між собою, формують загальний процес деградації виробу.

Типові деградації якісно представлені на рис. 5-6. Показані процеси з безліччю реалізацій можуть відповідати одному складному виробу типу інтегральна схема, що має безліч електронних компонентів. Процес деградації приладів та систем електронної техніки поряд з монотонними реалізаціями (механічне руйнування) внаслідок електричних явищ має й немонотонні реалізації, тому у загальному випадку прийнято розглядати деградацію цих приладів та систем як процес із немонотонними реалізаціями (див. рис.5) [5, 6, 7]

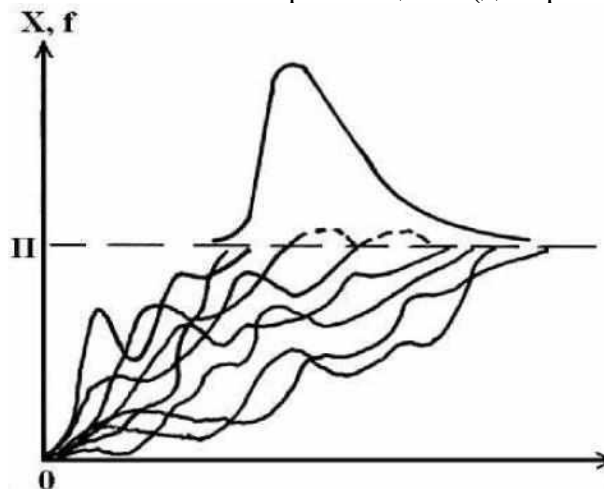


Рисунок 5 – Модель випадкового процесу деградації (марківський немонотонний процес) та схема формування розподілу напрацювання до відмови (DN розподіл)

Для компонентів технічних систем, що містять електромеханічні та механічні елементи (контакти реле та роз'ємів, ковзаючі електричні контакти, тощо).

Процес деградації механічних об'єктів внаслідок незворотності процесів руйнування (механічного зношування, втоми, втомного фарбування) прийнято розглядати як процес з монотонними реалізаціями [5, 6, 7].

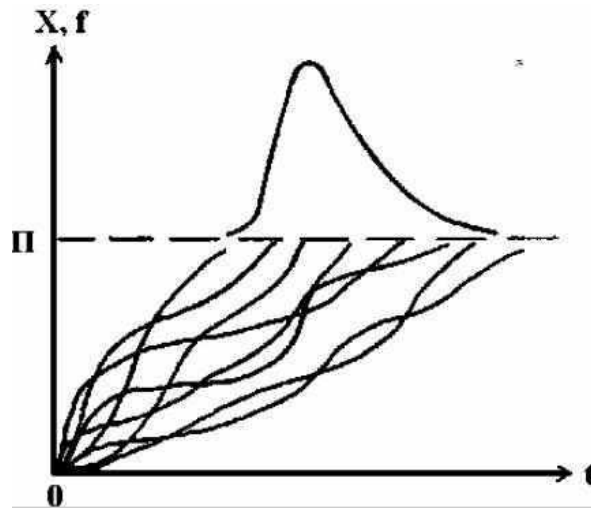


Рисунок 6 – Модель випадкового процесу деградації (марківський монотонний процес) та схема формування розподілу напрацювання до відмови (DM розподіл).

Згадані чотири види двопараметричних імовірісно-фізичних моделей відмов (альфа-розподіл, нормальний параметричний, DN-розподіл, DM-розподіл) побудовані на підставі аналізу одного типу процесу деградації – стаціонарного зношування (руйнування) та мають параметри з однаковою фізичною інтерпретацією. Але внаслідок різних схем формалізації висловлювання для законів розподілу відмов, і навіть формальні характеристики цих моделей значно різняться. Дамо порівняльну оцінку цих імовірісно-фізичних моделей відмов.

Як видно візуально, математичні моделі процесів деградації помітно відрізняються (див. рис.3-6), відповідно відрізняються і аналітичні висловлювання для законів розподілу напрацювання до відмови. Моделі аналізованих процесів значно різняться і з фізичної погляду. Ідеалізований випадковий процес (див. рис.3) свідчить про те, що його характеристики повністю визначаються початковим станом (якістю виготовлення зразків), і не залежать від механо-фізико-хімічних процесів деградації, що протікають всередині об'єктів під дією зовнішніх умов та часу. Протилежною у сенсі є модель на рис. 3. Процес із сильно "перемішаними" реалізаціями має швидко загасаючу кореляційну функцію, ті. мало залежить від початкового стану. Марківські моделі (див. рис. 5-6) мають як би узагальнюючі фізичні властивості, частково властиві першій (рис.3) і другій (рис.4) моделям.

Таким чином, аналіз основних кривих імовірісно-фізичних моделей відмов показує, що моделі, що зіставляються, мають істотно відрізняються закономірності, що визначають кількісні показники надійності.

Прийнята ідеалізація процесу зміни визначального параметра (процесу деградації) і його окремих реалізацій є фундаментом, у якому будується власне прогнозований процес - розподіл часу виходу визначального параметра за граничний рівень.

Адекватність математичних моделей випадкових процесів та реальних процесів деградації визначає адекватність прогнозованого розподілу (часу виходу з ладу досліджуваних об'єктів) реальному розсіюванню відмов генеральної сукупності. У разі адекватності ймовірісно-фізичної моделі відмов може бути оцінена з двох сторін. По-перше, вивченням вихідних ідеальних та реальних процесів деградації та, по-друге, зіставленням прогнозованого теоретичного розподілу та досвідчених даних відмов.

Другий шлях видається більш реальним і важливим з практичної точки зору. Візуальна оцінка представлених на рис.3-6 математичних моделей поведінки визначального параметра в процесі експлуатації, а також їх фізична основа, зазначена вище, вказує на те, що моделі на рис.5-6 ближче за інші до реального процесу зміни визначального параметру. Для більш глибокої перевірки адекватності моделей відмов потрібне вирівнювання експериментальних даних про відмови.

При дослідженні питань забезпечення безперервного працездатного стану судна при недостатній надійності його устаткування, одним із запропонованих підходів для розв'язання цієї проблеми - резервування агрегатів (дублювання). Цей підхід передбачає наявність додаткових копій агрегатів або систем, які можуть бути активовані в разі відмови основних компонентів. Резервування агрегатів має на меті забезпечити безперервну роботу судна, навіть у випадку відмови деяких його складових. Це дозволяє зменшити ризик аварій та забезпечити безпеку плавання. При виявленні відмови основного агрегату, резервний агрегат може бути активований автоматично або за допомогою оператора, щоб забезпечити продовження роботи системи без перерви. Тому такий підхід є одним із способів підвищення надійності суднових систем та зменшення ризику аварійних ситуацій. Цей підхід широко використовується у суднобудуванні та морській промисловості для забезпечення надійності технічних засобів та безперебійної експлуатації суден.

Висновки. Розглянуто методи оцінки надійності суднових навігаційних систем та класифікацію цих методів, наведено способи прогнозування надійності. Для прискорення отримання інформації про надійність виробу на основі базової теоретичної моделі надійності – розподілу напрацювання до відмови визначено можливість об'єднати існуючі апріорні, апостеріорні та комбіновані методи. Розглянуто імовірісно-фізичні моделі надійності та проведено їх порівняльний аналіз.

ЛІТЕРАТУРА

1. ДСТУ 8647:2016. Надійність техніки. Оцінювання і прогнозування надійності за результатами випробувань и/или експлуатації в умовах малої кількості відмов. К.: Видавництво Держстандарту України, 2017. 23 с.
2. Федухін А. В. До питання про прогнозування залишкового ресурсу виробів електронної техніки Інститут проблем математичних машин та систем НАН України, м. Київ, Україна, ISSN 1028-9763. Математичні машини і системи, 2020, № 1
3. Стрельников В. П., Федухін А. В. Оцінка та прогнозування надійності електронних елементів та систем. К.: Логос, 2002. 486 с.
4. Перроті А. І. Карташов Г. Д. Цретаєв К. М. Основи прискорених випробувань радіоелементів на надійність - М: Рад. радіо, 1968.-224 с.
5. David, V.; Marie, F.; Zdeněk, V.; Jakub, G. Degradation Process and Failure Estimation of Drilling System Based on Real Data and Diffusion Process Supported by State Space Models. Measurement 2020, 164, 108076.
6. Ma, J.; Fouladirad, M.; Grall, A. Flexible Wind Speed Generation Model: Markov Chain with an Embedded Diffusion Process. Energy 2018, 164, 316–328 с.
7. Азарсков В. Н.; Стрельников, В. П. Надійність систем управління та автоматики. Київ. НАУ. 2004. 164 с.
8. Стрельников В.П., Федухін А. В, Яковлев М.Ф. Імовірно-фізичний підхід до розрахунку показників надійності механічних вузлів засобів обчислювальної техніки // Математичні машини та системи. – 1997. – № 2. – 101-113 с.
9. Федухін А. В., Сеспедес-Гарсія Н. В. Уточнений розрахунок надійності електронних пристроїв на основі DN-розподілу // Математичні машини та системи. – 2000. – № 2, 3. – 170-175 с.

10. Стрельников В. П., Бутенко Л.И., Лучанський А.М. та ін. Методичні рекомендації щодо експериментальної оцінки показників надійності ЕОМ / - Київ: Ін-т кібернетики АН Україна, 1987 -61 с.
11. Abinandhitha, R.; Sakthivel, R.; Kong, F.; Parivalla, A. Robust Non-Fragile Boundary Control for Non-Linear Parabolic PDE Systems with Semi-Markov Switching and Input Quantization. Eur. J. Control 2022, 67, 100713.
12. Padgett W J., Wei L.J. Estimation for the three-parameter Inverse Gaussian Distribution // Comm. Stat. - Theor. Meth., ser.A8. 1979. - V/2. -P. 129-137.

REFERENCE

1. DSTU 8647:2016. Reliability of equipment. Evaluation and prediction of reliability based on the results of tests and/or operation in conditions of low number of failures. K.: State Standard of Ukraine Publishing House, 2017. 23 c.
2. Fedukhin A. V. On the issue of predicting the residual life of electronic equipment products Institute of Mathematical Machines and Systems of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine, ISSN 1028-9763. Mathematical machines and systems, 2020, No. 1
3. Strelnikov V. P., Fedukhin A. V. Estimation and prediction of reliability of electronic elements and systems. K.: Logos, 2002. 486 c.
4. Perroti A. I. Kartashov G. D. Tsretayev K. M. Fundamentals of accelerated tests of radio elements for reliability - Moscow: Sov. radio, 1968.-224 p.
5. David, V.; Marie, F.; Zdeněk, V.; Jakub, G. Degradation Process and Failure Estimation of Drilling System Based on Real Data and Diffusion Process Supported by State Space Models. Measurement 2020, 164, 108076.
6. Ma, J.; Fouladirad, M.; Grall, A. Flexible Wind Speed Generation Model: Markov Chain with an Embedded Diffusion Process. Energy 2018, 164, 316-328 pp.
7. Azarkov, V. N.; Strelnikov, V. P. Reliability of control and automation systems. Kyiv. NAU. 2004. 164 c.
8. Strelnikov V.P., Fedukhin A.V., Yakovlev M.F. Probabilistic-physical approach to the calculation of reliability indicators of mechanical units of computer equipment // Mathematical machines and systems. - 1997. - No. 2. - 101-113 p.
9. Fedukhin A.V., Cespedes-Garcia N.V. Refined calculation of the reliability of electronic devices based on DN-distribution // Mathematical machines and systems. - 2000. - No. 2, 3. - 170-175 p.
10. Strelnikov V.P., Butenko L.I., Luchansky A.M. et al. Methodical recommendations for experimental evaluation of computer reliability indicators / - Kyiv: Institute of Cybernetics of the Academy of Sciences of Ukraine, 1987 -61 p.
11. Abinandhitha, R.; Sakthivel, R.; Kong, F.; Parivalla, A. Robust Non-Fragile Boundary Control for Non-Linear Parabolic PDE Systems with Semi-Markov Switching and Input Quantization. Eur. J. Control 2022, 67, 100713.
12. Padgett W J., Wei L.J. Estimation for the three-parameter Inverse Gaussian Distribution // Comm. Stat. - Theor. Meth., ser.A8. - 1979. - V/2. -P. 129-137.

Koryakin K.S.

REVIEW OF METHODS FOR ASSESSING THE RELIABILITY OF SHIP NAVIGATION EQUIPMENT AND SYSTEMS

The increase in the number of ships, their size and speed leads to an increase in traffic intensity and requires an increase in navigation safety. Reliability of all ship's technical means is important for ensuring safety of navigation. The authors believe that this is an important prerequisite for solving the problem of ship systems reliability. The article is devoted to the problem

of reducing the reliability of ship systems, devices and vessels due to the continuous complexity of their technical equipment. Despite the reliability of component parts, assemblies and devices, the continuous complexity of shipboard technical equipment leads to a decrease in the overall reliability of the system. One of the factors that leads to a decrease in reliability is the failure of the main equipment due to the specific operating conditions of ships. This can create an emergency situation and lead to serious consequences, including human casualties. Since maritime transport vessels are far from shore bases, they cannot rely on quick assistance from ship repair facilities. The general context of the article is to find solutions and measures that can improve the reliability of ship systems and ensure safe navigation. By analyzing the problem of reliability decline and using redundancy of units, the authors aim to contribute to the development of safe and reliable maritime transportation.

Keywords. continuous serviceability, reliability, ship systems, redundancy, duplication, emergency situation, navigation safety, technical devices, risk of accidents.

УДК 656.5:656.63

doi.org/10.33298/2226-8553.2023.1.37.17

Мельник О.М., Онищенко О.А., Парменова Д.Г.

МЕТОДИКА ОРГАНІЗАЦІЇ САМООЦІНКИ ЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ БЕЗПЕКОЮ СУДНОПЛАВНОЇ КОМПАНІЇ

Самооцінка ефективності системи управління безпекою судна є важливим інструментом для оцінювання роботи та досягнення цілей компанії щодо безпеки експлуатації власного флоту. Данна стаття пропонує основи та організацію методики самооцінки ефективності системи управління безпекою судноплавної компанії. Розглядаються основні кроки та компоненти методики, включно з визначенням цілей і критеріїв ефективності, збором та аналізом даних, оцінкою результатів і розробкою плану дій для поліпшення ефективності системи управління безпекою, питання організації процесу самооцінки, включно із залученням екіпажу, експертів, встановленням термінів і розподілом відповідальності. Методика являє собою інструмент, який допоможе систематизувати процес самооцінки і визначити області, що потребують поліпшень. Результати дослідження можуть бути корисними для судноплавних компаній у сфері підвищення безпеки та ефективності експлуатації суден. У підсумку підкреслюється важливість регулярного використання методики самооцінки для підвищення ефективності та досягнення успіху в системі управління безпекою.

Ключові слова: система управління безпекою, оцінка ефективності, моніторинг ефективності, експертна група, навчання екіпажу, документація та звіти судна, плани заходів, підвищення ефективності, система безпеки судна, морський транспорт, безпека судноплавства.

Мета статті полягає в розробленні методики, що надає класифікацію невідповідності під час проведення самооцінки стану системи управління безпекою експлуатації судна та виборі рішень, спрямованих на підвищення ефективності функціонування таких систем.

Основний матеріал. Високий рівень аварійності, що спостерігається в морській галузі, є прямим наслідком недосконалої організації служби на судні або в судноплавній компанії. Ця

проблема вимагає від міжнародного морського співтовариства негайного вжиття заходів для поліпшення безпеки судноплавства, враховуючи ситуацію, що склалася. Наслідки небезпечних подій в світовому флоті має серйозні наслідки для людей і довкілля. Вони пов'язані як з різноманітністю форм власності та формами управління морськими суднами, так і зі зростаючою роллю помилок, спричинених "людським фактором", у процесі експлуатації суден. Тому виникає необхідність створення моделей самооцінки або стандартів управління безпекою в судноплавних компаніях, щоб визначити прийнятні вимоги для ефективного функціонування підрозділів, що займаються експлуатацією морських суден, і допомогти їм організувати свою діяльність відповідно до єдиного стандарту управління безпекою.

Міжнародний Кодекс з управління безпечною експлуатацією суден (МКУБ), ухвалений Міжнародною морською організацією (ІМВ) у резолюції А.741(18) у 1993 році та запроваджений до Міжнародної конвенції з охорони людського життя на морі 1974 р. (SOLAS-74) через главу IX - "Управління безпечною експлуатацією суден", є основою для створення стандарту управління безпекою судноплавної компанії. До МКУБ, що набув чинності з 1 липня 1998 року для певних категорій морських суден і з 1 липня 2002 року для всіх вантажних суден валовою місткістю 500 і більше тонн, було внесено поправки резолюцією MSC.104(73).

Міжнародний кодекс встановлює мінімальні вимоги, що стосуються відповідальності компанії, формування політики в сфері безпеки та запобігання забрудненню довкілля, цілей компанії та системи управління безпекою. Він також визначає обов'язки компанії в забезпеченні безпечної практики та захисту від виявлених ризиків під час експлуатації суден. Однак слід зазначити, що кожна судноплавна компанія унікальна, і Міжнародний кодекс, по суті, являє собою першу спробу формалізувати процес безпечної експлуатації морських суден. Він обмежується загальними принципами і категоріями, залишаючи компаніям свободу в побудові власної моделі компанії. Міжнародний кодекс визначає цілі та завдання, які мають бути вирішені в процесі функціонування системи управління безпекою (СУБ) судноплавних компаній.

За час, що минув з введення нової IX глави SOLAS-74, судноплавні компанії набули певного досвіду в розробці та впровадженні ідей, представлених у Міжнародному кодексі з управління безпечною експлуатацією суден (МКУБ). У результаті, виникли реальні відмінності між компаніями, які сумлінно виконують вимоги МКУБ, і компаніями, які формально підходять до виконання своїх зобов'язань за МКУБ. Це призвело до необхідності створення критеріїв, які дозволять кількісно оцінити ефективність СУБ судноплавної компанії. Такі критерії мають бути зрозумілі виробничим компаніям і мати об'єктивний характер.

Розроблення та впровадження СУБ не повинні бути метою само по собі або простим способом отримання конвенційних документів для компанії та судна. СУБ є інструментом для досягнення цілей, визначених самою судноплавною компанією, тому що МКУБ надає тільки загальні принципи, але не надає рекомендацій щодо конкретної реалізації вимог Кодексу в кожній судноплавній компанії. Кожна компанія повинна будувати свою СУБ з урахуванням своїх особливостей, визначати процедури і методи реалізації вимог МКУБ.

Важливо зазначити, що аналіз стану СУБ на судах у багатьох компаніях часто проводиться формально. Це не тільки призводить до неправильного уявлення про функціонування СУБ у компанії, а й ускладнює ухвалення ефективних управлінських рішень щодо поліпшення СУБ. Тому важливо розробити процедури оцінки ефективності СУБ, які враховуватимуть специфіку кожної судноплавної компанії та дадуть змогу отримати реальну картину її функціонування.

Основний принцип МКУБ полягає в прагненні до створення мобільної системи управління безпекою компанії, що саморозвивається. Для досягнення цієї мети необхідно аналізувати доповіді про невідповідності, отримані від влади держав порту і держави прапора в процесі експлуатації власних суден, а також невідповідності, виявлені під час внутрішніх перевірок системи управління безпекою судна і компанії загалом.

Ефективне функціонування СУБ неможливе без регулярного і ретельного аналізу стану

системи на різних етапах її розвитку. Виходячи з результатів такого аналізу, можна визначити кроки в поліпшенні діяльності системи управління станом безпечної експлуатації суден і здійснити їх реалізацію. Такий підхід дає змогу компаніям постійно вдосконалювати свої СУБ, реагувати на виявлені невідповідності та неполадки, а також вживати заходів для запобігання повторенню подібних ситуацій у майбутньому. Це сприяє забезпеченню безперервного поліпшення безпеки та зниженню ризиків під час експлуатації суден.

Організація процесу самооцінки ефективності СУБ компанії та розроблення відповідної методики оцінювання поліпшень у системі управління станом експлуатації суден є важливими і практично значущими завданнями в морській галузі. Самооцінка дає змогу компаніям оцінювати ефективність своєї СУБ та виявляти області для поліпшень. Це допомагає компаніям адаптуватися до мінливих вимог і стандартів, а також запобігати можливим ризикам і невідповідності в експлуатації суден.

Методика оцінки поліпшень дає змогу систематизувати процес оцінювання та вибору поліпшень у системі управління станом експлуатації суден. Це допомагає компаніям визначити найбільш ефективні та релевантні зміни, які сприяють підвищенню безпеки та якості експлуатації суден. Такі завдання є актуальними і практично значущими, оскільки сприяють підвищенню безпеки в морській галузі, зниженню аварійності та ризиків, а також забезпеченню безперервного поліпшення СУБ судноплавних компаній (табл.1).

Таблиця 1 - Основні етапи процесу самооцінки ефективності функціонування СУБ судна

Етап	Методи самооцінки	Засоби реалізації
1. Підготовчий етап	Визначення цілей самооцінки	Визначення основних цілей, яких компанія хоче досягти під час проведення самооцінки ефективності СУБ.
	Вибір методики самооцінки	Вибір відповідної методики або інструменту для проведення самооцінки, враховуючи специфіку компанії та її вимоги.
	Формування команди	Формування команди, відповідальної за проведення самооцінки, за участю різних зацікавлених сторін у компанії.
2. Збір даних	Ідентифікація критеріїв оцінювання	Визначення критеріїв і показників, які будуть використовуватися для оцінювання ефективності СУБ судна.
	Збір даних	Збір необхідних даних та інформації про функціонування СУБ, включно з результатами перевірок, звітами про інциденти, статистикою, а також думками та відгуками персоналу.
3. Аналіз даних	Оцінка наявного стану	Аналіз даних для визначення поточного стану СУБ, виявлення сильних і слабких сторін, а також виявлення потенційних областей для поліпшення.
	Оцінка відповідності вимогам	Зіставлення результатів самооцінки з вимогами міжнародних стандартів, законодавства та політики компанії.
4. Визначення поліпшень	Ідентифікація пріоритетних областей	Визначення пріоритетних областей, де необхідні поліпшення в системі управління безпекою судна.
	Розробка плану поліпшень	Розробка конкретного плану дій для впровадження необхідних поліпшень, включно з визначенням відповідальних осіб і термінів.
5. Впровадження та контроль	Реалізація поліпшень	Впровадження запланованих поліпшень у систему управління безпекою судна.
	Моніторинг та оцінка	Оцінка ефективності впроваджених поліпшень, регулярний моніторинг стану СУБ і проведення внутрішніх перевірок для підтримки безперервного поліпшення.

Схема, наведена на рис.1, описує основні етапи процесу самооцінки ефективності функціонування СУБ судна. Зазначимо, що ця схема може бути адаптована і налаштована під конкретні потреби, структуру і досвід судноплавної компанії. Наведений перелік описує послідовність дій та ролі різних осіб у процесі самооцінки ефективності СУБ на судні відповідно до наведеного опису;



Рисунок 1 – Алгоритм дій в процесі самооцінки СУБ судна

Важливо зазначити, що етапи і підходи в процесі самооцінки можуть варіюватися залежно від конкретних вимог і особливостей кожної судноплавної компанії. Гнучкість і адаптивність методики самооцінки дають змогу ефективно реагувати на зміни та безперервно вдосконалювати СУБ. Далі копії затвердженого звіту надсилаються членам експертної групи, що веде остаточну оцінку ефективності СУБ судна. Кожний експерт визначає за узагальненим звітом сильні сторони у системі управління безпекою судна та області, де можливі покращення, і виставляє загальну оцінку в балах. Експертна група обговорює результати під керівництвом головного експерта, робить експертний висновок, уточнюючи його з капітаном судна та відповідальною особою в компанії. Експертна група представляє свій остаточний висновок призначеній особі компанії, яка визначає пріоритети для областей діяльності, де можна ввести покращення. У підсумку призначена особа компанії та капітан судна визначають відповідальних за розробку та реалізацію необхідних заходів та формують план цих заходів та здійснюють регулярний контроль виконання плану заходів у період між самооцінками, які повинні проводитись щорічно з метою забезпечення неперервного вдосконалення діяльності СУБ компанії та СУБ судна.

Кожна відповідальна особа в процесі самооцінки виконує конкретні завдання, що сприяють оцінці та покращенню ефективності СУБ на судні. Призначена особа компанії забезпечує організацію та керівництво процесом самооцінки, капітан судна координує роботу та складає остаточний звіт, відповідальні фахівці та члени групи зі складання звіту займаються збором та аналізом даних, а експертна група проводить оцінку та робить

висновки. Цей процес допомагає компанії отримати уявлення про ефективність своєї СУБ та виявити можливі напрямки для її вдосконалення.

Під час наступних самооцінок ефективності функціонування СУБ можна уникнути необхідності складати новий звіт кожного разу. Замість цього можна зосередитися на відображенні змін, що відбулися за рік, і провести експертну оцінку на основі цих змін.

Основна мета впровадження самооцінки ефективності функціонування СУБ судна в діяльність судноплавної компанії полягає в поліпшенні роботи системи. Проте сам процес самооцінки сам по собі ще не забезпечує вдосконалення діяльності системи, він лише дає оцінку поточному стану справ і надає інформацію про сильні сторони діяльності СУБ судна та сфери, де можливі поліпшення. Крім того, самооцінка надає можливість кількісно оцінити ці поліпшення, наприклад, у балах. Але якщо результати самооцінки не використовуються для розроблення та реалізації відповідних заходів, вона не приносить бажаного ефекту.

Самооцінка ефективності СУБ суден компанії надає практично повну картину про ефективність діяльності СУБ компанії. За досвідом більшості компаній, які проводять самооцінку судових СУБ, виявляється понад сотня сфер діяльності, де можна впровадити поліпшення, починаючи від стратегічних питань до конкретних, які можуть бути вирішені оперативно. Проте компанії можуть не мати достатніх ресурсів для реалізації окремих заходів. Тому деякі обрані напрями вдосконалення СУБ компанії можуть бути непридатними, якщо враховувати специфіку її діяльності.

Для будь-якої компанії висока оцінка безпечної експлуатації суден порівняно з іншими критеріями є індикатором пріоритетного напрямку для поліпшення діяльності. Тому перший крок у використанні результатів самооцінки полягає в ідентифікації кількох життєво важливих напрямків, де необхідно зробити пріоритетні поліпшення. Досвід показує, що найкращі шанси на успіх мають ті заходи, що включені до виробничих або запланованих заходів безпеки компанії, які розробляються регулярно (наприклад, щорічні плани роботи СУБ компанії). Цю практику вже застосовують багато компаній, особливо тих, що мають значний досвід і присутні на ринку протягом тривалого часу. Рекомендується уникати створення окремого процесу для реалізації цих заходів, оскільки це може бути недоцільним. Також рекомендується надавати належне навчання персоналу компаній, які беруть участь у плануванні та розумінні процесу самооцінки. Чим краще розуміють причини і суть самооцінки судові та берегові фахівці, задіяні у процесі планування, тим більше шансів на успіх має компанія.

У експертну групу, яка займається оцінкою досконалості СУБ, можуть бути включені фахівці зі складу системи управління безпекою судноплавної компанії. Крім того, неформальна участь фінансового менеджера, наприклад, у експертній групі може мати позитивний вплив. Аварії суден, нещасні випадки з екіпажем, затримання суден в портах негативно впливають на капіталізацію компанії. Тому участь фінансового менеджера у таких проектах може сприяти отриманню кращих результатів самооцінки.

Підхід до навчання членів експертної групи шляхом проведення семінару та обговорення процедур самооцінки і ключових областей моделі досконалості СУБ є доброю практикою. На семінарі можна детально розглянути методологію оцінки, визначити параметри та обговорити критерії оцінювання для кожної ключової області. У процесі навчання, кожен член експертної групи повинен самостійно прийняти числові значення для чинників, що характеризують кожну ключову область. Це допоможе забезпечити об'єктивність оцінок. Кожен експерт може мати власне бачення для визначення критеріїв та обчислення інтегральної оцінки досконалості СУБ.

Для зменшення суб'єктивізму та отримання більш об'єктивних результатів, рекомендується залучити якомога більше оцінок досконалості СУБ. Ви можете розглянути можливість проведення "анонімного опитування" для експертної групи, де учасники надають оцінки анонімно. Це може допомогти отримати різноманітні погляди та зменшити вплив індивідуальних чинників на результати.

За результатами роботи експертної групи складається макет звіту про самооцінку та розробляється експертний висновок. У цьому звіті можуть бути включені результати оцінки

досконалості СУБ, виявлені недоліки, а також заходи та рекомендації щодо вдосконалення. Макет звіту та рекомендації підлягають затвердженню призначеною особою в компанії, і після цього здійснюється контроль за виконанням рекомендацій експертної групи. Цей підхід до самооцінки допоможе залучити експертні знання та досвід членів групи, а також створить основу для подальшого вдосконалення СУБ компанії.

Самооцінка рівня досконалості СУБ компанії має обмежену цінність сама по собі. Проте, досвід показує, що регулярне проведення самооцінки, наприклад, щорічно протягом кількох років, стає ефективним засобом поліпшення діяльності СУБ. Порівняння оцінок за цей період дозволяє виявити тенденції в діяльності компанії і здійснювати належні зміни.

Також важливо зазначити, що розкид оцінок між членами експертної групи дає змогу оцінити їх узгодженість. Якщо розкид великий і наближається за величиною до середнього арифметичного оцінок, це свідчить про недостатню узгодженість. Зворотно, розкид, близький до нуля, може піддавати сумнівам сумлінність роботи експертів.

Неформальні обговорення результатів самооцінки між членами експертної групи та керівником компанії є ще одним важливим аспектом. Ці обговорення, якщо вони відбуваються без формалізмів, дозволяють виявити сильні та слабкі сторони організації, шляхи вдосконалення системи управління безпекою та потенційні можливості для розвитку. Документальними підтвердженнями проведення самооцінки СУБ можуть бути:

- підписані виконавчим директором компанії накази про початок самооцінки СУБ та створення експертної групи;
- записи про навчання членів експертної групи;
- документ, що описує процедуру самооцінки СУБ, будь то самостійний документ або частина документа, що регламентує щорічну оцінку ефективності СУБ компанії.
- звіти про проведення самооцінки або включені розділи у звітах щорічної оцінки ефективності СУБ компанії.
- плани заходів з підвищення ефективності СУБ компанії з письмовими доказами їх виконання.

Перелік таких звітних документів слід включити в процедуру проведення самооцінки СУБ компанії, передбачивши порядок зберігання та знищення цих документів.

Висновки. У підсумку виявлено декілька ключових аспектів самооцінки рівня досконалості Системи управління безпекою (СУБ) компанії а саме з'ясовано що сама по собі оцінка рівня досконалості СУБ не має великої цінності. Проте, досвід показує, що регулярне проведення самооцінки на регулярній основі, наприклад, щорічно протягом кількох років, стає ефективним засобом поліпшення діяльності компанії у цьому напрямку. Порівняння оцінок за кілька років дозволяє виявити тенденції в діяльності компанії, що проводить самооцінку. Це дозволяє ідентифікувати сильні та слабкі сторони СУБ та розробляти відповідні стратегії для їх вдосконалення.

Аналіз розкиду оцінок між членами експертної групи дає змогу оцінити їх узгодженість між собою. Великий розкид може свідчити про недостатню узгодженість та потребу в додаткових заходах для покращення співпраці між експертами. Важливим аспектом проведення самооцінки є неформальне спільне обговорення отриманих результатів між членами експертної групи та керівником. Ці обговорення дозволяють виявити сильні та слабкі сторони компанії, шляхи вдосконалення системи управління безпекою та резерви, які допомагають реалізувати ці шляхи.

Нарешті, звітні документи, такі як накази керівництва судноплавної компанії про початок самооцінки СУБ та створення експертної групи, записи про навчання експертів, документація про проведення самооцінки та результуючі звіти, є підтвердженням проведення самооцінки та можуть служити основою для розробки планів заходів із підвищення ефективності СУБ компанії. Враховуючи ці аспекти, важливо включити в процедуру самооцінки СУБ компанії перелік відповідних документів та передбачити порядок їх зберігання та утилізації.

ЛІТЕРАТУРА

1. Hasanspahić, Nermin & Vujicic, Srdjan & Mandušić, Mario. (2023). Ship Safety Officers' Perceptions and Attitudes Toward Near-Miss Management Systems. Transactions on Maritime Science. 12. 10.7225/toms.v12.n01.w07.
2. Uflaz, Esma & Akyuz, Emre & Arslan, Ozcan & Celik, Erkan. (2022). A quantitative effectiveness analysis to improve the safety management system (SMS) implementation on-board ship. Safety Science. 156. 105913. 10.1016/j.ssci.2022.105913.
3. Mas Nizar, Adi & Nakamura, Masumi & Miwa, Takashi & Uchida, Makoto. (2022). Dynamic Safety Modelling for Ship Management Performance. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 1081. 012002. 10.1088/1755-1315/1081/1/012002.
4. Hsu, Shao-Hua & Lee, Meng-Tsung & Chang, Yang-Chi. (2023). Application of Rough Set Theory and Bow-Tie Analysis to Maritime Safety Analysis Management: A Case Study of Taiwan Ship Collision Incidents. Applied Sciences. 13. 4239. 10.3390/app13074239.
5. Melnyk O., Volianska Ya., Onishchenko O., Onyshchenko S., Bondar A., Golovan A., Cheredarchuk N., Honcharuk I., Obnyavko T. (2023). Marine Incidents Management and Information Exchange Technologies in the Process of Safe Ship Operation. International Journal of Computer Science and Network Security, 23 (01), 64-70. DOI: <https://doi.org/10.22937/IJCSNS.2023.23.1.9>
6. Jiao, Yue & Dulebenets, Maxim & Lau, Yui-yip. (2020). Cruise Ship Safety Management in Asian Regions: Trends and Future Outlook. Sustainability. 12. 5567. 10.3390/su12145567.
7. Li, Junman & Hu, Yaan & Wang, Xin & Diao, Mingjun. (2023). Operation safety evaluation system of ship lock based on extension evaluation and combination weighting method. Journal of Hydroinformatics. 25. 10.2166/hydro.2023.130.
8. Nosov, Pavlo & Koretsky, Oleksiy & D.M., Onyshko & v, Makarchuk. (2023). Development of an intelligent decision support system for ship movement management considering ship operator fatigue. Conference: XXIII All-Ukrainian Scientific and Technical Conference "State, accomplishments and prospects of information systems and technologies".
9. Park, Hayong & Woo, Juhyoung & Yi, Waonho. (2020). The Improvement of Safety Inspection Policies for Passenger Ships, Excursion Ships, and Ferries through Safety Management Analysis and On-site Inspections. Journal of the Korean Society of Hazard Mitigation. 20. 27-37. 10.9798/KOSHAM.2020.20.3.27.
10. Yorulmaz, Murat & Karabulut, Kaan. (2022). Analyzing the factors determining the effectiveness of the international safety management code applied on ships through the fuzzy DEMATEL method. Safety Science. 155. 105872. 10.1016/j.ssci.2022.105872.

Melnyk O.M., Onishchenko O.A., Parmenova D.G.

MANAGEMENT TECHNIQUES FOR SELF-ASSESSMENT OF SHIPBOARD SAFETY MANAGEMENT SYSTEM EFFICIENCY

Self-assessment of the effectiveness of the ship safety management system is an important tool for assessing the performance and achieving the company's goals regarding the safety of its fleet. This article proposes the basics and organization of the methodology for self-assessment of the effectiveness of a shipping company's safety management system. The main steps and components of the methodology are considered, including the definition of goals and performance criteria, data collection and analysis, evaluation of results and development of an action plan to improve the effectiveness of the safety management system, organization of the self-assessment process, including the involvement of the crew, experts, setting deadlines and distribution of responsibilities. The methodology is a tool that will help systematize the self-assessment process and identify areas for improvement. The results of the study may be useful for shipping companies in improving the

safety and efficiency of ship operations. In conclusion, the importance of regular use of the self-assessment methodology to improve efficiency and achieve success in the safety management system is emphasized.

Keywords: safety management system, performance assessment and monitoring, expert group, crew training, ship documentation and reports, action plans, performance improvement, ship safety system, maritime transport, shipping safety;

УДК 656.6-042.5/8:502/504

doi.org/10.33298/2226-8553.2023.1.37.18

Суворов П.С., Тарасенко Т.В., Залож В.І.

АНАЛІЗ ТРАНСФОРМАЦІЇ ОЦІНКИ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ СУДЕН В УМОВАХ ЕНЕРГЕТИЧНОГО ПЕРЕХОДУ У ВНУТРІШНЬОМУ ВОДНОМУ ТРАНСПОРТІ

Виконано дослідження форм індексу енергоефективності з метою визначення їх подальшої трансформації для суден внутрішнього плавання в умовах реалізації концепції «енергетичного переходу» та досягнення цілей системи «еконавігації». Проведений аналіз факторів, що впливають на формування індексів енергоефективності, розглядаючи специфічні характеристики суден внутрішнього плавання. Одним із важливих висновків є можливість використання розподілу суден внутрішнього плавання на різні типи відповідно до їхніх експлуатаційних характеристик. Це дозволить застосовувати окремі форми показників енергоефективності для кожного типу судна. Такий підхід дозволяє визначити оптимальні форми індексів енергоефективності, що враховують конкретні потреби і характеристики різних типів суден внутрішнього плавання у залежності від умов їх технічної експлуатації та забезпечення навігаційних умов плавання.

Розглядається можливість визначення різних форм індексів енергоефективності, враховуючи рівні маркування викидів, пов'язаних з роботою двигунів суден внутрішнього плавання. Це означає, що індекси можуть враховувати екологічні параметри та ефективність судна як цілісної системи, що стимулює зниження викидів і підвищення його продуктивності. Крім того, врахування рівнів маркування викидів стимулює підвищення уваги до екологічних аспектів в процесі проектування та виробництва суден, сприяючи сталому розвитку внутрішнього водного транспорту. При подальшій трансформації можуть бути досліджені та розглянуті інші аспекти визначення форм індексів енергоефективності, такі як ефективність палива, використання альтернативних джерел енергії, а також вплив технологічних новацій на показники енергоефективності суден внутрішнього плавання. Це дозволить ще більш точно визначити оптимальні рішення для поліпшення ефективності і екологічної сталості цих суден. Результати даного дослідження можуть бути корисними для вчених та фахівців у галузі внутрішнього судноплавства для розробки ефективних стратегій та політик з питань зменшення викидів парникових газів та поліпшення енергоефективності суден.

Ключові слова: дизельний двигун, шкідливі викиди, енергоефективність, внутрішнє плавання, паливна ефективність, еконавігація.

Постановка проблеми. Процеси формування загальноєвропейських концепцій покращення екологічності, енергоефективності та привабливості внутрішнього водного транспорту (ВВТ) тривають та отримують нові пріоритетні визначення та форми. Численні документи спеціалізованих міжнародних організацій та генеруємих проєктів відображають

прагнення до підвищення стійкості та мобільності ВВТ при досягненні його кліматичної нейтральності, що є політичним пріоритетом як на національному, так й на міжнародному рівні.

Підвищення сталості та мобільності формується на базі забезпечення принципу «модального зсуву», який передбачає стійке перенесення з інших видів транспорту більшого обсягу вантажних перевезень на внутрішні водні шляхи, перегляд чинної та створення нової нормативної бази для розвитку ринку ВВТ.

Приведення ВВТ до кліматичної нейтральності, тобто до нульового рівню викидів парникових газів та «забруднюючих речовин», (по основних сценаріях до 2050 р.) припускається досягнути за допомогою комплексу заходів, які включають різні дії з модернізації флоту, переходу на альтернативні дизельному нові види палив і нових підходів до його технічної експлуатації, впровадження нових цифрових технологій до управління рухом флоту та стандартів підготовки фахівців флоту в системі стандартів «еконавігації». У проведених за останні роки масових дослідженнях проблеми досягнення кліматичної нейтральності також подовжується розгляд застосування принципів підвищення енергоефективності у внутрішньому судноплаванні у розумінні його смислу аналогічно прийнятому Міжнародною морською організацією ІМО [1].

Мета роботи. Проведення досліджень застосування принципу енергоефективності у комбінації з комплексом сформульованих задач по забезпеченню кліматичної нейтральності та забезпечення оптимальних режимів руху суден в умовах існуючої невизначеності впливу наслідків змін клімату на внутрішнє судноплавство.

Актуальність. Відповідно до оголошених цілей Паризької угоди (грудень 2015 р.), "Зеленого пакту для Європи" (*European Green Deal*) Європейської Комісії (ЕК), прийнятого в грудні 2019 р., та "Стратегії сталої та розумної мобільності" ЕК (грудень 2020 р.), визначені пріоритетні напрямки політики, серед яких стала мобільність та дії, які необхідно реалізувати для досягнення кліматичної нейтральності ВВТ до 2050 р. Так, на рівні Європейського Союзу (ЄС) виконані та подовжуються роботи зі створення основних нормативних і інформаційних робочих документів для постановки і розв'язання поставлених задач (План дій Європейської Комісії *NAIADES III*, COM (2021) 324 *final*, Директиви (ЄС) , 2017/1629, Стандарт *ES-TRIN* (2023), матеріали робочих груп *CESNI*, Регламент (ЄС) 2016/1628, підсумки проекту *GRENDEL* (2018-2020 pp.), матеріали проекту *PLATINA 3*, дорожня карта Центральної комісії з судноплавства на Рейні (ЦКРП) зі зменшення викидів внутрішнього судноплавства [2]).

При цьому застосовано наступний розподіл на класи суден ВВТ відповідно до їхніх експлуатаційних характеристик «*fleet families*» (розроблено раніше у програмі *PROMINENT*, 2015-2018 р.р.), по яких оцінена застосовність різних технологій зниження викидів по наведених сценаріях:

- вантажні судна самохідні довжиною більше 110 м;
- самохідні танкери довжиною більше 110 м;
- вантажні судна самохідні довжиною 80-109 м;
- самохідні танкери довжиною більше 80-109 м;
- самохідні судна довжиною менше 80 м;
- штовхачі з силовою установкою потужністю менше 500 кВт;
- штовхачі з силовою установкою потужністю 500-2000 кВт;
- штовхачі з силовою установкою потужністю більше 2000 кВт;
- самохідне судно-штовхач (довжиною близько 95 м) в складі каравану з декількома баржами;
- пороми;
- пасажирські судна з каютами (маються на увазі круїзні судна) довжиною більше 86 м;
- пасажирські судна для одноденних екскурсій та пасажирські судна з каютами довжиною менше 86 м.

Така масштабна активність досліджень з орієнтацією на найбільш розвинуте внутрішнє судноплавство поодинокими суднами може у найближчому майбутньому

призвести до ускладнення для судновласників, особливо тих, які оперують великими караванами (до 15 тис.т) на великі дистанції, флот яких та умови роботи вкрай відрізняються від роботи самохідними суднами при цілорічній забезпеченості достанніх умов стабільності навігаційного фарватеру. Існує дуже великий ризик різкого впровадження однакових нормативних вимог як для усіх ВВШ Європи, так й для великих караванів, динаміка руху яких у значному ступеню відрізняється від самохідних поодиноких суден [1].

Аналіз існуючих досліджень і публікацій. Зменшення шкідливих викидів в атмосферу від судових двигунів та декарбонізація на внутрішніх водних шляхах є актуальною темою, яка формує основний напрям багатьох досліджень та публікацій, дослідницьких звітів та проєктів, спрямованих на розвиток чистих технологій, використання альтернативних видів палива та вдосконалення енергетичної ефективності суден внутрішнього плавання [2–7, 11]. Автори зосереджуються на вивченні та розробці інноваційних рішень для зменшення викидів парникових газів та поліпшення енергоефективності у секторі внутрішнього водного транспорту.

У роботі [2] розглядаються різні методи оцінки енергоефективності та акцентується на тому, що при оцінці кривої потужності-швидкості як вхідного параметру, можна ввести вимірювання потужності двигуна в реальному часі під час навігації, а потім встановити обмежувач потужності двигуна. Обидва заходи можуть керувати та оптимізувати потужність двигуна в реальному часі з метою досягнення енергоефективності в межах обмежень під час навігації. Тому, для забезпечення надійних умов навігації, слід вимірювати досягнуту енергоефективність, а не розраховувати її. Також автори [2] роблять висновок, що запропонованими регулятивними заходами не вдасться сприяти розвитку технологій, що стосуються енергоефективності, у наступні роки. Проєкти суден залишаються такими самими, як десятиліття тому. Це означає, що, згідно з результатами, більшість з них не потребує жодних покращень з точки зору енергоефективності. Однак, очевидним висновком є те, що методи оцінки енергоефективності суден на внутрішніх водних шляхах потребують гармонізації при вирішенні зазначених проблем. Уповноважені органи внутрішнього водного транспорту повинні надати більше "легкодоступних" рішень, подібних до тих, що використовуються у морській промисловості.

У роботі [3] порівнюються три конфігурації річкових конвоїв з точки зору їх транспортної потужності протягом навігаційного сезону, пропонуються конструктивні та експлуатаційні інновації для пристосування існуючого торговельного річкового флоту барж, побудованих в середині минулого століття і експлуатованих на річці Нижня Вісла, до ефективного судноплавства.

Опрацювання підходів до оцінки індексів енергоефективності, як до інструменту зменшення емісії CO₂ у внутрішньому судноплавстві знаходиться у фокусі роботи [5]. В [6] пропонується розглянути можливість створення в рамках PIANC Робочої групи (WG), яка була б спрямована на методологічні підходи в галузі декарбонізації внутрішнього водного транспорту, що перебувають на різних стадіях розвитку на міжнародному рівні. Ускладнюючим фактором зазначається те, що знання про декарбонізацію все ще знаходяться у стадії активного розвитку. В результаті може бути складно зібрати найкращі практики, оскільки вони постійно розвиваються і оновлюються.

Викладення основного матеріалу. При реалізації «енергетичного переходу» (переходу на такі види пального, які є альтернативними паливам викопного походження) для внутрішнього судноплавства основними задачами розглядається вчасна розробка та впровадження певних організаційних, технічних та соціальних заходів, які забезпечать перехід до нульового рівню шкідливих викидів судових двигунів по вже визначеним на сьогодні сценаріям, а саме:

а) послідовне зменшення маси парникових газів, приведених до CO₂, в випускних газах двигунів в процесі руху суден,

б) послідовне забезпечення виконання нормативних вимог зі скорочення (зменшення) рівню інших шкідливих викидів в випускних газах двигунів,

в) підсумкове забезпечення переходу флоту на роботу з нульовими викидами парникових газів та інших шкідливих речовин.

В той же час представники бізнесу у внутрішньому судноплаванні бажають зберегти свою звичну ділову практику, що означає продовження поточних дій (*business-as-usual*, *BAU*). Причиною тому є високи витрати та тривала окупність масштабних проектів модернізації та впровадження інноваційних технологій. Для реалізації таких проектів потрібна зовнішня фінансова підтримка, оскільки вони є коштовними та потребують тривалого часу для окупності. Це свідчить про відповідні труднощі та виклики, з якими стикаються учасники судноплавства при впровадженні змін та переході до більш сталого та екологічно чистого підходу. Тобто – з одного боку існують інноваційні розробки, проекти, технології, які можуть сприяти зникненню шкідливих викидів від роботи судових двигунів та допоміжних механізмів та привести їх до нульового рівню. З іншого боку існує судноплавний бізнес, якій оперує суднами на вкопному пальному, переживає при цьому тривалий складний період з жорсткою конкуренцією на ринку перевезень, та не готовий до реалізації проектів коштовних інновацій, ретрофітінгу та модернізації складу флоту.

Цей факт не залишається непомітним й певні кроки систематизації та оцінки можливості подальшого застосування в якості головних та допоміжних судових двигунів класичних двигунів внутрішнього згоряння викладені у Дорожній карті ЦКСР [7]. Також це є підставою стверджувати, що поки на ринку перевезень працюють судна з тепловими двигунами на вкопному пальному, актуальним залишиться пошук усіх можливих інструментів та індикаторів ефективної експлуатації, енергозбереження та зменшення шкідливого впливу на довкілля, для активного пошуку підходів до експлуатації нині існуючого флоту з мінімальними фінансовими вкладеннями, але при цьому з максимально можливим результатом щодо покращення екологічності. Таким може стати показник енергоефективності, адаптований для умов внутрішнього судноплавства [5].

Як вже зазначено, обговорення цього питання триває, але рух у напрямку розв'язання цього завдання є не дуже результативним та не пішов далеко від базового визначення індексів енергоефективності за методикою Міжнародної морської організації (ІМО) [1]. Але все ж такі певні трансформації можна зробити вже зараз, враховуючи досягнення на рівні європейських проектів та міжнародних організацій. До таких досягнень можна віднести пропозицію у [13] щодо *EEl*, який аналогічен експлуатаційному показнику ІМО (*EEOD*), також вимірюється у $\text{г CO}_2/\text{т км}$, та є питомою масою викидів CO_2 на транспортну роботу (тонно-кілометр дистанції руху судна). У подальшій програмі *PROMINENT* (2015 – 2018 р.р.) використовується той же аналог показника енергоефективності ІМО. У роботі [1] запропоновано інший, спрощений підхід:

$$EEDI = \frac{FC_j \cdot CF}{m \cdot dist}, \quad (1)$$

де FC_j – витрата пального на j -й частці внутрішнього водного шляху; CF – конверсійний фактор приведення шкідливих викидів до CO_2 ; m – маса вантажу, що перевозиться; $dist$ – дистанція, довжина даній частці.

Слід зазначити, що основні фактори впливу, зазначені у [11], застосовні також й для суден внутрішнього плавання, перш за все – для поодиноких суден, але у різному ступеню вагомості.

Пам'ятаючи, що початково індекс енергоефективності [9] являє собою співвідношення шкідливого впливу на навколишнє середовище та загальної користі, яку отримує спільнота:

$$EEI = \frac{\text{Вплив на навколишнє середовище}}{\text{Користь для спільноти}} \quad (2)$$

цілком зрозуміло, що обчислення показника енергоефективності має бути простим і придатним для широкого застосування, а сам показник має на меті сприяння зусиллям усіх учасників судноплавства щодо покращення ефективності використання пального та екологічності за умови розрізнення та порівняння проектних (*EEDI – Energy Efficiency Design Index* – проектний для нових суден), фактичних (*EEOI – Energy Efficiency Operational Index* – експлуатаційний; *EEXI – Energy Efficiency Index for Existing Ships* – для суден, побудованих та введених в експлуатацію до початку дії конвенційних вимог до енергоефективності) та референтних значень. Такий підхід також стимулює постійний технічний розвиток усього обладнання та комплектуючих, що впливають на ефективність використання пального. Також у індексі енергоефективності Міжнародною морською організацією реалізована можливість відокремлення технічних та проектних заходів від операційних і комерційних.

Більш складна з відомих форм індексу енергоефективності [10] базується на властивостях логарифмічної функції, що дозволяє врахувати нелінійний характер зменшення витрати пального при зменшенні відношення змоченої поверхні корпусу судна до водомісткості:

$$EEDI = \frac{\log(CO_{2ref} / CO_2)}{(C \cdot \log(Dw) + B)} \quad (3)$$

де CO_{2ref} – еталонне значення викидів CO_2 для суден даного типу й розміру; CO_2 – фактичне значення викидів CO_2 для даного судна; Dw – дедвейт судна; C , B – коефіцієнти, які враховують вплив розмірності судна на його енергоефективність.

Логарифмічна залежність у знаменнику (3), у свою чергу, дозволяє врахувати нелінійний характер збільшення індексу енергоефективності, зокрема проектного *EEDI*, суден більших розмірності (судна більшої водомісткості та розмірності мають більш високі значення *EEDI*).

Чинна настанова з обчислення індексу енергоефективності морських суден [11], прийнята 79-ю сесією ІМО, містить вдосконалену формулу та оновлені роз'яснення до неї, серед яких, зокрема, роз'яснення щодо максимально допустимого відрахування через використання валогенератора та роз'яснення для забезпечення послідовного підходу при роботі в змінних географічних умовах з застосуванням кількох вантажних марок. Що стосується внутрішнього судноплавства, при обранні способів обчислення показників енергоефективності та технологій управління енергоефективністю, необхідно враховувати вплив змінних навігаційних умов (глибина, ширина фарватеру, наявність перекатів, вузьких місць тощо) як визначне в умовах їх абсолютної невизначеності. Крім того врахуванню підлягає вік судна, поточний технічний стан його енергетичної установки (СЕУ).

В рамках роботи проекту *PLATINA 3* [12] був запропонований новий механізм застосування системи маркування викидів від роботи двигунів суден внутрішнього плавання та визначені 5 рівнів. Така градація дозволяє реалізувати гнучкий підхід до оцінки енергоефективності з врахуванням як змінних навігаційних умов роботи суден внутрішнього плавання, так і його особливостей. Якщо до кожного рівня визначити свою форму індексу енергоефективності, то у загальному вигляді це може подано у табличній формі, див табл. 1.

Таблиця 1 – Відповідність рівнів системи маркування викидів та застосовної форми індексу енергоефективності

Рівень	Опис	Форма <i>EEl</i>
A	Враховує тільки роботу силової установки – двигуна – при русі судна	$EEl_A = \frac{FC \cdot CF}{m \cdot dist}$
B	Враховує роботу всіх основних перетворювачів енергії на борту судна	$EEl_B = \frac{(FC_{ME} + FC_{AE_1} + \dots + FC_{AE_n}) \cdot CF}{m \cdot dist}$

C	Враховує роботу судна в цілому, включаючи його гідродинаміку, для визначених умов експлуатації	$EEI_C = \frac{R \cdot v \cdot SFC \cdot CF}{m \cdot dist}$
D	Враховує експлуатаційні показники, включаючи швидкість руху судна, загальну кількість рейсів, періоді плавання в баласті	$EEI_D = \frac{\sum P_e \cdot \sum SFC_i \cdot CF}{m \cdot v}$
E	Враховує переваги мультимодальних перевезень	$EEI_E = \sum_{i=1}^n EEI_i$

Форма індексу енергоефективності у таблиці адаптована під рівні маркування наступним чином.

Рівень А – передбачається врахування виключно характеристик витрати пального головною судновою енергетичною установкою.

Рівень В – враховуються характеристики витрати пального усього суднового енергетичного обладнання (головної силової установки – індекс ME , допоміжних силових установок, насосів, систем опалення та охолодження тощо – індекси $AE_1 \dots AE_n$).

Рівень С – характеристики гідродинаміки враховуються через буксирувальну потужність.

Рівень D – комплексний показник за певний період роботи судна (наприклад, за календарний рік), в якому R – опір води руху судна, v – швидкість судна, SFC – питома витрата палива, P_e – корисна тяга.

Рівень E («від двері-до двері»), визначаючи попередній / кінцевий пункти перевезення вантажів, враховуються усі етапи доставки вантажу від початкового до кінцевого пункту для усіх видів транспорту, що задіяні у даному перевезенні.

Рівні В, С, D найбільш повно відображають екологічні показники та ступінь енергоефективності роботи судна. При цьому рівень В може бути застосованим на всіх судах ВВТ оскільки всі необхідні вихідні дані для розрахунку викидів саме по цьому рівню можуть бути визначені по фактичним характеристикам (дані про споживання енергії, типу енергії, викидах парникових газів тощо).

Суть та цілі впровадження системи маркування викидів во внутрішньому судноплавстві полягають у наступному:

- диференціювати флот в межах певного класу (самоходні поодинокі судна, штовхачі, тощо) шляхом визначення показників від усіх силових перетворювачів енергії на борту;
- попередньо оцінити енергоефективність (викиди, приведені до CO_2) конкретних типів суден внутрішнього плавання з врахуванням того, як вони спроектовані / побудовані, а також з врахуванням ймовірних умов експлуатації;
- представити теоретичні характеристики енергоефективності і викидів конкретного судна на основі змодельованих умов плавання (з урахуванням конкретного водного шляху і типу судна), оптимізувати, зокрема, конструкцію корпусу та гребного гвинта для передбачуваного району плавання та реальних умов експлуатації;
- оцінити рівень експлуатаційних викидів парникових газів від двигунів суден внутрішнього плавання з урахуванням розрахунків вуглецевого сліду в логістичній схемі перевезень та зіставити ці показники з іншими видами транспорту (на базі підходу, який застосовується GLEC – Глобальна рада з викидів в логістиці).

Даний інструмент може бути застосований до вантажних суден та суден-штовхачів великовантажних караванів, а також до спеціалізованого флоту (наприклад, днопоглиблювальних, гідрографічних суден і поромів).

При цьому доцільним вважається можливість застосування EEI у варіантах як операційного $EEOI$, так й конструктивного $EEDI$, аналогічних IMO , але для умов плавання на ВВШ, які пропонуються у дослідженнях, що проводяться у рамках програми *PLATINA 3* [12]:

- проектного для внутрішнього судноплавства $EEDI_{inland}$;
- експлуатаційного для внутрішнього судноплавства $EEOI_{inland}$, але в трансформованому варіанті, з новим фізичним смислом (без приведення до CO_2).

Враховуючи попередній досвід досліджень питань енергоефективності, для рівнів маркування C та D пропонується низка організаційних та технічних рішень не тільки для нового флоту, але й для існуючого флоту, який вже знаходиться в експлуатації.

На рівні менеджменту судноплавних компаній ці рішення містяться у наступному:

- у визначенні раціональних інтервалів руху та орієнтовної швидкості судна для забезпечення приходу «точно у строк» з забезпеченням економічних режимів руху з урахуванням прогнозованої навігаційної обстановки при плануванні рейсів;
- у зниженні частки баластних переходів впродовж рейсу;
- у забезпеченні належного стану пропульсивного комплексу (регулярне доковання та технічне обслуговування двигунів);
- у можливому застосуванні експлуатаційного індексу енергоефективності в процесі експлуатації судна.

На операційному рівні (рівні судноводіння) це має забезпечуватись:

- вибором безпечної та економічної по витраті пального швидкості руху судна (каравана);
- оптимізацією форми состава;
- врахуванням поточних навігаційних умов (проходження критичних частин, поточні глибини суднового ходу, вітрові та хвильові навантаження тощо).

При будівництві нових суден у нових підходах до конструкції це забезпечується:

- оптимізацією обводів корпусу судна, застосуванням спеціальних спрямовуючих потоку обтікання в кормовій частині корпусу судна, збільшенням діаметру гвинтів, розміщенням гвинтів в насадках тощо, що дозволяє покращити показники енергоефективності на 5-10%, застосуванням високоекономічних двигунів у складі суднової енергетичної установки з глибокою утилізацією вторинних джерел тепла;
- можливим застосуванням конструктивного індексу енергоефективності при проектуванні судна $EEDI_{inland}$.

Перехід до еконавігації як по консервативному, так й по інноваційному сценаріям, має підтримуватись відповідними заходами щодо усіх складових безпечного судноплавства, а саме:

- належного утримання суднового ходу з боку національних адміністрацій водних шляхів ініціюванням і реалізацією нових гідротехнічних проектів з метою створення сталих та збалансованих умов судноплавства;
- забезпечення безпеки судноплавства та умов для безперешкодних перевезень по європейському транспортному коридору TEN-T Рейн-Дунай через усунення надлишкових адміністративних перевірок та бар'єрів;
- вдосконалення професійної підготовки судноводіїв (Директива (ЄС) 2017/2397) для внутрішніх водних шляхів Європи (компетенції по еконавігації) з акцентом на повноцінне використання річкових інформаційних служб РІС при операційнім управлінні (рівень судноводіння);
- введення в судноплавних компаніях на рівні менеджменту системи моніторингу енергоефективності та екологічної безпеки за рахунок активного використання інформації від сучасних систем РІС для прогнозування руху при рейсовому плануванні (швидкості руху, форми караванів тощо) та стеження за поточним рухом суден;
- цифровізації технологічних та адміністративних процесів управління рухом флоту;
- екологізації дунайських портів та створення інфраструктури забезпечення флоту альтернативними видами пального.

Висновки. Досліджено форми індексу енергоефективності з метою визначення можливості їх подальшої трансформації. Виконано аналіз факторів, які впливатимуть на

форму індексів енергоефективності для суден внутрішнього плавання. Визначена можливість застосування прийнятого розподілу суден внутрішнього плавання на типи «*fleet families*» згідно з їхніми експлуатаційними характеристиками для застосування окремих форм показників енергоефективності. При цьому також можливим вважається й визначення різних форм індексів енергоефективності з урахуванням рівнів маркування викидів від роботи двигунів суден внутрішнього плавання.

ЛІТЕРАТУРА

1. Suvorov P. Restrictive factors in the evaluation of the inland pushers' energy efficiency with heavy convoys. *Automation of ship technical facilities*. 2020. Т. 26, № 1. С. 94–109. URL: <https://doi.org/10.31653/1819-3293-2020-1-26-94-109> (дата звернення: 18.06.2023).
2. Kalajdžić M., Vasilev M., Momčilović N. Evaluating an Inland Waterway Cargo Vessel's Energy Efficiency Indices. *Polish Maritime Research*. 2022. Т. 29, № 2. С. 27–34. URL: <https://doi.org/10.2478/pomr-2022-0014> (дата звернення: 18.06.2023).
3. Abramowicz-Gerigk T., Burciu Z. Design and Operational Innovations in Adapting the Existing Merchant River Fleet to Cost-Effective Shipping. *Polish Maritime Research*. 2019. Т. 26, № 4. С. 157–164. URL: <https://doi.org/10.2478/pomr-2019-0078> (дата звернення: 18.06.2023).
4. European Commission: Energy efficiency first: a guiding principle of the european energy and climate governance [Website]. Available from: https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-efficiency/energy-efficiency-targets-directive-and-rules/energy-efficiency-first-principle_en [Viewed 24 May 2023]
5. Pauli, G. та Ley, J. Energy efficiency indices for carbon foot printing and as instrument for CO₂-emission reduction of inland vessels [Online]. Berlin: Federal Ministry of Transport and Digital Infrastructure. [Viewed 16 May 2023]. Available from: https://platina3.eu/download/gernot-pauli-and-jens-ley-on-energy-efficiency-indices-as-an-instrument-for-the-reduction-of-co2-emissions-of-inland-vessels/?ind=0&filename=PLATINA3_session+4_pauli_ley_energy_index.pdf&wpdmdl=391&refresh=642c2a489dd681680616008&open=1
6. Van Koningsveld, M., Pauli, G. Presenting the Work of PIANC TG234 “Infrastructure for the Decarbonisation of IWT”. In: Li, Y., Hu, Y., Rigo, P., Lefler, F.E., Zhao, G. (eds) *Proceedings of PIANC Smart Rivers 2022*. PIANC 2022. Lecture Notes in Civil Engineering, vol 264. Springer, Singapore. URL: https://doi.org/10.1007/978-981-19-6138-0_11.
7. CCNR ROADMAP for reducing inland navigation emissions. *Central Commission for the Navigation of the Rhine (CCNR)*. 2022. URL: https://www.ccr-zkr.org/files/documents/Roadmap/Roadmap_en.pdf (дата звернення: 04.04.2023).
8. Суворов П. С. Оцінка енергоефективності для умов навігаційних невизначеностей у внутрішньому судноплаванні. *Автоматизація суднових технічних засобів*. Одеса: НУ «ОМА», 2019. Вип. 25. С. 90 - 100. Режим доступу: <http://ast.onma.edu.ua/wp-content/uploads/2019/12/astf-2019-1-25-90-100.pdf> (дата звернення: 20.05.2023).
9. Implementing Energy Efficiency Design Index (EEDI) [Online]. Powai, Mumbai: Indian Register of Shipping. 13 p. [Viewed 16 May 2023]. Available from: <https://www.irclass.org/media/2368/energy-efficiency-design-index.pdf>
10. International Maritime Organization, (2018). 2018 Guidelines on the method of calculation of the attained energy efficiency design index (EEDI) for new ships. Resolution MEPC.308(73) [Online]. 38 p. [Viewed 23 May 2023]. Available from: [https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/MEPCDocuments/MEPC.308\(73\).pdf](https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/MEPCDocuments/MEPC.308(73).pdf)
11. International Maritime Organization, (2022). 2022 Guidelines on the method of calculation of the attained energy efficiency design index (EEDI) for new ships. Resolution MEPC.364(79). [Online]. 39 p. [Viewed 23 May 2023]. Available from:

[https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/MEPCDocuments/MEPC.364\(79\).pdf](https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/MEPCDocuments/MEPC.364(79).pdf)

12. Platform for the implementation of a future inland navigation action programme PLATINA 3 [Website]. PLATINA 3. [Viewed 24 May 2023]. Available from: <https://platina3.eu/download/5th-stage-all-presentations-and-agenda/>

13. Innovative Danube Vessel. Main Project results. [Online]. 63 p. [Viewed 24 May 2023]. Available from: <https://dokumen.tips/documents/innovative-danube-vessel-main-project-results.html?page=1>

REFERENCES

1. Suvorov, P. S., Tarasenko, T. V. and Zalozh, V. I., (2020). Restrictive factors in the evaluation of the inland pushers' energy efficiency with heavy convoys. *Automation of ship technical facilities* [Online]. 26(1), p. 94–109. [Viewed 24 May 2023]. Available from: <https://doi.org/10.31653/1819-3293-2020-1-26-94-109>

2. Kalajdžić, M., Vasilev, M. & Momčilović, N. (2022). Evaluating an Inland Waterway Cargo Vessel's Energy Efficiency Indices. *Polish Maritime Research*, 29(2), p. 27–34. <https://doi.org/10.2478/pomr-2022-0014>

3. Abramowicz-Gerigk, T. & Burciu, Z. (2019). Design and Operational Innovations in Adapting the Existing Merchant River Fleet to Cost-Effective Shipping. *Polish Maritime Research*, 26(4), p. 157–164. <https://doi.org/10.2478/pomr-2019-0078>

4. European Commission: Energy efficiency first: a guiding principle of the European energy and climate governance [Website]. Available from: https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-efficiency/energy-efficiency-targets-directive-and-rules/energy-efficiency-first-principle_en [Viewed 24 May 2023]

5. Pauli, G. and Ley, J. Energy efficiency indices for carbon foot printing and as instrument for CO₂-emission reduction of inland vessels [Online]. Berlin: Federal Ministry of Transport and Digital Infrastructure. [Viewed 16 May 2023]. Available from: https://platina3.eu/download/gernot-pauli-and-jens-ley-on-energy-efficiency-indices-as-an-instrument-for-the-reduction-of-co2-emissions-of-inland-vessels/?ind=0&filename=PLATINA3_session+4_pauli_ley_energy_index.pdf&wpdmdl=391&refresh=642c2a489dd681680616008&open=1

6. Van Koningsveld, M., Pauli, G. (2023). Presenting the Work of PIANC TG234 “Infrastructure for the Decarbonisation of IWT”. In: Li, Y., Hu, Y., Rigo, P., Lefler, F.E., Zhao, G. (eds) *Proceedings of PIANC Smart Rivers 2022. PIANC 2022. Lecture Notes in Civil Engineering*, vol 264. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-19-6138-0_11

7. CCNR Roadmap for reducing inland navigation emissions [online], (2022). France: Central Commission for the Navigation of the Rhine (CCNR), Strasbourg Cedex. [Viewed 4 April 2023]. Available from: https://www.ccr-zkr.org/files/documents/Roadmap/Roadmap_en.pdf

8. Suvorov, P. S., Tarasenko, T. V. and Zalozh, V. I., (2019) Otsinka enerhoefektyvnosti dlya umov navihatsiynykh nevyznachenostey u vnutrishn'omu sudnoplavstvi. *Avtomatyzatsiya sudnovykh tekhnichnykh zasobiv*. 25, p. 90 - 100. [Viewed 20 May 2023]. Available from: <http://ast.onma.edu.ua/wp-content/uploads/2019/12/astf-2019-1-25-90-100.pdf>.

9. Implementing Energy Efficiency Design Index (EEDI) [Online]. Powai, Mumbai: Indian Register of Shipping. 13 p. [Viewed 16 May 2023]. Available from: <https://www.irclass.org/media/2368/energy-efficiency-design-index.pdf>

10. International Maritime Organization, (2018). 2018 Guidelines on the method of calculation of the attained energy efficiency design index (EEDI) for new ships. Resolution MEPC.308(73) [Online]. 38 p. [Viewed 23 May 2023]. Available from: [https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/MEPCDocuments/MEPC.308\(73\).pdf](https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/MEPCDocuments/MEPC.308(73).pdf)

11. International Maritime Organization, (2022). 2022 Guidelines on the method of calculation of the attained energy efficiency design index (EEDI) for new ships. Resolution MEPC.364(79). [Online]. 39 p. [Viewed 23 May 2023]. Available from:

[https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/MEPCDocuments/MEPC.364\(79\).pdf](https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/MEPCDocuments/MEPC.364(79).pdf)

12. Platform for the implementation of a future inland navigation action programme PLATINA 3 [Website]. PLATINA 3. [Viewed 24 May 2023]. Available from: <https://platina3.eu/download/5th-stage-all-presentations-and-agenda/>

13. Innovative Danube Vessel. Main Project results. [Online]. 63 p. [Viewed 24 May 2023]. Available from: <https://dokumen.tips/documents/innovative-danube-vessel-main-project-results.html?page=1>

P. Suvorov, T. Tarasenko, V. Zalozh

ANALYSIS OF ENERGY EFFICIENCY ASSESSMENT TRANSFORMATION IN THE CONDITIONS OF ENERGY TRANSITION IN INLAND WATER TRANSPORT

A study has been conducted on the forms of energy efficiency indices with the aim of determining their further transformation for inland waterway vessels in the context of implementing the "energy transition" concept and achieving the goals of the "ecological navigation" system. An analysis of factors influencing the formation of energy efficiency indices has been carried out, taking into account the specific characteristics of inland waterway vessels. One of the important conclusions is the possibility of utilizing the distribution of inland waterway vessels into different types based on their operational characteristics. This enables the application of specific forms of energy efficiency indicators for each type of vessel.

This approach allows for the identification of optimal forms of energy efficiency indices that consider the specific needs and characteristics of different types of inland waterway vessels, depending on the conditions of their technical operation and navigation requirements.

The possibility of determining different forms of energy efficiency indices, taking into account emission labeling levels associated with the operation of the vessel's engines, is also being considered. This means that the indices can incorporate environmental parameters and the vessel's overall system efficiency, thereby promoting emission reduction and increased productivity. Furthermore, the consideration of emission labeling levels stimulates greater attention to environmental aspects in the design and production processes of vessels, contributing to the sustainable development of inland waterway transportation.

In further research, other aspects of defining forms of energy efficiency indices could be investigated and examined, such as fuel efficiency, the use of alternative energy sources, and the impact of technological innovations on energy efficiency indicators for inland waterway vessels. This would allow for even more precise identification of optimal solutions to enhance efficiency and environmental sustainability of these vessels.

The results of this study can be valuable for scientists and experts in the field of inland waterway transportation in developing effective strategies and policies to reduce greenhouse gas emissions and improve energy efficiency of vessels.

Keywords: diesel engine, harmful emissions, energy efficiency, inland navigation, fuel efficiency, econavigation.

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

МОДЕЛЮВАННЯ РУХУ РЯТУВАЛЬНОЇ ШЛЮПКИ ВІЛЬНОГО ПАДІННЯ ПРИ СХОДЖЕННІ З ПОХИЛОЇ РАМПИ

Розглянуто задачу про рух рятувальної шлюпки вільного падіння (РШВП) при скиданні з судна протягом фази обертання з урахуванням впливу розташування її центру мас (ЦМ) як вище, так і нижче опорних поверхонь. Для складання диференціальних рівнянь руху РШВП впродовж фази обертання застосовано рівняння Лагранжа другого роду в полярній системі координат (диференціальні рівняння плоско-паралельного руху шлюпки в узагальнених координатах, де r – відстань від краю опори до проекції центру мас на опорну поверхню і φ – кут нахилу опорної поверхні шлюпки до горизонту).

Для випадків розташування ЦМ вище і нижче опорних поверхонь напрямних брусів ЗШВП отримано розв'язувальні системи двох звичайних нелінійних диференціальних рівнянь другого порядку і сформульовано відповідні задачі Коші, які розв'язується чисельно за допомогою методу Рунге-Кутта четвертого порядку точності.

Апробація запропонованого підходу здійснена для випадку моделювання РШВП однорідним стрижнем у формі прямокутного паралелепіпеда. Отримано відповідні розв'язувальні системи чотирьох звичайних нелінійних диференціальних рівнянь першого порядку в формі Коші в узагальнених координатах r і φ . Сформульовано задачі Коші, що розв'язувались чисельно методом Рунге-Кутта четвертого порядку точності при значенні кута нахилу рампи $\alpha = 35^\circ$ для стрижнів товщиною 1,0 м і довжиною 5 і 15 м при початкових швидкостях відповідно 6 і 10 м/с.

Результати розрахунків параметрів руху свідчать, що при розташуванні ЦМ над опорними поверхнями напрямних брусів значення усіх параметрів руху РШВП в кінці фази обертання зростають, а при його розташуванні під опорними поверхнями навпаки зменшуються. При цьому вплив зміщення зростає зі зменшенням довжини шлюпки (моменту інерції відносно центру мас).

За результатами роботи зроблено висновок про доцільність використання запропонованого підходу і проведення чисельних експериментів для раціонального вибору параметрів руху РШВП з урахуванням вертикального зміщення їх ЦМ відносно опорних поверхонь.

Ключові слова: рятувальна шлюпка вільного падіння, похила рампа, вертикальне зміщення центру мас, плоско-паралельний рух, стрижень, прямокутний паралелограм, рівняння Лагранжа другого роду, звичайні диференціальні рівняння, задача Коші, чисельне моделювання, метод Рунге-Кутта.

Мета дослідження полягає у з'ясуванні впливу вертикального зміщення центру мас відносно опорної поверхні напрямних брусів на параметри руху РШВП при сходженні з похилої рампи.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Рух рятувальної шлюпки вільного падіння до контакту з водою при скиданні з судна 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 рампі 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, рух протягом якої 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 ($\mu = 0,02 \dots 0,05$), силами тертя нехтували.

В роботі [9] запропоновано модель та складено диференціальні рівняння руху рятувальної шлюпки вільного падіння для випадку розташування центру мас над опірними поверхнями її напрямних брусів. На основі чисельних розв'язків цих рівнянь при використанні в якості моделі шлюпки бруса у формі прямокутного паралелепіпеда зроблені оцінки впливу величини зміщення центру мас над опірною поверхнею та довжини шлюпки на параметри її руху в момент відриву від рампи (в кінці фази обертання).

Основні матеріали дослідження. Розглянуто розрахункові схеми руху рятувальних шлюпок вільного падіння впродовж фази обертання для випадків розташування центру мас над (рис. 1, а) та під (рис. 1, б) опірними поверхнями напрямних брусів шлюпки.

Для складання диференціальних рівнянь руху РШВП в другому випадку так само як і в першому [9] застосовано рівняння Лагранжа другого роду [10].

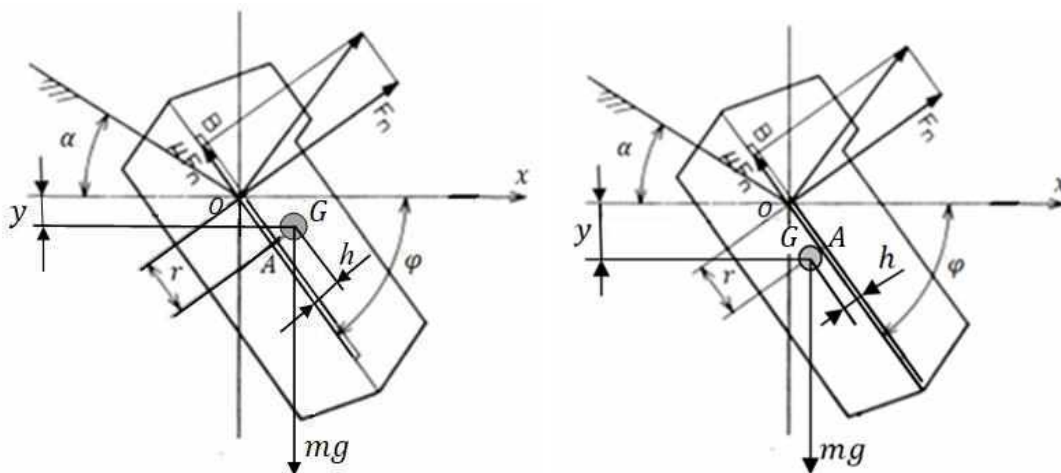


Рисунок 1 – Сходження РШВП з похилої рампи (фаза обертання): а) ЦМ над опірною поверхнею; б) ЦМ під опірною поверхнею

За узагальнені координати прийнято радіус $r = OA$ – відстань від проекції центру мас стрижня на його опірну поверхню до краю опори і полярний кут φ між горизонтальною віссю x і напрямком OA – опірною поверхнею напрямного бруса.

Отримано системи диференціальних рівнянь руху РШВП протягом фази обертання для випадку розташування центру мас над опірною поверхнею (1) та під нею (2):

$$\begin{aligned}\ddot{r} &= g \sin \varphi + r \dot{\varphi}^2 - h \frac{m(g r \cos \varphi - 2 r \dot{\varphi} \dot{r} - h r \dot{\varphi}^2)}{I_{zG} + m r^2}, \\ \ddot{\varphi} &= \frac{m(g r \cos \varphi - 2 r \dot{\varphi} \dot{r} - h r \dot{\varphi}^2)}{I_{zG} + m r^2}.\end{aligned}\quad (1)$$

$$\begin{aligned}\ddot{r} &= g \sin \varphi + r \dot{\varphi}^2 + h \frac{m(g r \cos \varphi - 2 r \dot{\varphi} \dot{r} + h r \dot{\varphi}^2)}{I_{zG} + m r^2}, \\ \ddot{\varphi} &= \frac{m(g r \cos \varphi - 2 r \dot{\varphi} \dot{r} + h r \dot{\varphi}^2)}{I_{zG} + m r^2},\end{aligned}\quad (2)$$

де r і φ – узагальнені координати, m – маса шлюпки, g – прискорення вільного падіння, h – відстань від центру мас шлюпки до опорної поверхні, $\dot{r}$ і $\ddot{r}$ та $\dot{\varphi}$ і $\ddot{\varphi}$ – перша та друга похідні за часом узагальнених координат, I_{zG} – момент інерції шлюпки відносно центру мас.

Отримані системи диференціальних рівнянь руху шлюпки після приведення до нормальної форми Коші в першому випадку отримують вигляд (3), а в другому випадку (4):

$$\begin{aligned}\frac{dy_1}{dt} &= y_2, \\ \frac{dy_2}{dt} &= g \sin(y_3) + y_1 y_4^2 - h \left(\frac{m(g y_1 \cos(y_3) - 2 y_1 y_2 y_4 - h y_1 y_4^2)}{I_{zG} + m y_1^2} \right); \\ \frac{dy_3}{dt} &= y_4, \\ \frac{dy_4}{dt} &= \frac{m(g y_1 \cos(y_3) - 2 y_1 y_2 y_4 - h y_1 y_4^2)}{I_{zG} + m y_1^2}\end{aligned}\quad (3)$$

$$\begin{aligned}\frac{dy_1}{dt} &= y_2, \\ \frac{dy_2}{dt} &= g \sin(y_3) + y_1 y_4^2 + h \left(\frac{m(g y_1 \cos(y_3) - 2 y_1 y_2 y_4 + h y_1 y_4^2)}{I_{zG} + m y_1^2} \right); \\ \frac{dy_3}{dt} &= y_4, \\ \frac{dy_4}{dt} &= \frac{m(g y_1 \cos(y_3) - 2 y_1 y_2 y_4 + h y_1 y_4^2)}{I_{zG} + m y_1^2}\end{aligned}\quad (4)$$

Тут $y_1 = r$, $y_2 = \dot{r}$, $y_3 = \varphi$, $y_4 = \dot{\varphi}$.

Початкові умови мають вигляд $y_1(0) = 0$, $y_2(0) = V_0$, $y_3(0) = \alpha$, $y_4(0) = 0$.

Для апробації запропонованої математичної моделі та методики розрахунку параметрів руху рятувальної шлюпки вільного падіння з урахуванням зміщення центру мас по відношенню до опорної поверхні та отримання відповідних чисельних оцінок в даній роботі визначаються параметри руху РШВП, яка моделюється однорідним стрижнем у формі прямої прямокутної призми довжиною L і товщиною k (рис. 2), в кінці фази обертання при його сходженні з нахиленої під кутом $\alpha = 35^\circ$ до горизонту рампи. Момент інерції стрижня I_{zG} (прямої прямокутної призми) відносно центру мас розраховували за відомою формулою: $I_{zG} = I_{zc}^{np} = \frac{m}{12}(L^2 + k^2)$.

Зміщення центру мас стрижня дорівнює половині його товщини $h = \frac{k}{2}$. Шлях скочування впродовж фази обертання в першому випадку дорівнює $\frac{L}{2} + h \cdot \operatorname{tg} \varphi$, в другому випадку - $\frac{L}{2} - h \cdot \operatorname{tg} \varphi$.

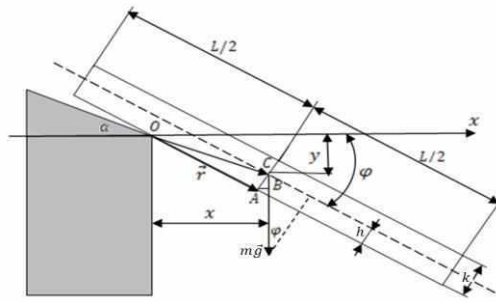


Рисунок 2 – Сходження шлюпки, що моделюється однорідним стрижнем, з похилої рамп

Задача Коші (3, 4) у векторній формі має вигляд:

$$\frac{d\vec{Y}}{dt} = \vec{F}(t, \vec{Y}), \quad \vec{Y}(0) = \vec{Y}_0, \quad (5)$$

де $\vec{Y} = \{y_1, y_2, y_3, y_4\}^T$. Будемо розв'язувати задачу (5) за допомогою чисельного методу Рунге-Кутта четвертого порядку точності за схемою [11]:

$$\vec{Y}_{n+1} = \vec{Y}_n + \vec{\lambda}_n, \quad (n=0, 1, 2, \dots), \quad \vec{K}_4 = h\vec{F}\left(t_n + \frac{h}{2}, \vec{Y}_n + \vec{K}_3\right)$$

$$\text{де } \vec{\lambda}_n = \frac{1}{6}(\vec{K}_1 + 2\vec{K}_2 + 2\vec{K}_3 + \vec{K}_4), \quad \vec{K}_1 = h\vec{F}(t_n, \vec{Y}_n), \quad \vec{K}_2 = h\vec{F}\left(t_n + \frac{h}{2}, \vec{Y}_n + \frac{\vec{K}_1}{2}\right),$$

$$\vec{K}_3 = h\vec{F}\left(t_n + \frac{h}{2}, \vec{Y}_n + \frac{\vec{K}_2}{2}\right), \quad \vec{K}_4 = h\vec{F}\left(t_n + \frac{h}{2}, \vec{Y}_n + \vec{K}_3\right), \quad t_n = nh \quad (n=0, 1, 2, \dots), \quad h > 0 - \text{крок в часі } \Delta t_n = t_{n+1} - t_n = h.$$

На основі запропонованого підходу проведено серію чисельних експериментів для визначення часу скокування t , радіальної складової $\dot{r}$ швидкості точки A (проекції центру мас на опорну поверхню стрижня), кутів нахилу до горизонту φ та φ° , кутів тангажу ($\varphi - 35^\circ$) та кутової швидкості $\dot{\varphi}$ стрижнів товщиною 1,0 м, довжиною 5 і 15 м в момент відриву від рамп при значеннях початкової швидкості центру мас 6 і 10 м/с відповідно та значенні кута нахилу рамп $\alpha = 35^\circ$. За значення початкової швидкості прийнято швидкість, яка досягається стрижнем при проходженні його центру мас над краєм рамп за умови, що на початку руху відстань від центру мас стрижня до краю рамп складає $0,65 L$, а коефіцієнт тертя між стрижнем і рампою дорівнює 0,1.

На основі отриманих результатів проведені розрахунки швидкості центру мас стрижня V_C , кута β між вектором швидкості $\vec{V}_C$ і віссю стрижня, горизонтальної V_{Cx} та вертикальної V_{Cy} складових цієї швидкості за наступними формулами (6):

$$\begin{aligned} V_C &= \sqrt{(\dot{r} + 0,5h\dot{\varphi})^2 + (r\dot{\varphi})^2}; \\ \beta &= \arcsin\left(\frac{r \cdot \dot{\varphi}}{V_C}\right); \\ V_{Cx} &= V_C \cdot \cos(\varphi + \beta); \\ V_{Cy} &= V_C \cdot \sin(\varphi + \beta). \end{aligned} \quad (6)$$

Результати проведених розрахунків у випадку розташування центру мас стрижня під опорною поверхнею ($h = -0,5$ м), в площині опорної поверхні ($h = 0$), та над нею ($h = 0,5$ м), представлені в табл. 1 та на рисунку 3.

Таблиця 1. Результати розрахунків параметрів руху при скочуванні з похилої рампи стрижнів у формі прямокутного паралелепіпеда довжиною 5 і 15 м при початкових швидкостях відповідно 6 і 10 м/с.

$L = 5 \text{ м}, V_0 = 6 \text{ м/с}$			
$h, \text{м}$	-0,5	0	0,5
$t, \text{с}$	0,308	0,356	0,404
φ°	38,25	39,38	40,42
$(\varphi - 35)^\circ$	3,25	4,38	5,42
$\dot{\varphi}, \text{с}^{-1}$	0,368	0,396	0,408
$r, \text{м}$	2,151	2,5	2,851
$\dot{r}, \text{м/с}$	7,985	8,112	8,228
$V_C, \text{м/с}$	7,841	8,172	8,512
β°	5,80	6,97	7,87
$V_{Cx}, \text{м/с}$	5,470	5,644	5,667
$V_{Cy}, \text{м/с}$	5,618	5,910	6,352

Закінчення таблиці 1

$L = 15 \text{ м}, V_0 = 10 \text{ м/с}$			
$h, \text{м}$	-0,5	0	0,5
$t, \text{с}$	0,606	0,634	0,662
φ°	39,23	39,62	40,00
$(\varphi - 35)^\circ$	4,23	4,62	5,00
$\dot{\varphi}, \text{с}^{-1}$	0,230	0,234	0,237
$r, \text{м}$	7,151	7,500	7,851
$\dot{r}, \text{м/с}$	13,70	13,77	13,84
$V_C, \text{м/с}$	13,684	13,882	14,083
β°	6,907	7,277	7,609
$V_{Cx}, \text{м/с}$	9,354	9,49	9,499
$V_{Cy}, \text{м/с}$	9,888	10,131	10,396

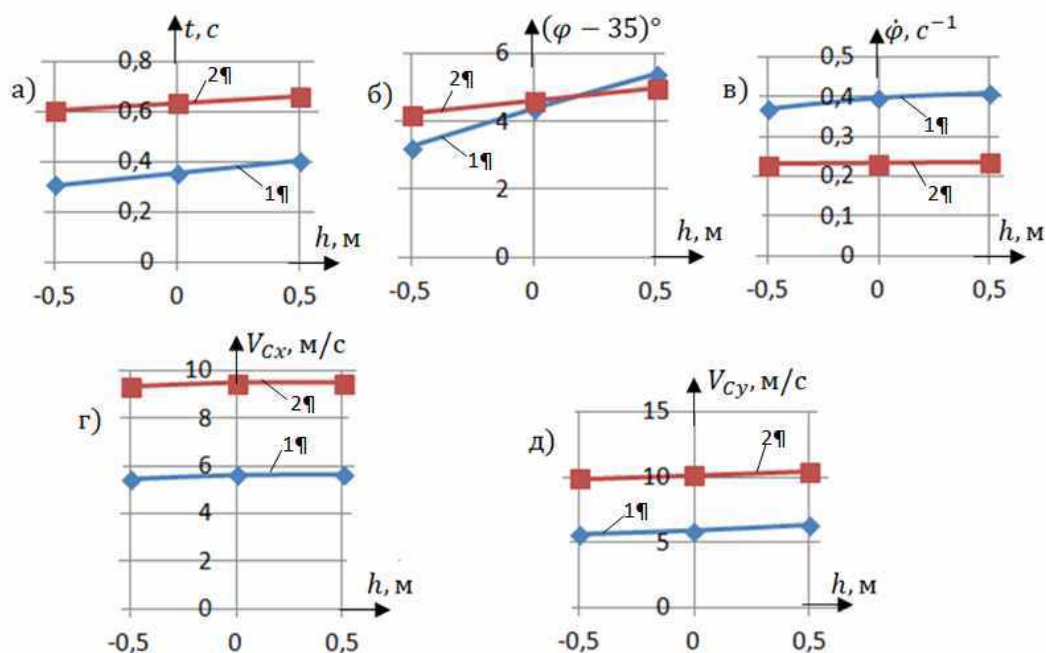


Рисунок 3 – Графіки залежності параметрів руху стрижнів довжиною 5м (1) і 15м (2)

від відстані h центру мас до опорних поверхонь: а) – часу фази обертання, б) – кута тангажу, в) – кутової швидкості, г) – горизонтальної швидкості ЦМ, д) – вертикальної швидкості ЦМ

Як видно з представлених в табл. 1 даних при зростанні h від $-0,5$ м до $0,5$ м час фази обертання коротшого і довшого стрижнів збільшується від $0,308$ до $0,404$ с (на $0,6\%$) та від $0,606$ до $0,662$ с (на $0,34\%$) відповідно. Горизонтальні швидкості ЦМ коротшого і довшого стрижнів при цьому зростають від $7,841$ до $8,512$ м/с (на $8,6\%$) та від $13,684$ до $14,083$ м/с (на $2,9\%$) відповідно, а їх вертикальні швидкості в першому випадку зростають від $5,618$ до $6,352$ м/с (на $13,1\%$) та в другому – від $9,888$ до $10,396$ м/с (на $5,1\%$). Кут тангажу так само зростає для коротшого і довшого стрижня від $3,25$ до $5,42^\circ$ (на $66,8\%$) і від $4,23$ до $5,0^\circ$ (на $18,2\%$) відповідно. При цьому кутові швидкості для коротшого стрижня зростають від $0,368$ до $0,408$ с^{-1} (на $10,9\%$), а для довшого від $0,230$ до $0,237$ с^{-1} (на $3,0\%$)

Аналіз представлених в табл. 1 та на рис. 3 даних свідчить, що мінімальні значення усіх параметрів руху стрижня в момент його відриву від похилої опорної поверхні в кінці фази обертання відповідають розташуванню центру мас під опорною поверхнею ($h = -0,5$ м). При підйомі центру мас до рівня опорних поверхонь ($h = 0$) та його розташуванні над нею ($h = 0,5$ м) значення усіх параметрів руху послідовно зростають. При цьому час фази обертання, та швидкості центру мас для стрижня довжиною 15 м значно перевищують відповідні значення для стрижня довжиною 5 м. В той же час значення кутових швидкостей обертання навпаки виявляються значно більшими у коротшого стрижня, а кути тангажу коротшого стрижня при $h = -0,5$ м і $h = 0$ менші, а при $h = 0,5$ м більші від кутів тангажу довшого стрижня. Останнє, очевидно, пояснюється меншим часом фази обертання коротшого стрижня та більш значним зростанням його кутової швидкості при збільшенні h .

Висновки. Запропонована розрахункова схема дозволяє за допомогою чисельних експериментів проводити розрахунок раціональних параметрів руху РШВП при скиданні з судна з урахуванням розташування їх центру мас як над, так і під опорною поверхнею напрямних брусів.

Отримані результати розрахунків свідчать, що вплив зміщення центру мас на параметри руху РШВП зростає зі зменшенням довжини шлюпки (моменту інерції відносно центру мас). При цьому при розташуванні центру мас над опорною поверхнею напрямних брусів збільшення величини зміщення призводить до зростання усіх параметрів руху РШВП в кінці фази обертання, і навпаки, при розташуванні центру мас під опорною поверхнею збільшення величини зміщення призводить до зменшення значень усіх параметрів руху.

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. 1147-158, 1990.
3. В.Е.Микитюк, Д.А.Миронов. Параметри движения шлюпки свободного падения перед приводнением / Матеріали I 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 рампой. 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 рампі. 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.
10. Теоретична механіка: підручник для студентів ВНТЗ/ кол. авторів за заг. ред. І.В.Кузьо. – Харків: Фоліо, 2017. 780 с.
11. Березин И.С., Жидков Н.П. Методы вычислений. – М.: Физматгиз, 1962. – Т.2. - 639 с.

REFERENCES

1. Bugayenko, B. A. (1995) "Printsipy 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 pryvodnennyem" [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 rampy. [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 ryatuvalnoyi shlyupky vilnogo padinnia 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].

10. *Teoretychna mekhanika. Pidruchnyk* [Theoretical mechanics: textbook] (2017) / Count. authors per zag. Ed. I.V.Kuzio. – Kharkiv: Folio, 780 s.

11. Berezin I.S., Zhidkov N.P. *Metody vychisleniy* (Calculation Methods). – M.: Fizmatgiz, 1962. – T.2. - 639 s.

Goralik J.T., Kryukov N.N., Lupina T.O.

SIMULATION OF THE MOTION OF A FREE-FALL LIFEBOAT WHEN DESCENDING FROM AN INCLINED RAMP

The problem of the movement of the free-fall lifeboat (FFLB) when dropping from the vessel during the rotation phase is considered, taking into account the influence of the location of its center of mass (CM) both above and below the supporting surfaces. To compile differential equations of motion of the FFLB during the rotation phase, the second kind of Lagrange equation in the polar coordinate system is applied (differential equations of plane-parallel motion of the boat in generalized coordinates, where r is the distance from the edge of the support to the projection of the center of mass on the supporting surface and φ is the angle of inclination of the supporting surface of the boat to the horizon).

For cases where CM is located above and below the supporting surfaces of the guide bars of the FFLB, the solving systems of two ordinary nonlinear differential equations of the second order are obtained and the corresponding Cauchy problems are formulated, which are solved numerically using the fourth-order Runge-Kutta method.

Testing of the developed approach was carried out for the case of modeling the FFLB with a homogeneous rod in the form of a rectangular parallelepiped. The corresponding solution systems of four ordinary nonlinear differential equations of the first order in Cauchy form in generalized coordinates r i φ are obtained, for which Cauchy problems are formulated, which were solved numerically by the fourth-order Runge-Kutta method of accuracy at the value of the ramp inclination angle $\alpha=35^\circ$ for rods of 1.0 m thickness and length of 5 and 15 m at initial velocities of 6 and 10 m/s, respectively.

The results of calculations of motion parameters indicate that when the CM is located above the supporting surfaces of the guide bars, the values of all motion parameters of the FFLB at the end of the rotation phase increase, and when it is located under the supporting surfaces, on the contrary, decrease. In this case, the effect of displacement increases with decreasing length of the boat (moment of inertia relative to the center of mass).

According to the results of the work, it is concluded that it is possible to use the proposed approach and conduct numerical experiments for the rational choice of the FFLB motion parameters, taking into account the vertical displacement of their CM relative to the supporting surfaces.

Keywords: *freefall lifeboat, inclined ramp, vertical displacement of the center of mass, plane-parallel motion, rod, rectangular parallelogram, Lagrange equation of the second kind, ordinary differential equations, Cauchy problem, numerical modeling, Runge-Kutta method.*

Трофименко А.О., Майданевич С.Б., Войченко Т.О., Дорофєєва З.Я.

ДЕЯКІ ПРОБЛЕМНІ ПИТАННЯ ВПРОВАДЖЕННЯ СТАНДАРТІВ КІБЕРБЕЗПЕКИ НА МОРСЬКОМУ ТРАНСПОРТІ

Метою роботи є дослідження можливих шляхів впровадження та поширення стандартів кібербезпеки на морському транспорті для реалізації вимог Міжнародної морської організації. Поставлена мета досягається шляхом аналізу змісту резолюції MSC.428(98) – Управління морськими кіберризиками в системах управління безпекою з метою поширення заходів кібербезпеки на морському транспорті. Визначена роль Міністерства інфраструктури України у нормативно-правовому регулюванні у сфері морської інформаційної безпеки. Доведена недостатня ефективність міністерства у формуванні конкретних кроків щодо інформаційної безпеки та захисту інформації, що торкаються особливостей організації цієї діяльності у сфері морських транспортних та вантажних перевезень, роботи портів та на окремих судах. Проаналізовано зміст Закону України "Про основні засади забезпечення кібербезпеки України". Встановлено, що вимоги даного Закону потребують адаптації для компетентного використання на конкретному судні або портовому засобі. Окреслено коло основних загроз для судових інформаційних ресурсів: несанкціонований доступ до каналів супутникового обміну інформацією між судном та його офісом керування; викривлення навігаційних GPS-даних, які отримуються судном; несанкціонований доступ до супутникового каналу оперативного керування судном. Відмічені заходи щодо запобігання кіберризикам проникнення зловмисників через інтерфейс судно/порт до навігаційно-інформаційної системи, системи оперативного морського зв'язку й системи планового технічного обслуговування обладнання Розкриті цілі, мотиви, можливі наслідки і ризики від впровадження промислових систем штучного інтелекту у роботу суден, портів, суднохідних компаній, визначена необхідність проведення ретельного аудиту морської компанії, що охоплюватиме окремі області функціонування системи штучного інтелекту. Найбільш суттєвими результатами є проведений ретельний аналіз організаційних ризиків і неупереджена оцінка вузьких місць у системі кіберзахисту судноплавної компанії та пропозиції щодо покращення стану роботи у захисті інтересів компанії від хакерських загроз. Значимість отриманих результатів полягає у дослідженні та виявленні можливих шляхів впровадження та поширення стандартів кібербезпеки на морському транспорті для реалізації вимог Міжнародної морської організації. Таким чином, проведені дослідження засвідчили необхідність активізації зусиль всіх зацікавлених сторін у прискоренні застосування всього запропонованого комплексу стандартів кібербезпеки на морському транспорті.

Ключові слова: стандарти кібербезпеки, морський транспорт, кіберзахист, судно, загроза, інформаційна безпека

Постановка проблеми. У будь-якій розвиненій країні світу транспорт відноситься до найважливіших сфер економіки. Стрімкий розвиток інформаційних технологій в останні десятиріччя вивів зв'язок, або як тепер кажуть, інформаційно-комунікаційну складову, на транспорті на перші ряди.

Зростання ролі інфо-комунікаційної складової пояснюється тим, що дане середовище галузі морського та річкового транспорту виконує важливі функції взаємодії з іншими секторами економіки, а саме скорочення затримок при транспортуванні вантажів, обробці морських та річкових суден, контейнерів, залізничних вагонів і вантажів на основі

використання електронних накладних, систем клієнт-банк, e-business, систем GSM-R, VSAT, взаємодії із клієнтурою й партнерами тощо.

Однак широке розповсюдження сучасних інформаційних технологій (ІТ), особливо в мобільному, розподіленому і бездротовому сегменті, значно підвищує ризик виникнення специфічних загроз для інформаційної безпеки. Про це наочно свідчить лавиноподібне зростання кількості виявлених уразливостей в інформаційних системах морської галузі та, відповідно, збільшення інцидентів, пов'язаних із захистом інформації на судах, у портах, компаніях, організаціях та ін.

Для протидії кібер-злочинцям окреслимо проблеми, що стосуються захисту інформаційно-комунікаційного середовища морської галузі України.

1. Не розроблені єдині підходи щодо створення захищеного інфо-комунікаційного середовища морської галузі, адаптованого до функціонування у жорстких умов експлуатації.

2. Недостатньо повно розроблені способи і методи до забезпечення схоронності інформації і резервування критичних даних галузі.

3. Не створена методологія оцінки якості функціонування системи захисту інформації (СЗІ) за причини не достатньо повного дослідження дій кібер-злочинців.

4. Неповно врахований вплив засобів і методів захисту інформації на характеристики інформаційних систем морського та річкового транспорту.

5. Не виконана формалізація задач щодо визначення складу і методів захисту інформації, що протистоятимуть сучасним викликам.

6. Недостатнє врахування в існуючих системах захисту інформації появи нових інформаційних загроз. Відповідно, запізнюється проведення необхідних досліджень, розробка раціональних способів протидії і нейтралізації наслідків,

Отже, забезпечення високих стандартів інформаційної безпеки на морському транспорті в умовах реалізації "Керівництва з кібербезпеки на борту суден" є актуальним дослідженням, спрямованим на вирішення проблем захисту інформації на об'єктах критичної інфраструктури держави.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Тема морської кібербезпеки не сходить з рубрик іноземних тематичних інформаційних ресурсів [1-3]. Частина з них присвячена випуску різних міжнародних і національних рекомендацій з кібербезпеки в найпотужніших морських державах світу – США, Великій Британії, Євросоюзі, Данії, Норвегії, Сінгапурі тощо. Так, у 2020 р. порти США створили некомерційний центр кібербезпеки, а у сенат США був внесений законопроект про посилення морської кібербезпеки. Міністерство внутрішньої безпеки США у 2015 р опубліковано "Посібник із впровадження системи кібербезпеки у транспортному секторі", Лондонський Інженерно-технологічного інституту за підтримки Мінтрансу Великої Британії та Міноборони Великої Британії у 2016 р. – посібник "Кібербезпека портів і портових систем" і у 2017 р. "Звід правил кібербезпеки для суден". Провідні судноплавні компаніями світу розробили, а Міжнародна морська організація у 2017 р. рекомендувала "Керівництво з кібербезпеки на борту суден". Характерною особливістю цих документів є їх масштабність, які містять загальні положення щодо організації кібербезпеки у портах, портових системах, на судах або всіх членів ІМО, або окремих потужних морських держав. Їх рекомендації є не завжди доречними для таких невеликих з точки зору морської економіки держав як Україна.

У статті [4] розглянуто систему технічного обслуговування обладнання ММС (Machinery Maintenance Connect), фактори які впливають на ключову компетентність, у т. ч ризики загрози кібератаки на застосовувані інформаційні технології (ІТ), можливість впровадження сучасних технологій для кібер-безпеки і безпечного ведення бізнесу компанії, постійний захист критично важливих об'єктів інфраструктури, ІТ, взаємозалежність конкретної системи АІ безпеки при взаємодії ергатичної системи і системи машина-машина (Machine-to-Machine, M2M). Але розглянуті питання стосуються лише однієї сфери експлуатації морського транспорту – технічного обслуговування.

У роботах [5-7] акцент зроблено на подальшому розвитку методів захисту інфо-

комунікаційних систем та забезпечення інформаційної безпеки у транспортній галузі в умовах створення державної єдиної інтегрованої інформаційної системи. У роботах не досліджено специфіку інформаційної безпеки на морських суднах як об'єктах критичної інфраструктури держави.

Мета дослідження. Дослідження можливих шляхів впровадження та поширення стандартів кібербезпеки на морському транспорті для реалізації вимог Міжнародної морської організації.

Основні результати дослідження. На теперішній час до складу Міжнародної морської організації (ІМО) входить 174 держави-члена і 3 асоційовані члени (Фарерські острови, Гонконг, Макао) [8]. Вищим органом організації є Асамблея держав-членів. У рамках ІМО функціонують секретаріат на чолі з Генеральним секретарем та 5 комітетів:

1. Комітет з безпеки на морі (Maritime Safety Committee, MSC – КБМ);
2. Комітет із захисту морського середовища (Marine Environment Protection Committee, MEPC – КЗМС);
3. Юридичний комітет (LEG – ЮРКОМ);
4. Комітет з технічного співробітництва (KTC);
5. Комітет з полегшення формальностей судноплавства (FAL).

Комітети з безпеки на морі і захисту морського середовища у своєму складі мають ще 9 підкомітетів.

Підкомітети готують для розгляду на сесіях комітетів документи, які ухвалюються, як правило, на чергових сесіях Асамблеї Організації. Але ІМО може організовувати Дипломатичні Конференції для ухвалення стратегічних рішень, що стосуються безпеки на морі, захисту довкілля та вирішення юридичних питань, пов'язаних із міжнародним судноплавством.

Так, Комітет з безпеки на морі ІМО у червні 2017 р. ухвалив резолюцію MSC.428(98) – Управління морськими кіберризиками в системах управління безпекою [9]. У зв'язку з масовим застосуванням засобів автоматизації на морському транспорті та зростаючими при цьому викликами ІМО звертає увагу на необхідність впровадження та поширення заходів кібербезпеки на морському транспорті. Після 1 січня 2021 р. Комітет закликає адміністрації забезпечити врахування кіберризиків у системах управління безпекою суден.

Рекомендації Міжнародної морської організації щодо регулювання морської кібербезпеки в іноземних державах зазвичай здійснюється шляхом її доповнення національними вимогами та рекомендаціями.

Водночас певні об'єднання та організації також не залишаються осторонь. З 2018 р. оцінка кібербезпеки є обов'язковою частиною комерційних контрактів у Міжнародному морському форумі нафтових компаній (OCIMF). А класифікаційне товариство DNV GL з 2017 р. надає послугу із затвердження типу кібербезпеки судна, а з 2018 р. – розробило позначення класу кібербезпеки, пов'язаного з рівнем охорони.

У теперішній час кожен моряк користується всесвітньою мобільним зв'язком, мережею інтернет та іншими інформаційними технологіями. Але разом з перевагами сучасного інформаційного життя все частіше приходиться стикатися з проблемами кібербезпеки. Тому у 2015 р. були та внесені певні зміни у Закон України «Про основи національної безпеки України».

Але проблема кібербезпеки на морському транспорті є дуже серйозною і викликана відсутністю спеціалістів у сфері кіберзахисту на борту судна. Тому це питання потребує ретельного дослідження та забезпечення належного рівня захисту від кібератак об'єктів морського транспорту.

Засоби масової інформації систематично описують про успішно проведені по всьому світові комп'ютерні напади на різні об'єкти морської транспортної інфраструктури: 2017 р. – зараження вірусом NotPetya 17 із 76 вантажних терміналів компанії Maersk; 2018 р. – кібератаки на порти Барселони і Сан-Дієго; 2020 р. кібератаки на термінал Шахід Раджаї (Іран), на логістичну групу компаній Toll Group (Австралія), на судноплавну контейнерну

компанію Mediterranean Shipping, на робочі станції і сервери компанії Anglo-Eastern. Збитки від кібератак у морській галузі, як вважають фахівці Лондонського Ллойда, складають астрономічну суму у 200 млрд доларів. І порівняно невеликий відсоток компаній мають план забезпечення безперервності діяльності при виникненні кібернетичного нападу на них.

Останнім часом кібератаки є частиною загального злочину, а зловмисники намагаються взяти під контроль командні, контрольні та експлуатаційні мережі та системи суден. У такому разі захоплене у результаті кібервпливу судно як морський об'єкт саме по собі становить загрозу для портового об'єкта.

Морська інформаційна безпека в Україні лише починає розвиватися. Публікації з даної теми практично відсутні, обізнаність є дуже низькою, якихось дій Україна як адміністрація прапора, на жаль, не проводила. Спеціальне нормативне правове регулювання морської інформаційної безпеки державою не здійснюється, а у доктринальних документах ці питання відсутні.

Розроблена Національним інститутом стандартів і технологій США "Рамкова структура для поліпшення кібербезпеки критично важливої інфраструктури" рекомендована циркуляром ІМО. Низка інших важливих документів також розроблені в основному у США та декількох провідних морських країнах світу. І тому морська галузь України у питаннях морської кібербезпеки керуватиметься рекомендаціями державних структур США.

На жаль, Міністерство інфраструктури України не поспіває за стрімким життям, і нормативно-правове регулювання у сфері морської інформаційної безпеки проводить неефективно, спрямовуючи основні зусилля на організацію робіт з технічного регламенту інформаційної безпеки та захисту інформації.

До спеціального законодавства з протидії кіберзагрозам відноситься Закон України "Про основні засади забезпечення кібербезпеки України" (від 05.10.2017 №45) [10]. Однак цей Закон, визначаючи правові та організаційні основи забезпечення захисту національних інтересів України у кіберпросторі, напрями та принципи державної політики у сфері кібербезпеки, основні засади координації діяльності із забезпечення кібербезпеки, є універсальним і загальним для всіх галузей економіки та не враховує специфіку транспорту загалом і окремих видів транспорту, зокрема, морського.

Він, насамперед, націлений на захист значущих об'єктів критичної інформаційної інфраструктури: комунікаційні системи всіх форм власності, в яких обробляються національні інформаційні ресурси або використовуються в інтересах органів державної влади, органів місцевого самоврядування, правоохоронних органів і військових формувань; об'єкти критичної інформаційної інфраструктури; комунікаційні системи, які використовуються для задоволення суспільних потреб або у сферах електронного урядування, електронних державних послуг, електронної комерції, електронного документообігу. Закон розглядає як об'єкти захисту саме мережі та системи, а не об'єкти, якими вони експлуатуються. Але міжнародний підхід націлений на захист саме судна або портового засобу, він відрізняється від вітчизняного підходу тим, що у нас підставою для захисту є значущість об'єктів критичної інформаційної інфраструктури, що захищаються. Незначущі об'єкти, на жаль, взагалі випадають із правового регулювання Закону. Міжнародні ж рекомендації поширюються на всі судна і портові засоби. Вимоги даного Закону не містять практичних керівництв і потребують адаптації для компетентного використання на конкретному судні або портовому засобі.

Як об'єкти кіберзахисту міжнародні документи виокремлюють ІТ-системи у взаємозв'язку і взаємодії. Вітчизняні підходи мають на меті захистити інформацію, що обробляється в АСУ, особливо в АСУ критично важливих об'єктів, потенційно небезпечних об'єктів, об'єктів, що становлять підвищену небезпеку. Будь-які галузеві особливості, що стосуються транспорту, зокрема, морського, відсутні.

Комп'ютеризація та всебічна автоматизація практично всіх сфер діяльності людей зачіпає і галузь торгівельного мореплавства, у тому числі і процес електронного документообігу, які застосовуються у міжнародній морській практиці. Торгівельне мореплавство характеризується постійним обміном інформацією між вантажовідправником, вантажоотримувачем та

адміністрацією судна з питань комерційної експлуатації судна, з одного боку; між судновласником або фрахтівником та адміністрацією судна з питань безпеки судноплавства, з другого; між адміністрацією судна та портовими, митними службами з питань контролю та оформлення вантажів та судна в порту прибуття, з третього; між моряком та його родиною, з четвертого.

Таке широко коло суб'єктів інформаційного процесу породжує багато загроз для судових інформаційних ресурсів, а саме: несанкціонований доступ до каналів супутникового обміну інформацією між судном та офісом його керування; викривлення навігаційних GPS-даних, які отримуються судном; несанкціонований доступ до каналу оперативного керування судном.

Усі учасники інформаційного процесу обмінюються у тому числі конфіденційною інформацією, втручання в яку може стати причиною порушення роботи систем судна, що у подальшому може призвести до морської аварії; руху судна по хибній траєкторії; фінансових витрат через несанкціоноване розповсюдження комерційної або особистої інформації; неповноту, невірогідність або запізнення інформації щодо стану технічних параметрів обладнання, систем та механізмів судна. Насамперед, кіберзловмисники намагаються атакувати інформаційні ресурси навігаційно-інформаційних систем та систем оперативного морського зв'язку суден. Захист інформаційних ресурсів цих систем передбачає криптографічне кодування, різноманітні паролі, електронний цифровий підпис та ін. Так, Міжнародна гідрографічна організація (International Hydrographic Organization, ІНО) для захисту офіційних векторних карт впровадила спеціальний стандарт S63 «ІНО Data Protection Scheme».

У сучасному динамічному житті обробка паперових документів в основному породжує проблеми. Тому під час перевезення вантажів морем багато судноплавних компаній відповідно до Конвенції з полегшення міжнародного морського судноплавства широко застосовують системи електронного обміну інформацією: Electronic Data Exchange – EDI, Electronic Data Interchange for Administration, Commerce and Transport – EDIFACT та ін.).

Резолюція Асамблеї ІМО про «Розвиток системи передачі повідомлень про лихо і безпеку на морі» (1979 р.) стала першим нормативним актом з організації обміну інформаційними повідомленнями на морі. Згідно з нею, для охорони людського життя на морі здійснювалося координоване використання різних елементів, включаючи радіозв'язок. Важливу роль для безпеки мореплавства і охорони людського життя на морі відіграють «Загальні принципи систем судових повідомлень» (1983 р.), які використовуються для збору інформації або обміну нею за допомогою радіоповідомлення. Ще у далекому 1990 р. Міжнародної морський комітет (ММК) схвалив Єдині правила для електронних коносаментів (Rules for Electronic Bills of Lading), які застосовуються тільки за згодою сторін, основу складає концепція «конфіденційного ключа», а не центрального реєстру. У 1996 р. був прийнятий Типовий закон ЮНСІТРАЛ про електронну торгівлю, а у 2001 р. – Типовий закон ЮНСІТРАЛ про електронні підписи. Відмічені акти стали основою не тільки міжнародних електронних проектів документообігу, а й профільного національного законодавства різних країн.

Безпека мореплавства і охорони людського життя на морі досягається застосуванням на судах сучасних комп'ютерних засобів. Правило V/19 Міжнародної конвенції з безпеки життя на морі SOLAS-74 вимагає оснащення суден тоннажністю понад 300 тонн, які здійснюють міжнародні рейси, і всіх пасажирських суден незалежно від розміру Автоматичною Ідентифікаційною Системою (AIC). Резолюція ІМО MSC.74(69), 1998 визначила основні функціональні вимоги щодо судової AIC; технічні стандарти стосовно AIC розроблено в Рекомендації ІТУ-RM.1371,1998, а Керівництво з використання судової AIC дається в Резолюції ІМО 917(22), 2001.

Але й злочинний світ не стоїть на місці. Злодії активізували розробки програмно-технічних засобів для втручання у процеси обміну інформацією з(на) борту суден та шкідливого впливу на їх експлуатацію. Рівень загроз інформаційній безпеці торговельного мореплавства з цього боку постійно зростає. Причому дані загрози мають транскордонний характер, що вимагає вироблення і реалізації дієвих комплексних механізмів міжнародно-правової, організаційної та

технічної протидії інформаційним загрозам.

Серйозною проблемою для комплексного підходу до морської кібербезпеки в Україні є створення єдиного понятійного апарату.

Прикладів, коли у нас відсутні однозначні синоніми до англійських термінів, або вітчизняні терміни є подібними, але доволі неблизькими, є достатньо. Термінологічний дисбаланс веде до плутанини в юридичних і технічних документах, що зрештою не сприяє обізнаності морської галузі про кіберзагрози та відбивається на якості виконання рекомендацій щодо ефективного кіберзахисту на суднах і портових засобах.

Вже з 1 січня 2021 р. морські адміністрації деяких країн почали перевірки суден, що заходять в їхні порти, на предмет виконання рекомендацій ІМО MSC.428(98) з кібербезпеки у системах управління безпекою суден. Однак далеко не всі судновласники й оператори українських суден знають, що і як робити. Невиконання рекомендації з кібербезпеки може стати причиною виникнення ризиків санкцій за невиконання рекомендацій ІМО щодо кібербезпеки у суден під Державним прапором України в іноземних портах, відмови українському судну в комерційному контракті з боку фрахтувальника, зниження конкурентної спроможності українського флоту через високі тарифні ставки страхування морських вантажів у порівнянні з суднами, які виконують вказані рекомендації з кібербезпеки.

Рекомендації з кібербезпеки, що вже як 2 роки виконують свої функції у портах і на морі, стосуються не лише загроз з погляду кібербезпеки. На наш погляд, дивитися потрібно глибше та ширше. Ці рекомендації звісно даватимуть чіткий кібернетичний підхід до аналізу будь яких кіберінцидентів на інтерфейсі судно/порт. Ігнорування або не у повному обсязі або не з задовільною якістю виконанні рекомендації можуть призвести до більш тяжких наслідків не тільки у конкретному українському порту або компанії. Наприклад, морські порти можуть визнаватися небезпечними з погляду кібербезпеки, що вплине на економічну привабливість портів і вартість перевезень з (в) них, та може стати приводом для санкцій щодо портів. Відповідно, суднам, які заходять у такі порти або побували в них, рекомендуватимуть підвищені заходи кібербезпеки.

У разі організації кібератак на суднові системи через інтерфейс судно/порт можливі серйозні фінансові претензії, які можуть багатократно перевищити вкладання у кіберзахист.

Морська кібербезпека не закінчується на тому, щоб вписати кілька рядків у наявну систему управління безпекою судна. Рекомендоване ІМО "Керівництво з кібербезпеки на борту суден" визначає коло суб'єктів кібератак:

- **активісти (включно з незадоволеними співробітниками);**
- **злочинці;**
- **опортуністи;**
- **держави;**
- **спонсоровані державою організації;**
- **терористи.**

Система управління безпекою судна може дати ради проти першої категорії суб'єктів кібератак. Але захиститися від усіх інших категорій система у нинішньому вигляді не здатна. Система заходів має бути більш серйозною і комплексною. За кордоном вважається за необхідне рахувати оцінки кібербезпеки і план кібербезпеки окремими документами. А план кібербезпеки для судна пропонують зробити додатком до плану охорони судна. Крім того вважається, що посадова особа, яка відповідає за охорону, має охопити питання кібербезпеки.

Вжиття заходів щодо запобігання перерахованим вище ризикам у кінцевому випадку є кращим, ніж очікування кібератак або санкцій.

Сучасні судна потерпають не лише від проникнення зловмисників через інтерфейс судно/порт до навігаційно-інформаційної системи та системи оперативного морського зв'язку. У теперішній час на порядку денному стоїть вже і кіберзахист системи планового технічного обслуговування обладнання MPMS (Machinery Planned Maintenance System). Мова йде про запропоноване міжнародним сертифікаційним і класифікаційним товариством DNV GL (Det

Norske Veritas & Germanischer Lloyd) дистанційне оцінювання, консалтинг і менеджмент ризику.

Система організації та проведення технічного обслуговування змінилася докорінно за рахунок впровадження MMC (Machinery Maintenance Connect). Тепер всі дані про стан та поведінку суднових систем і устаткування повно й оперативно у дистанційному режимі надходять до зацікавлених споживачів. Потужні алгоритми навчання разом з масивом отриманих даних з суден дозволяють віддалено проводити технічне обслуговування як окремого судна, так і всього флоту, і отримувати нові відомості про них [4].

Агрегування даних за рік експлуатації, що надходять від окремих бортів до DNV GL, дозволяє після доступу до додатку MMC, який дається тільки після отримання і перевірки інформації у MPMS, побачити загальну картину по всіх суднах. Перевірені актуальні дані стають доступними для керівництва компанії у режимі реального часу.

За допомогою системи MMC нарешті виконане завдання щодо визначення часу проведення будь-якого технічного обслуговування і термінів виконання робіт. Позитивними особливостями цього процесу є робота з даними у режимі реального часу, що дозволяє врахувати потреби окремих суден при створенні плану технічного обслуговування, а також надати рекомендації щодо проведення повного обслуговування суден у найближчих місцях від їх знаходження. Крім того, прозорість інформації дозволяє вести постійне відстеження технічного обслуговування будь-якого судна і всього флоту всіма зацікавленими сторонами, бачити відстрочки виконання завдань та планувати заходи щодо їх подолання.

Розробники вчинили традиційно, розділивши панель управління MMC на дві частини: одна стосується вичерпної інформації про увесь флот судновласника, інша – інформації конкретного судна. У MMC детально описані вже завершені завдання з ТО; плани проведення майбутніх робіт; перелік робіт, які залишаються ще не розпочатими або ще невиконаними за якихось причин; останні терміни, що залишилися до виконання робіт; виведена докладна карта AIS розташування всіх суден з актуальними погодними умовами у цих районах.

Обсяг та якість видаваної інформації на панелі MMC дозволяє судновласникам ефективно контролювати режими технічного обслуговування на своїх суднах, заздалегідь планувати часи простою і технічного обслуговування конкретного судна, пропонувати у зв'язку з цими обставинами своїм партнерам перевезення вантажу іншим судном тощо.

Використання MMC дозволяє проводити ТО судна або всього флоту за запитами, здійснювати повне технічне порівняння до і після обслуговування, проводити розширену аналітику з видачею вичерпної інформації про суднове устаткування.

Досвід позитивного застосування MMC має знайти своє місце у нових сервісах DNV GL, наприклад у нових правилах класифікації суден за класом DNV GL. Їх доробка здійснюється шляхом інтегрування у програмне забезпечення DNV GL сучасних новітніх технологій, що дозволило ввести еквівалент Equivalent Design Waves (EDW) для розрахунку навантаження на навколишнє середовище і точніше структурувати судно, здійснювати СПГ-бункерування суден, реалізувати понад 2000 коментарів по верфях, виробниках, судновласниках, державах прапора та ін.

Штучним інтелектом (Artificial Intelligence, AI) називаються «системи, які демонструють інтелектуальну поведінку, аналізуючи своє середовище і роблячи дії – з деяким ступенем автономії – для досягнення конкретних цілей» [1]. Впровадження систем AI у морську справу створює певні цифрові ризики і відкриває суттєві небезпеки при впровадженні цих технологій. DNV GL виклала, як перевіряти і забезпечувати безпеку систем AI при їх повній інтеграції в існуючі цифрові системи.

Довіра до AI має координуватися з довірою до цифрових систем взагалі та відповідати таким вимогам:

1) легітимність системи AI, яка визначається досконалістю застосовуваних алгоритмів AI й моделей управління, законністю і повнотою отриманих даних, можливістю, доцільністю і придатністю обраного алгоритму для вирішення певного завдання. Крім того, при застосуванні системних методів та інструментів AI необхідно встановити залишковий ризик системи AI,

прийнятний для всіх зацікавлених сторін, та способи управління тими ризиками;

2) чітко визначена і поставлена ціль до її виконання;

3) здатність виконувати і перевіряти поставлені делеговані завдання, дотримуючись встановлених принципів. Це досягається встановленням системи AI з певним рівнем компетентності, якості та надійності. Багато алгоритмів AI піддані хакерським атакам, що вимагає впровадження системи кібер-захисту, яка має довести свою ефективність шляхом постійної перевірки достовірності та законності рішень, вироблених AI;

4) взаємозалежність елементів систем ергатичної і M2M;

5) прозорість, доступність і її вплив на відповідні зацікавлені сторони.

Для забезпечення надійності при впровадженні промислової системи AI повинні бути повністю розкриті цілі, мотиви, можливі наслідки і ризики від такої діяльності. Для цього необхідно проведення ретельного аудиту морської компанії, що охоплюватиме окремі області функціонування системи AI, які вимагають незалежної експертизи з метою виявлення, яких збитків буде завдано компанії, якщо порушиться одна із вказаних вимог щодо інформаційних ресурсів самої компанії.

Основні цілі проведення аудиту у судноплавній компанії з AI безпеки:

- аналіз ризиків, пов'язаних з безпекою ресурсів інформаційної мережі IT (Information Technology);
- оцінка поточного рівня захищеності всіх інформаційних ресурсів;
- виявлення та локалізація потенційно небезпечних місць у системі захисту компанії;
- оцінка відповідності системи AI до існуючих стандартів безпеки;
- вироблення рекомендацій щодо підвищення рівня ефективності існуючих механізмів кіберзахисту.

Розвиток інтелектуальних IT вимагає прискорених темпів впровадження заходів кібербезпеки. Відставання у впровадженні своєчасних змін у кіберзахисті роблять буді-які організації вразливішими для кіберзлочинців. Тому, ретельний аналіз організаційних ризиків і неупереджена оцінка вузьких місць у системі кіберзахисту судноплавної компанії допоможуть захистити її від хакерських загроз.

Висновки.

1. Необхідно чітко визначити зміст та класифікацію загроз інформаційній безпеці мореплавства. Таке дослідження дозволить на законодавчому рівні розмежувати різні види загроз інформаційної безпеці мореплавства та вдосконалити механізм державної протидії цим викликам.

2. Комплексне вирішення проблем кібербезпеки на морському транспорті значною мірою залежить від наявності підготовлених, а не паперових спеціалістів у сфері кіберзахисту на борту судна.

3. Невиконання рекомендації з кібербезпеки може значно знизити конкурентоспроможність портів та суден нашої держави порівняно з суднами та портами, які виконують вказані рекомендовані заходи.

4. Можливе проведення кібератак на суднові системи через інтерфейс потребують проведення ретельного аудиту сфери кіберзахисту у судноплавній компанії та портах щодо забезпечення безпеки. Тому потрібно кропітка робота про створення адаптованих до морських реалій заходів з кібербезпеки.

ЛІТЕРАТУРА

1. Analysis of cyber security aspects in the maritime sector. *ENISA* (10.2011). P. 31.
2. AIS Exposed: Understanding Vulnerabilities & Attacks 2.0 (4. video), Dr. M. Balduzzi, Black Hat Asia. (2014).
3. Preparing for Cyber Battleships – Electronic Chart Display and Information System Security, Yevgen Dyryavyy, NCC Group. (03.03.2014).
4. Слюсаренко А. Впровадження та вплив кібер-безпеки на сучасне технічне

обслуговування обладнання суден і судноплавних компаній. *АЛОГОΣ. ОНЛАЙН*. 2020. № 10. DOI: 10.36074/2663-4139.10.09.

5. Лахно В.А. Інформаційна безпека інтелектуальних транспортних систем. *Захист інформації*. 2015. Том 17. № 4. С. 298-305.

6. Лахно В.А. Кібербезпека комп'ютерних систем транспорту. *Електротехнічні та комп'ютерні системи*. 2016. № 21 (97). С. 76-80.

7. Лахно В.А. Підвищення кібербезпеки інформаційно-комунікаційних систем транспорту. *Безпека інформації*. 2016. Том 22. № 1. С. 44-50.

8. Міжнародний кодекс з охорони суден і портових засобів. URL: <https://ips.ligazakon.net/document/MU02257> (дата звернення 18.04.2023).

9. Resolution MSC.428 (98) (adopted on 16 June 2017) Maritime Cyber Risk Management in Safety Management Systems.

10. Про основні засади забезпечення кібербезпеки України : Закон України від 05.10.2017 р. № 2163-VIII : станом на 17 серп. 2022 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2163-19#Text> (дата звернення: 02.05.2023).

REFERENCES

1. (2011). Analysis of cyber security aspects in the maritime sector. *ENISA* P. 31.
2. (2014). AIS Exposed: Understanding Vulnerabilities & Attacks 2.0 (4. video), Dr. M. Balduzzi, Black Hat Asia.
3. Yevgen, Dyravyy (2014). Preparing for Cyber Battleships – Electronic Chart Display and Information System Security. *NCC Group*.
4. Sliusarenko, A. (2020). Vprovadzhennia ta vplyv kiber-bezpeky na suchasne tekhnichne obsluhovuvannia obladnannia suden i sudnoplavnykh kompanii [Implementation and impact of cyber security on modern maintenance of equipment of ships and shipping companies]. *АЛОГОΣ. ОНЛАЙН*. № 10.
5. Lakhno, V.A. (2015). Informatsiina bezpeka intelektualnykh transportnykh system [Information security of intelligent transport systems]. *Zakhyst informatsii*, 17(4), P. 298-305.
6. Lakhno, V.A. (2016). Kiberbezpeka kompiuternykh system transportu [Cyber security of transport computer systems]. *Elektrotekhnichni ta kompiuterni systemy*, 21 (97), P. 76-80.
7. Lakhno, V.A. (2016) Pidvyshchennia kiberbezpeky informatsiino-komunikatsiinykh system transportu [Increasing the cyber security of information and communication systems of transport]. *Bezpeka informatsii*, 22(1), P. 44-50.
8. Mizhnarodnyi kodeks z okhorony suden i portovykh zasobiv [International Code for the Protection of Ships and Port Facilities]. Retrieved from <https://ips.ligazakon.net/document/MU02257>.
9. Resolution MSC.428 (98) (adopted on 16 June 2017) Maritime Cyber Risk Management in Safety Management Systems.
10. Pro osnovni zasady zabezpechennia kiberbezpeky Ukrainy [About the main principles of ensuring cyber security of Ukraine]: Zakon Ukrainy vid 05.10.2017 r. № 2163-VIII : stanom na 17 serp. 2022. Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2163-19#Text>.

Trofymenko A.O., Maidanovich S.B., Voichenko T.O., Dorofieieva Z.Ia.

SOME PROBLEMATIC ISSUES OF IMPLEMENTING CYBERSECURITY STANDARDS IN MARITIME TRANSPORT

The purpose of the study is to investigate possible ways to implement and disseminate cybersecurity standards in maritime transport to meet the requirements of the International

Maritime Organization. This goal is achieved by analysing the content of Resolution MSC.428(98) - Maritime Cyber Risk Management in Security Management Systems with a view to disseminating cybersecurity measures in maritime transport. The role of the Ministry of Infrastructure of Ukraine in regulatory and legal regulation in the field of maritime information security is determined. The insufficient effectiveness of the Ministry in formulating specific steps for information security and information protection, which relate to the specifics of organizing these activities in the field of maritime transport and cargo transportation, port operations, and on individual ships is proven. The content of the Law of Ukraine "On the Basic Principles of Ensuring Cybersecurity of Ukraine" was analysed. It is established that the requirements of this Law need to be adapted for competent use on a particular ship or port facility. The main threats to shipboard information resources: unauthorized access to satellite information exchange channels between the ship and its control office; distortion of GPS navigation data received by the ship; unauthorized access to the satellite channel for operational control of the ship are outlined. Measures to prevent cyber risks of intruders penetrating the ship/port interface into the navigation information system, maritime operational communication system, and scheduled equipment maintenance system were identified. The goals, motives, possible consequences, and risks of introducing industrial artificial intelligence systems into the operation of ships, ports, and shipping companies were revealed, and the need for a thorough audit of a shipping company covering certain areas of the artificial intelligence system was identified. The most significant results are a thorough analysis of organizational risks and an unbiased assessment of bottlenecks in the shipping company's cybersecurity system and proposals for improving the state of work in protecting the company's interests from hacker threats. The significance of the results obtained lies in the study and identification of possible ways to implement and disseminate cybersecurity standards in maritime transport to meet the requirements of the International Maritime Organization. Thus, the studies conducted have shown the need to intensify the efforts of all stakeholders to accelerate the application of the entire proposed set of cybersecurity standards in maritime transport.

Keywords: cybersecurity standards, maritime transport, cyber defense, ship, threat, information security

УДК 621.561.59

doi.org/10.33298/2226-8553.2023.1.37.21

Дакі О.А., Якусевич Ю.Г., Колесник В.В., Тришин В.В.

МЕТОДИКА ОБГРУНТУВАННЯ МОДЕЛІ ДЛЯ АНАЛІЗУ РОБОТИ ДВОСТУПІНЧАСТОЇ СУДНОВОЇ ХОЛОДИЛЬНОЇ УСТАНОВКИ В НЕСТАЦІОНАРНИХ РЕЖИМАХ

Метою роботи є розробка методики обґрунтування вибору моделі для аналізу роботи двоступінчастої суднової холодильної установки в нестационарних режимах. Поставлена мета досягається шляхом визначення рівнянь для холодопродуктивності в нестационарних режимах, а саме рівнянь енергетичного та матеріального балансів для теплообмінних апаратів. Розглянуто вираз для ентальпії всієї маси холодоагенту. Запропоновано вираз для формального представлення тепла, відведеного в апараті двоступінчастої суднової холодильної установки або підведеного до нього. Найважливішим результатом досліджень є методика обґрунтування вибору моделі для аналізу роботи двоступінчастої суднової холодильної установки в нестационарних режимах. Структурно запропонована методика складається з п'яти етапів.

На першому етапі проводиться визначення маси рідкого та пароподібного холодоагенту в конденсаторі за товщиною плівки та щільністю конденсату за формулою Нуссельта, на другому етапі проводиться визначення кількості тепла, відведеного від конденсатора, за балансом тепла охолоджувальної води. На третьому етапі за результатами визначення витрати холодоагенту на виході з конденсатора обчислюється маса пари на підставі співвідношень з розрахунку характеристик проміжної судини. На четвертому етапі проводиться перетворення розрахунків для витрат холодоагенту за рахунок визначення витрати пара, що надходить у компресор із двох випарних систем. На заключному п'ятому етапі проводиться безпосередньо визначення холодопродуктивності двох випарних систем на нестационарному режимі. Таким чином, запропонована методика дозволяє визначити можливість застосування тієї чи іншої моделі для аналізу роботи суднової холодильної установки шляхом розгляду робочих процесів суднової холодильної установки в нестационарних режимах. Визначено, що комбіноване використання статичної моделі для визначення поля стаціонарних або квазістаціонарних режимів та лінеаризованої динамічної моделі дозволяє отримати доступний для інженерних розрахунків метод розрахунку динамічних характеристик вузлів, що дає результати з досить високою точністю.

Ключові слова: математична модель, методика, суднова холодильна установка, нестационарний режим.

Постановка проблеми. Особливістю робочого процесу суднових холодильних установок флоту рибної промисловості є те, що ці установки працюють у широкому діапазоні змінних умов. Це призводить до того, що основними режимами роботи суднової холодильної установки виявляються (нестационарні) режими, що змінюються в часі, відмінні від розрахункового, передбаченого проектом суднової холодильної установки, що вимагає детального аналізу робочих процесів з урахуванням впливу зазначених факторів.

Вирішення завдання аналізу роботи холодильних установок може проводитись різними методами, серед яких можна відзначити методи фізичного та математичного моделювання. Методи моделювання передбачають використання деякого допоміжного або штучного проміжного об'єкта (моделі), що має здатність у тому чи іншому сенсі замінити основний об'єкт.

Математичні моделі холодильних установок поділяються на статичні та динамічні. Перші визначають робочий процес установки на різних стаціонарних, тобто тих, що встановилися в часі, умовах роботи холодильної установки на підставі статичних характеристик вузлів установки, методи визначення яких були розглянуті вище.

Динамічні моделі холодильних установок описують робочі процеси в умовах нестационарних, тобто таких, що не встановилися в часі, що проходять у різних вузлах. В їх основі лежать динамічні характеристики вузлів, що дають залежність зміни в часі різних параметрів робочого процесу за наявності тих чи інших збурень, що вносяться у процес. Можливість застосування тієї чи іншої моделі для аналізу роботи суднової холодильної установки можна визначити шляхом розгляду робочих процесів суднової холодильної установки в нестационарних режимах.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідженню та розвитку суднової холодильної техніки присвячено низку робіт [1 - 10].

У праці [1] розглянуто моделювання на основі Simulink для дослідження продуктивності морської холодильної системи. Для теплової моделі компресора використовується стаціонарна модель без ітераційних обчислень. Через необхідність навчання та моделювання використовується додатково метод зосереджених параметрів та метод поділу для створення математичної моделі конденсатора, випарника, розширювального клапана, регулятора тиску випарника, холодильного сховища та інших частин.

У статті [2] описується множина додаткових обмежень, з якими стикається проектувальник при проектуванні холодильних систем для військово-морського флоту.

У статті [3] вивчалася система конденсації холодильного обладнання з компресійним охолодженням для вилучення органічних сполук під час операцій із завантаження сировою нафтою. Оптимальна конфігурація процесу та ідеальні робочі умови щодо тиску стиснення та температури охолодження були визначені шляхом моделювання процесу у поєднанні з багатоцільовою оптимізацією на основі економічних та екологічних оцінок витрат та переваг. Хоча встановлення системи вимагає досить великих початкових витрат, система виявилася економічно вигідною у довгостроковій перспективі, якщо було реалізовано оптимальні параметри системи. Метод, представлений у цьому дослідженні, може бути застосований до процесів оптимізації систем із різними значеннями факторів.

Наприклад, у роботі [4] розглянуто питання розробки системи діагностування суднових холодильних установок. Визначено, що надійність та енергоефективність технічної експлуатації суднових холодильних установок багато в чому залежить від своєчасного виявлення недовілок у роботі механізмів, та прийняття своєчасних об'єктивних рішень на підставі отриманих у режимі реального часу та оброблених термодинамічних параметрів за допомогою програмовано-логічних контролерів.

Мета дослідження. Мета роботи полягає у розробці методики обґрунтування вибору моделі для аналізу роботи двоступінчастої суднової холодильної установки в нестационарних режимах.

Основні результати дослідження. До складу двоступінчастої пароконпресійної холодильної установки входять такі апарати:

- 1) двоступінчастий компресор;
- 2) проміжний посуд;
- 3) конденсатор із лінійним ресивером;
- 4) дві випарні системи.

При цьому вимірювальні системи, наприклад, представляють системи морозильного комплексу і трюмів, що охолоджуються, режим роботи однієї з яких близький до стаціонарного, а режим іншої характеризується різко вираженою нестационарністю.

Ступінь нестационарності роботи характеризується зміною в часі температур, тиску, витрат холодоагенту у всіх апаратах, а також рівнів рідкого холодоагенту у ресивері h_r , у проміжній посудині h_{ps} і у першій випарній системі h_i (передбачається, що рівень холодоагенту у другій випарній системі такий самий).

Для визначення холодопродуктивності на нестационарних режимах розглянемо рівняння енергетичного та матеріального балансів для теплообмінних апаратів у такій формі:

$$GM_{in}e_{in} - GM_{out}e_{out} = Q_{out} + dE/d\tau, \quad (1)$$

$$GM_{out}e_{out} - GM_{in}e_{in} = Q_{in} + dE/d\tau, \quad (2)$$

$$GM_{in} - GM_{out} = dm/d\tau, \quad (3)$$

де $GM_{in}, GM_{out}, e_{in}, e_{out}$ – відповідно масові витрати та ентальпії на вході в апарат та на виході з нього;

Q_{in}, Q_{out} – тепло, відведене в апараті або підведене до нього;

E – ентальпія всієї маси холодоагенту, що знаходиться в апараті;

τ – час.

Ентальпія всієї маси холодоагенту визначається відповідно до виразу:

$$E = m_g e_g + m_p e_p = (m_g + m_p) \bar{e}, \quad (4)$$

Де m_g, e_g, m_p, e_p – маси та ентальпії рідкого та пароподібного холодоагенту, що знаходяться в даний момент часу в апараті.

Тоді тепло, відведене в апараті або підведене до нього, можна представити як:

$$Q_{in} = (GM_{in} + dm/d\tau)(e_{in} - e_{out}) + dm/d\tau (e_{in} - \bar{e}) - m d\bar{e}/d\tau, \quad (5)$$

$$Q_{out} = (GM_{in} + dm/d\tau)(e_{out} - e_{in}) + dm/d\tau (e_{in} - \bar{e}) - m d\bar{e}/d\tau. \quad (6)$$

Виходячи з виразів (1) – (6), методика зміни залежності холодопродуктивності від величин, що характеризують нестационарний процес роботи холодильної установки може бути представлена у вигляді таких етапів:

- 1) визначення маси рідкого та пароподібного холодоагенту в конденсаторі за товщиною плівки та щільністю конденсату за формулою Нуссельта;
- 2) визначення кількості тепла, відведеного від конденсатора, за балансом тепла охолоджувальної води;
- 3) з визначення витрати холодоагенту на виході з конденсатора обчислюється маса пари, що барботує, на підставі співвідношень з розрахунку характеристик проміжної судини;
- 4) перетворення розрахунків для витрат холодоагенту за рахунок визначення витрати тара, що надходить у компресор із двох випарних систем;
- 5) визначення холодопродуктивності двох випарних систем на нестационарному режимі.

Безпосередньо методика обґрунтування вибору моделі для аналізу роботи двоступінчастої суднової холодильної установки на нестационарних режимах полягає в реалізації таких положень:

1. Дотримання критерію квазістационарності для нестационарного режиму означає, що у цьому випадку може бути застосована квазістационарна модель явищ, заснована на використанні рівнянь стационарного режиму при підстановці миттєвих значень параметрів нестационарного режиму.

2. Використання критерію квазістационарності має дуже велике значення для аналізу робочих процесів і для експериментальних досліджень суднової холодильної установки, дозволяючи з усієї гами можливих нестационарних режимів виділити квазістационарні, для яких застосовна статична математична модель, і перехідні, різко виражені нестационарні режими, для яких необхідно моделі.

3. Результати експериментальних досліджень показують, що для більшості нерозрахункових режимів суднової холодильної установки навіть в умовах теплового навантаження, що різко змінюється, на випарні системи в межах точності експерименту реалізується критерій квазістационарності і без істотних похибок може бути застосована квазістационарна модель явищ, а для аналізу робочих процесів суднової холодильної установки можуть бути застосовані статичні характеристики вузлів.

4. Режими роботи, якими не реалізується критерій квазістационарності, називаються перехідними нестационарними режимами, характерними за наявності різких збурень у системах холодильної установки (зміна витрат робочих тіл, температур, тисків, теплових навантажень). Перехідні режими роботи є проміжні нестационарні режими переходу від одного стационарного або квазістационарного до іншого відповідного режиму, і розрахунок перехідних режимів, що виробляється на основі динамічної математичної моделі, є основою розрахунку систем регулювання холодильних установок.

5. Розв'язання систем диференціальних рівнянь високих порядків становить значні математичні проблеми навіть за використання відповідних обчислювальних засобів. У зв'язку з цим можуть застосовуватися різні методи спрощення розв'язання рівнянь динамічної моделі, серед яких найпоширенішим є метод лінеаризації диференціальних рівнянь.

Висновки. Розроблена методика обґрунтування вибору моделі для аналізу роботи двоступінчастої суднової холодильної установки в нестационарних режимах дозволяє визначити можливість застосування тієї чи іншої моделі для аналізу роботи суднової

холодильної установки шляхом розгляду робочих процесів суднової холодильної установки в нестационарних режимах. Визначено, що комбіноване використання статичної моделі для визначення поля стаціонарних або квазістаціонарних режимів та лінеаризованої динамічної моделі дозволяє отримати доступний для інженерних розрахунків метод розрахунку динамічних характеристик вузлів, що дає результати з досить високою точністю.

ЛІТЕРАТУРА

1. Liu Yun. Research on Simulation of Marine Refrigeration System Based on Simulink. *Applied Mechanics and Materials*. 2014. № 552. P. 61-65. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMM.552.61
2. Majgaonkar A. Refrigeration for Ships. *Ashrae Journal*. 2008. 50.
3. Lee Sangick, Choi Inhwang, Chang Daejun. Multi-objective optimization of VOC recovery and reuse in crude oil loading. *Applied Energy*. 2013. № 108. P. 439–447.
4. Очеретяний Ю. Розробка системи діагностування суднових холодильних установок. *Automation of Technological and Business Processes*. 2022. № 14. С. 35-41.
5. Голиков О.А. Суднові системи кондиціонування повітря. Київ : Наукова думка, 2000. 224 с.
6. Подмазко О.С., Піщанська Н.О. Суднова холодильна техніка. Конспект лекцій. Одеса: ОНАХТ, 2020. 59 с. URL: <https://drive.google.com/file/d/1O2GiWOWfmJdhCGCuCnrPWa9UJHyjb5wU/view?usp=sharing> (дата звернення: 05.05.2023)
7. Букарос В.М., Букарос А.Ю., Ромчук М.О. Адаптивна система керування електроприводом компресора. *Автоматизація технологічних і бізнес-процесів*. 2014. № 6 (4). С. 84-90.
8. Automation of the control processes of the refrigeration units condensers / V. Bukaros, O. Onishchenko et al. *Bulletin of NTU "KhPI"*. Series: New solutions in modern technologies. 2017. № 23 (1245). P. 76-83.
9. Modernization of luenberger observer for control system of hermetic compressor electric drive / V. Bukaros, O. Onishchenko et al. *Radio Electronics, Computer Science, Control*. 2019. Vol. 1. P. 230-237
10. Algorithm for estimation of ship refrigeration unit energy efficiency using full order observers / A. Bukaros, V. Bukaros et al. *Applied Aspects of Information Technology*. 2020. Vol. 3. No. 1. P. 418-430.

REFERENCES

1. Liu, Yun. (2014). Research on Simulation of Marine Refrigeration System Based on Simulink. *Applied Mechanics and Materials*, 552, 61-65. 10.4028/www.scientific.net/AMM.552.61.
2. Majgaonkar, Amey. (2008). Refrigeration for Ships. *Ashrae Journal*, 50.
3. Lee, Sangick & Choi, Inhwang & Chang, Daejun. (2013). Multi-objective optimization of VOC recovery and reuse in crude oil loading. *Applied Energy*, 108, 439–447.
4. Ocheretianyi, Yu. (2022). Rozrobka systemy diahnostuvannia sudnovykh kholodylnykh ustanovok [Development of a system for diagnosing ship refrigerating units]. *Automation of Technological and Business Processes*, 14, 35-41.
5. Holikov, O.A. (2000). *Sudnovi systemy kondytsionuvannia povitria* [Ship air conditioning systems]. Naukova dumka.
6. Podmazko, O.S. & Pishchanska, N.O. (2020). *Sudnova kholodylna tekhnika. Konspekt leksii* [Ship refrigeration equipment. Lecture notes]. ONAKhT. Retrieved from <https://drive.google.com/file/d/1O2GiWOWfmJdhCGCuCnrPWa9UJHyjb5wU/view?usp=sharing>

7. Bukaros, V.M., Bukaros, A.Iu. & Romchuk, M.O. (2014). Adaptivna systema keruvannia elektropryvodom kompresora [Adaptive compressor electric drive control system]. *Avtomatyzatsiia tekhnolohichnykh i biznes-protsesiv*. 6 (4), 84-90.
8. (2017). Automation of the control processes of the refrigeration units condensers / V. Bukaros, O. Onishchenko et al. *Bulletin of NTU "KhPI"*. Series: New solutions in modern technologies, 23 (1245), P. 76-83.
9. (2019). Modernization of luenberger observer for control system of hermetic compressor electric drive / V. Bukaros, O. Onishchenko et al. *Radio Electronics, Computer Science, Control*, Vol. 1, P. 230-237
10. (2020). Algorithm for estimation of ship refrigeration unit energy efficiency using full order observers / A. Bukaros, V. Bukaros et al. *Applied Aspects of Information Technology*, Vol. 3, No. 1, P. 418-430.

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

The aim of the work is to develop a methodology for justifying the choice of a model for analyzing the operation of a two-stage ship refrigeration unit in non-stationary modes. This goal is achieved by determining the equations for the cooling capacity at non-stationary modes, namely the equations of energy and material balances for heat exchangers. The expression for the enthalpy of the entire mass of refrigerant is considered. An expression for the formal representation of heat removed in or supplied to the apparatus of a two-stage ship refrigeration unit is proposed. The most important result of the research is a methodology for justifying the choice of a model for analyzing the operation of a two-stage ship refrigeration unit in non-stationary modes. Structurally, the proposed methodology consists of five stages. At the first stage, the mass of liquid and vaporous refrigerant in the condenser is determined by the thickness of the film and the density of the condensate according to the Nusselt formula. In the second step, the amount of heat dissipated from the condenser is determined by the heat balance of the cooling water. At the third stage, based on the results of determining the flow rate of the refrigerant at the outlet of the condenser, the mass of the vapor is calculated based on the ratios based on the calculation of the characteristics of the intermediate capacitance. In the fourth step, the refrigerant flow calculations are converted by determining the flow rate of the tanks entering the compressor from the two evaporation systems. At the final fifth stage, the cooling capacity of the two evaporation systems in a non-stationary mode is directly determined. Thus, the proposed methodology makes it possible to determine the possibility of using a particular model to analyze the operation of a ship refrigeration unit by considering the work processes of a ship refrigeration unit in non-stationary modes. It is determined that the combined use of a static model to determine the field of stationary or quasi-stationary modes and a linearized dynamic model allows obtaining a method for calculating the dynamic characteristics of components that is accessible for engineering calculations and gives results with a sufficiently high accuracy.

Keywords: *mathematical model, methodology, ship refrigeration unit, unsteady-state mode.*

Дакі О.А, Якусевич Ю.Г., Тришин В.В., Дорофєєва З.Я.

РОЗРОБЛЕННЯ ПРОПОЗИЦІЙ ЩОДО ДЕКОМПОЗИЦІЇ СУДНОВОЇ ХОЛОДИЛЬНОЇ УСТАНОВКИ ТА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ КОМПРЕСОРА

Метою роботи є розробка пропозицій щодо декомпозиції суднової холодильної установки та розробка математичної моделі компресора, що є основою для подальшої автоматизації відповідних процесів оцінки та контролю стану суднової холодильної установки в цілому. Поставлена мета досягається шляхом аналізу принципової схеми суднової холодильної установки з двоступеневою парокомпресійною холодильною машиною. Розглянуто найскладніший випадок двоступеневої холодильної машини, суміщеної зі споживачем холоду у вигляді морозильного комплексу (системи морозильних апаратів), усі інші випадки впливають з цього, як простіші та часткові. При цьому для вирішення різних завдань, в загальному сенсі, запропонована декомпозиція на трьох рівнях. Перший рівень декомпозиції передбачає розбивку суднової холодильної установки на два основні вузли: генератор холоду (холодильна машина або система холодильних машин) і споживач холоду. Другий рівень декомпозиції передбачає розбивку генератора і споживача холоду на окремі вузли, за допомогою математичних моделей, які синтезуються. Декомпозиція другого рівня дає змогу полегшити отримання рівнянь математичних моделей вузлів першого рівня за допомогою простіших рівнянь математичних моделей вузлів другого рівня. Третій рівень декомпозиції передбачає розбивку вузлів другого рівня на складові елементи з визначенням їхніх конструктивних характеристик, що використовується для проектування вузлів другого рівня. Визначено, що математичні моделі вузлів декомпозиції на другому рівні містять у собі рівняння трьох типів: рівняння першого типу, які дають взаємозв'язок між параметрами робочого процесу та конструктивними параметрами вузла; рівняння другого типу пов'язують конструктивні параметри з масогабаритними характеристиками, а рівняння третього типу пов'язують конструктивні параметри вузлів з їхніми економічними характеристиками. Найважливішим результатом досліджень є математична модель компресора у вигляді функції двох змінних із переходом до узагальненої математичної моделі компресора. Таким чином, використання математичних моделей компресора, розглянутих у статті, дає змогу розв'язати задачу автоматизованого проектування оптимізованих конструкцій компресорів і загалом холодильних машин, а також низку інших завдань синтезу й аналізу судових холодильних установок.

Ключові слова: *модель, декомпозиція, суднова холодильна установка, компресор, контроль, параметри.*

Постановка проблеми. Проблема математичного моделювання судових холодильних установок (СХУ) постала наприкінці ХХ століття, особливо у зв'язку з розвитком рибної промисловості. Збільшення виробництва мороженої рибної продукції вимагало невідкладного знаходження непростих рішень щодо оптимізації експлуатації СХУ. У свою чергу, це викликало необхідність проведення глибокої модернізації СХУ з метою поліпшення основних характеристик СХУ. І цей ланцюжок замкнувся на необхідності одержання точних закономірностей, що визначали всі параметри СХУ. Відсутність таких закономірностей вимагала розроблення математичних моделей холодильної машини, холодильної установки і низки технологічних процесів, що впливали на роботу холодильних установок різних типів.

Для забезпечення можливості створення математичних моделей СХУ необхідно виконати низку досліджень. Серед цих досліджень слід відзначити найбільш важливі проблеми, які потребують першочергового вирішення:

- 1) математичне моделювання процесів тепломасообміну під час заморожування риби;
- 2) створення фізичної та математичної моделей утворення снігової шуби на приладах охолодження зі зміною її характеристик у часі;
- 3) розроблення теорії тепло- і масообміну під час барботажу і кипіння холодоагенту в апаратах суднових холодильних установок;
- 4) математичне моделювання тепломасообміну в штабелі мороженої риби та процесів доморожування риби в завантаженому трюмі рефрижераторного судна;
- 5) математичне моделювання зміни якості охолодженої або мороженої рибопродукції залежно від навколишніх умов і роботи холодильної установки для різних видів риби;
- 6) математичне моделювання холодильних машин і установок, що дає змогу отримати характеристики з урахуванням усіх можливих чинників, що визначають роботу суднових холодильних машин і установок;
- 7) математичне моделювання зносу і надійності обладнання з визначенням раціональних періодів міжремонтних і регламентних робіт.

У роботі представлено пропозиції щодо декомпозиції суднової холодильної установки та запропоновано узагальнену математичну модель компресора зі складу суднової холодильної установки.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідженню та розвитку суднової холодильної техніки присвячено низку праць [1 - 10].

Так, у роботі [1] наведена математична модель холодильного компресора. Критерієм для оптимізаційної моделі в цій праці є вартість обладнання, яка в основному оцінюється і використовується судновласниками. Очевидно, що можна вибрати найдешевше обладнання з більш коротким терміном експлуатації, в той час як інший може вибрати найдорожче обладнання з низькими експлуатаційними витратами і тривалим терміном служби. Підхід, який використовується в цій роботі, полягає в мінімізації загальних витрат.

У роботі [2] розглянуто математичне моделювання процесів, що тривають у гвинтових компресорах. У статті представлено огляд прогресу таких методів, а також їх застосування в успішних конструкціях компресорів. Унаслідок їхнього впровадження навіть дрібні деталі тепер вважаються значущими в зусиллях із поліпшення продуктивності та зниження витрат. Незважаючи на це, все ще існують можливості для впровадження нових методів і процедур для поліпшення профілів ротора, оптимізації конструкції для кожного конкретного завдання та спеціалізованого проектування компресорів, усі з яких можуть призвести до поліпшення продукту та нових сфер застосування. Мета цієї статті – дати огляд діяльності з математичного моделювання процесу роботи гвинтового компресора за останні п'ять десятиліть.

У статті [3] виконано побудову та дослідження пускових характеристик електроприводу поршневого суднового компресора холодильної установки з використанням математичної моделі невірніваженого моменту навантаження. Залежність навантаження на валу електропривода поршневого компресора від кута повороту представлено у вигляді математичної моделі. Визначено, що при додаванні в модель змінного моменту інерції маховика, який створює момент інерції, пульсації швидкості обертання і струму на усталеному режимі зменшуються, а час пуску також стає меншим, що сприятливо позначається на роботі пристрою. Досліджено можливість встановлення маховика зі змінним моментом інерції на валу електроприводу поршневого компресора.

В роботі [4] досліджена динаміка кривошипного механізму та запропонована методика розрахунку моменту опору однопоршневого компресора суднової холодильної установки. Розроблена математична модель, що описує залежність моменту опору компресора від кута повороту вала приводного електродвигуна. Для компресора ХКВ-6 малої холодильної установки проведена верифікація результатів моделювання.

Але саме питання розроблення пропозицій щодо декомпозиції суднової холодильної установки та математичної моделі компресора у відповідному контексті у цих дослідженнях розглянуто не в повному обсязі.

Мета дослідження. Мета роботи полягає у розробленні пропозицій щодо декомпозиції суднової холодильної установки та розроблення математичної моделі компресора, що є основою для подальшої автоматизації відповідних процесів оцінки та контролю стану суднової холодильної установки в цілому.

Основні результати дослідження. В основу створення математичної моделі СХУ покладено принцип декомпозиції холодильної установки на основні вузли та елементи. Принципову схему СХУ з двоступеневою парокомпресійною холодильною машиною наведено на рис. 1.

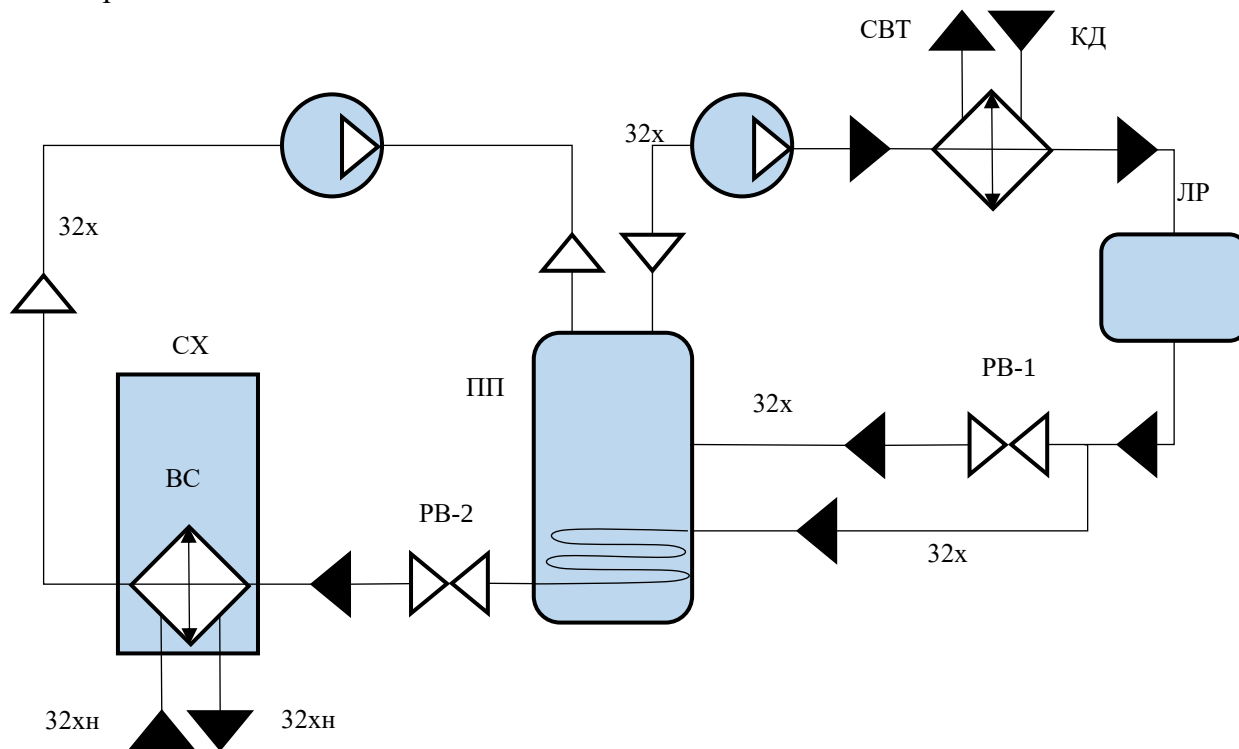


Рисунок 1 – Принципова схема суднових холодильних установок

ВС – випарна система; СХТ, СВТ – ступінь стиснення з використанням компресорів низького та високого тиску; КД – конденсатор; ЛР – лінійний ресивер; ПП – проміжний посуд; СХ – споживач холоду; РВ-1, РВ-2 – регулюючі вентилі; 32х – холодогент; 32хн – холодоносій

Для загальності розглядається складніший випадок двоступеневої холодильної машини, суміщеної зі споживачем холоду у вигляді морозильного комплексу (системи морозильних апаратів), усі інші випадки впливають з цього, як простіші та часткові.

Для розв'язання різних завдань, в загальному сенсі, декомпозиція може здійснюватися на різних рівнях (рис. 2).

Перший рівень декомпозиції передбачає розбивку СХУ на два основні вузли: генератор холоду (холодильна машина або система холодильних машин) і споживач холоду. Декомпозицію першого рівня використовують для вирішення завдань аналізу роботи СХУ під час спільної роботи певного генератора і споживача холоду.

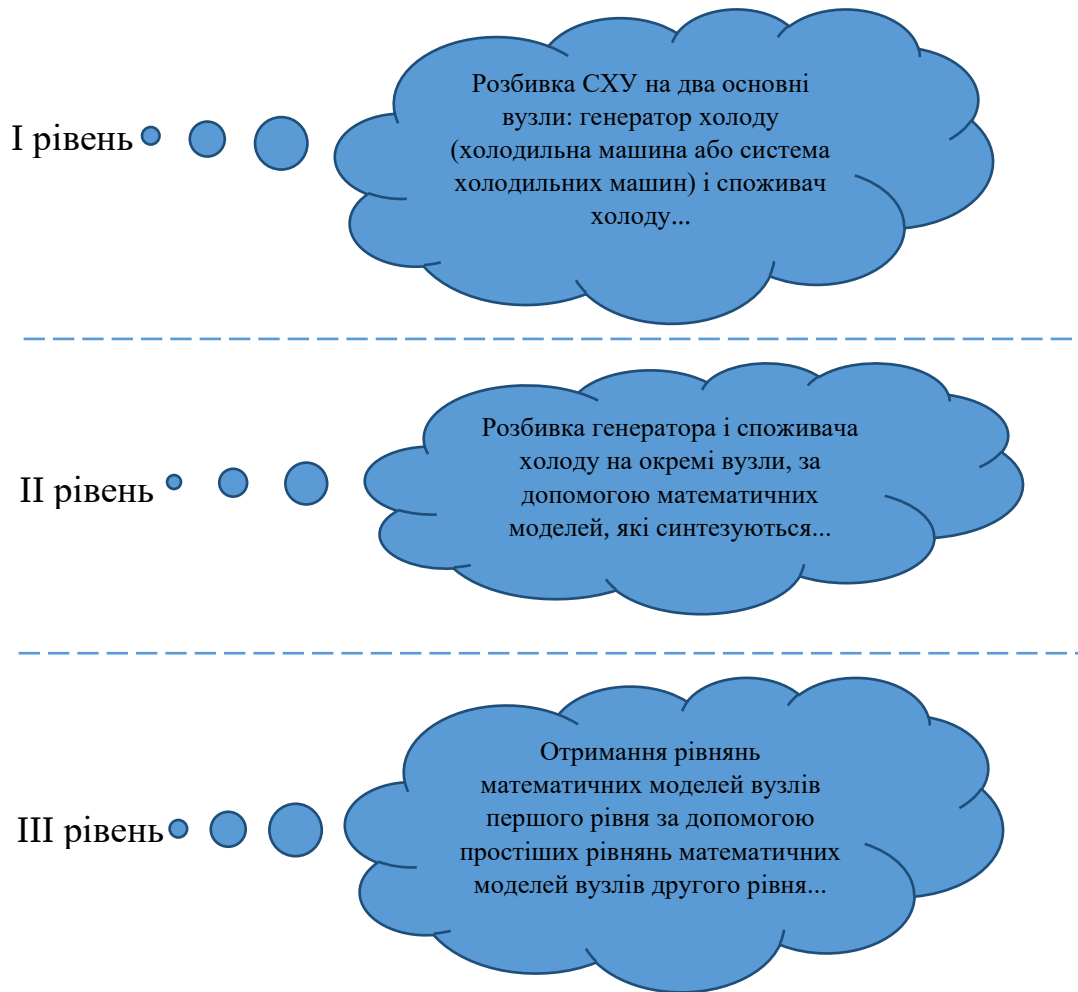


Рисунок 2 – Тривірнева декомпозиція суднової холодильної установки

Другий рівень декомпозиції передбачає розбивку генератора і споживача холоду на окремі вузли, за допомогою математичних моделей, які синтезуються. На цьому рівні генератор холоду розбивається, наприклад, на такі вузли (рис. 1): компресор (компресори СНТ і СВТ), конденсатор, лінійний ресивер, проміжну посудину, випарну систему (у частині, що обслуговує холодильну машину), споживач холоду в загальному разі розбивається на ізольований контур, охолоджувальну (випарну) систему (у частині, що обслуговує споживача холоду) та заморожувальний (охолоджувальний) продукт, а також механізми та допоміжні пристрої.

Декомпозиція другого рівня дає змогу полегшити отримання рівнянь математичних моделей вузлів першого рівня за допомогою простіших рівнянь математичних моделей вузлів другого рівня. При цьому істотно полегшується перевірка адекватності цих моделей на підставі даних випробувань окремих вузлів холодильної машини і споживача холоду.

Третій рівень декомпозиції передбачає розбивку вузлів другого рівня на складові елементи з визначенням їхніх конструктивних характеристик, що використовується для проектування вузлів другого рівня.

Математичні моделі вузлів декомпозиції на другому рівні містять у собі рівняння трьох типів: рівняння першого типу, які дають взаємозв'язок між параметрами робочого процесу та конструктивними параметрами вузла; рівняння другого типу пов'язують конструктивні параметри з масогабаритними характеристиками, а рівняння третього типу пов'язують конструктивні параметри вузлів з їхніми економічними характеристиками.

Математичну модель компресора пропонується розглядати у вигляді функції двох змінних:

$$Q_o = f(t_o, t_k), \quad (1)$$

де Q_o – значення холодопродуктивності, як основного ефекту компресора, що працює в системі холодильної машини;

t_o, t_k – параметри циклу робочого процесу компресора (температури кипіння і конденсації).

До теперішнього часу на суднах експлуатується велика кількість одно- і двоступеневих поршневих компресорів, що вирізняються різними конструктивними особливостями циліндро-поршневої та клапанної груп і режимами роботи.

Рівняння узагальненої математичної моделі компресора може бути представлено в такому вигляді:

$$\frac{Q_o}{V_n} = [\exp(a_1 + b_1 t_1)](t_o + 90)^{(c_1 + d_1 t_1)},$$

$$\frac{N_e}{V_n} = (b_2 + a_2 t_k)t_o + (d_2 + c_2 t_k), \quad (2)$$

де V_n – теоретична об'ємна продуктивність, м³;

N_e – ефективна потужність, кВт.

Розрахунок математичних моделей для наявних компресорів показав їхню хорошу збіжність з експериментальними даними в межах точності експерименту. Для гвинтових маслозаповнених компресорів, що набули широкого поширення у суднових холодильних установках, внутрішні процеси у компресорі наразі слабо вивчені, особливо для роботи на нерозрахункових режимах і в режимах часткової холодопродуктивності. Наявні експериментальні характеристики численних родин гвинтових компресорів дають змогу отримати апроксимаційні узагальнені рівняння математичних моделей саме у формі рівнянь (2).

Висновки. З метою створення комплексної математичної моделі суднових холодильних установок у роботі запропоновано принцип трирівневої декомпозиції холодильної установки на основні вузли та елементи. Як приклад розглянуто математичну модель компресора у вигляді функції двох змінних із переходом до узагальненої математичної моделі компресора (під час розгляду одно- і двоступеневих поршневих компресорів). Використання математичних моделей компресора, розглянутих у статті, дає змогу розв'язати задачу автоматизованого проєктування оптимізованих конструкцій компресорів і загалом холодильних машин, а також низки інших завдань синтезу й аналізу суднових холодильних установок.

ЛІТЕРАТУРА

1. Darko Glujić, Predrag Kralj, Dragan Martinović. A Simple Mathematical Model for Refrigerating Compressor Optimization. *Scientific Journal of Maritime Research*. 2018. № 32. URL: <https://hrcak.srce.hr/file/296886> (дата звернення: 17.12.2022).
2. Stosic Nikola, Smith Ian, Kovacevic Ahmed, Mujic, Elvedin. Review of Mathematical Models in Performance Calculation of Screw Compressors. *International Journal of Fluid Machinery and Systems*. 2011. № 4. DOI: 10.5293/IJFMS.2011.4.2.271.
3. Chernyi Sergei, Aleksei Vyngra, Pavel Erofeev, Bogdan Novak. Analysis of the Starting Characteristics of the Complex Maritime Systems. *Procedia Computer Science*. 2020. № 167. 2164-2171. DOI : 10.1016/j.procs.2020.03.266.

4. Simulation of the resistance moment of single-piston compressor of ship refrigeration unit / Bukaros A.Iu. et al. *Technology audit and production reserves*. 2015. №4. P. 46-51.
5. Ocheretjanyj Yu.A., Ocheretjanyj Yu.A., Zhivitsa V.I., Belyj V.N., Onishhenko O. A., Vajnfeld E.I. Koncepcija sistemy kompjuternogo monitoringa i tehničkoj diagnostiki refrizheratornoj holodilnoj ustanovki sudna. *Sudovye jenergeticheskie ustanovki*. 2011. № 28. P. 5–11.
6. Kumar M., Kar I.N. Fault Detection and Diagnosis of Air-Conditioning Systems using Residuals. *10th IFAC International Symposium on Dynamics and Control of Process Systems*. Mumbai, India. 2013. P. 607–612. doi:10.3182/20131218-3-in-2045.00113
7. Tassou S.A., Grace I.N. Fault diagnosis and refrigerant leak detection in vapour compression refrigerant systems. *International Journal of Refrigeration*. 2005. Vol. 28. № 5. P. 680–688. doi: 10.1016/j.ijrefrig.2004.12.007
8. Snihovskij E.L., Snihovskij E.L., Klepanda A.S., Petuhov I.I., Sherstjuk A.V. K voprosu formirovanija algoritma diagnostirovanija tehničkog sostojanija parokompressionnyh holodil'nyh mashin. *Vestnik NTU "KhPi"*. 2014. № 11. P. 154–159.
9. Voropaj P.I., Shlenov A.A. Povyshenie nadezhnosti i jekonomichnosti porshnevnyh kompressorov. M.: Nedra, 1980. 359 p.
10. Подмазко О.С., Піщанська Н.О. Суднова холодильна техніка. Конспект лекцій. Одеса: ОНАХТ, 2020. 59с. URL: <https://drive.google.com/file/d/1O2GiWOWfmJdhCGCuCnrPWa9UJHyjb5wU/view?usp=sharing> (дата звернення: 11.12.2022)

REFERENCES

1. Darko Glujić, Predrag Kralj & Dragan Martinović. (2018). A Simple Mathematical Model for Refrigerating Compressor Optimization. *Scientific Journal of Maritime Research*. 32. Retrieved from <https://hrcak.srce.hr/file/296886>.
2. Stosic, Nikola & Smith, Ian & Kovacevic, Ahmed & Mujic, Elvedin. (2011). Review of Mathematical Models in Performance Calculation of Screw Compressors. *International Journal of Fluid Machinery and Systems* 4. 10.5293/IJFMS.2011.4.2.271.
3. Chernyi Sergei, Aleksei Vyngra, Pavel Erofeev & Bogdan Novak. (2020). Analysis of the Starting Characteristics of the Complex Maritime Systems. *Procedia Computer Science*. 167. 2164-2171. 10.1016/j.procs.2020.03.266.
4. (2015). Simulation of the resistance moment of single-piston compressor of ship refrigeration unit / Bukaros, A.Iu. et al. *Technology audit and production reserves*, 4, 46-51.
5. Ocheretjanyj, Yu.A., Ocheretjanyj, Yu.A., Zhivitsa, V.I., Belyj, V.N., Onishhenko, O. A. & Vajnfeld, E.I. (2011). Koncepcija sistemy kompjuternogo monitoringa i tehničkoj diagnostiki refrizheratornoj holodilnoj ustanovki sudna [The concept of a system for computer monitoring and technical diagnostics of a ship's refrigeration refrigeration plant]. *Sudovye jenergeticheskie ustanovki*, 28, 5–11.
6. Kumar, M. & Kar, I.N. (2013). Fault Detection and Diagnosis of Air-Conditioning Systems using Residuals. *10th IFAC International Symposium on Dynamics and Control of Process Systems*. Mumbai, India. 607–612. 10.3182/20131218-3-in-2045.00113
7. Tassou, S.A. & Grace, I.N. (2005). Fault diagnosis and refrigerant leak detection in vapour compression refrigerant systems. *International Journal of Refrigeration*, Vol. 28, 5, 680–688. 10.1016/j.ijrefrig.2004.12.007
8. Snihovskij, E.L., Snihovskij, E.L., Klepanda, A.S., Petuhov, I.I. & Sherstjuk, A.V. (2014). K voprosu formirovanija algoritma diagnostirovanija tehničkog sostojanija parokompressionnyh holodil'nyh mashin. *Vestnik NTU "KhPi"*, 11, 154–159.
9. Voropaj, P.I. & Shlenov, A.A. (1980). Povyshenie nadezhnosti i jekonomichnosti porshnevnyh kompressorov. *Nedra*.

10. Podmazko, O.S. & Pishchanska, N.O. (2020). *Sudnova kholodylna tekhnika. Konspekt lektsii* [Ship refrigeration equipment. Lecture notes]. ONAKhT. Retrieved from <https://drive.google.com/file/d/1O2GiWOWfmJdhCGCuCnrPWa9UJHyjb5wU/view?usp=sharing>

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

The aim of the work is to develop proposals for the decomposition of the ship's refrigeration unit and to develop a mathematical model of the compressor, which is the basis for further automation of the relevant processes of assessment and control of the ship's refrigeration unit as a whole. This goal is achieved by analysing the schematic diagram of a ship refrigeration unit with a two-stage vapor-compression refrigeration machine. For the sake of generality, we consider the most complex case of a two-stage refrigeration machine combined with a cold consumer in the form of a freezer complex (system of freezers), and all other cases follow from this as simpler and more partial. At the same time, to solve various problems, in a general sense, a decomposition at three levels is proposed. The first level involves the separation of the ship's refrigeration unit into two main components: a cold generator (refrigeration machine) and a cold consumer. The second level involves splitting the generator and the cold consumer into separate nodes using mathematical models that are synthesized. The second-level breakdown makes it easier to obtain the equations of the mathematical models of the first-level nodes using the simpler equations of the mathematical models of the second-level nodes. The third level of decomposition involves the breakdown of second-level nodes into their constituent elements with the definition of their structural characteristics, which is used in the design of second-level nodes. It is determined that the mathematical models of the decomposition units at the second level contain equations of three types: equations of the first type, which give the relationship between the parameters of the workflow and the design parameters of the unit; equations of the second type relate the design parameters to the weight and size characteristics, and equations of the third type relate the design parameters of the units to their economic characteristics. The most important result of the research is a mathematical model of the compressor in the form of a function of two variables with a transition to a generalized mathematical model of the compressor. Thus, the use of the mathematical models of the compressor discussed in the article makes it possible to solve the problem of computer-aided design of optimized compressor designs and refrigeration machines in general, as well as several other problems of synthesis and analysis of ship refrigeration units.

Keywords: model, decomposition, ship refrigeration unit, compressor, control, parameters

Тараненко С.В., Кириченко О.С., Пріступа С.В., Голубєва С.М., Пастух О.В.

ТЕРМОЕЛЕКТРИЧНІ МОДУЛІ З КОМПЕНСОВАНИМИ КОМУТАЦІЙНИМИ ПЛАСТИНАМИ ДЛЯ ПРИСТРОЇВ СУДНОВОЇ ЕНЕРГЕТИКИ

У статті проаналізовано термоелектричні модулі з компенсованими комутаційними пластинами для пристроїв суднової енергетики. Дослідження пов'язане з актуальними питаннями усунення або зменшення до прийнятних меж термічних напружень в термоелектричних модулях. Термічні напруження виникають в них через наявні температурні розширення та стискання електротехнічних матеріалів, що є наслідком одночасного нагріву та охолодження в напівпровідниках. На базі п'яти створених моделей термоелектричних елементів шляхом їх з'єднання в «П-подібну змійку» сформовано п'ять моделей відповідних термоелектричних модулів. Один модуль мав класичну конструкцію, а чотири інших мали в своєму складі компенсовані контактні комутаційні пластини. Кожен з цих термоелектричних модулів складався з 39 напівпровідникових термопар, містив 20 напівпровідників Р-типу і 20 напівпровідників N-типу. Верхні (гарячі) контактні комутаційні пластини у кількості 20 шт. представляли собою компенсовані комутаційні пластини у формі пластин-ресор, термоелектричний модуль з класичною конструкцією не містив компенсаційних елементів (компенсаторів). Габаритні розміри п'яти термоелектричних модулів, що підлягали аналізу, були наступними: одна класична конструкція та три конструкції з компенсаторами $50 \times 59 \times 6$ мм, одна конструкція зі збільшеною товщиною компенсатора $52 \times 62 \times 7$ мм. За результатами розрахунку отримано розподіл основних робочих параметрів по об'єму термоелектричних елементів. Побудовано та проаналізовано робочі характеристики термоелектричних модулів при зміні сили струму від 0 до 5 А для густини струму, напруги, напруженості електричного поля, різниці температур між гарячими і холодними контактними комутаційними пластинами, густини теплового потоку, резистивного нагріву, еквівалентного стресу і величини деформацій. Показано переваги застосування чисельних методів розрахунку для вирішенні польових задач суднової електроенергетики.

Ключові слова: термоелектричні модулі, термоелектричні елементи, компенсовані комутаційні пластини, термічні напруження, пристрої, суднова енергетика, водний транспорт.

Постановка проблеми. Актуальність дослідження пов'язана зі створенням та вдосконаленням математичних моделей для нових конструкцій термоелектричних модулів, що працюють на основі термоелектричного ефекту прямого перетворення теплової енергії в електричну і навпаки [1, 3]. Термоелектричні ефекти завдяки ряду достатньо цінних особливостей отримали велике практичне застосування в різних областях транспортної, в тому числі суднової енергетики [15]. Пристрої суднової енергетики, які працюють на основі термоелектричних ефектів, мають значний технічний ресурс, відрізняються відносною простотою, надійністю, безшумністю роботи і відсутністю рухомих частин, а також універсальністю з точки зору підведення і відведення теплоти. Незважаючи на вищевикладене, невіршеними або вирішеними не в повній мірі залишаються питання термічних напружень в термоелектричних модулях, що може призвести до виходу з ладу суднового електрообладнання. Уникнути подібних поломок можна за рахунок застосування термоелектричних модулів з компенсованими комутаційними пластинами.

Причини виникнення термічних напружень в термоелектричних модулях пов'язані з необхідністю застосування в них електротехнічних матеріалів, які повинні мати достатньо високу тепло- та електропровідність, що в свою чергу призводить до більшого коефіцієнта лінійного розширення [13; 15]. Зазначені властивості ще більше посилюють вплив температурних розширень на стороні гарячих комутаційних пластин термоелектричних модулів. При невеликих перепадах температур в термоелектричних охолоджувальних пристроях і теплових насосах для уникнення термічних напружень іноді виявляється достатнім використовувати компенсаційні елементи (компенсатори) на гарячих контактних комутаційних пластинах. В даній роботі, враховуючи рекомендації робіт [14, 16, 17], сформовано та розраховано термоелектричні модулі з компенсованими комутаційними пластинами для пристроїв суднової енергетики.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. На сьогодні наявна значна кількість наукових праць щодо використання термоелектричних ефектів на водному транспорті та в судновій енергетиці.

Наприклад, роботи [1, 2, 3] є надзвичайно змістовними та заслуговують глибокого ознайомлення з ними. З поміж іншого в них викладені загальні основи теорії термоелектричних ефектів з відповідним математичним описом, а також оптимальне керування властивостями термоелектричних матеріалів і приладів.

В брошурі [4] в популярній формі викладені питання історії відкриття термоелектричних ефектів, шляхи становлення науки про термоелектрику, перспективи розвитку термоелектричного методу перетворення енергії.

Порівняльний аналіз характеристик термоелектричних модулів з різними геометричними формами напівпровідників для електрообладнання транспорту проведено в [7], а в [8] виконано чисельне тримірне моделювання термоелектричного охолоджувача вимірювального електроустаткування автоматичних систем. Критеріальні особливості формування готовності до професійної діяльності інженерів на основі 3D-моделювання висвітлено в [9].

Застосування компенсованих комутаційних пластин в різних конструкціях термоелектричних елементів для транспортного електрообладнання проаналізовано в [10, 13, 15].

Публікації [18, 20] та деякі розділи роботи [19] можуть виявитись корисними під час проектування термоелектричних модулів для електрообладнання водного транспорту.

Мета дослідження полягає в аналізі робочих характеристик термоелектричних модулів з компенсованими комутаційними пластинами для пристроїв суднової енергетики, встановленні впливу компенсаторів на термічні напруження та термоелектричний ефект Пельтьє в термоелектричних модулях.

Виклад основного матеріалу та основні результати дослідження. Правильність конструктивного рішення одиничного термоелектричного елемента в значній мірі визначає якість роботи в цілому термоелектричного модуля для пристроїв суднової енергетики. Однією з ряду основних вимог до раціональної конструкції термоелектричного елемента є відповідність щодо усунення або значного зменшення до прийнятних меж термічних напружень, що виникають в результаті одночасного механічного стиснення холодних і механічного розширення гарячих контактних комутаційних пластин. При пропусканні через термоелектричний елемент постійного струму верхня контактна комутаційна пластина починає нагріватися і відповідно розширюватися. Нижні контактні комутаційні пластини, навпаки, починають охолоджуватися та стискатися. Внаслідок цього виникає пара сил, під впливом яких у термоелементі створюються значні термічні напруження, які можуть призвести до пошкодження або руйнування останнього. Оскільки повністю усунути термічні напруження неможливо, тому необхідно розробляти такі конструкції термоелементів, в яких термічні напруження мають бути зменшені настільки, що вони не призводять до виходу термоелектричного елемента з ладу.

Під час ефекту Пельтьє протікання електричного струму в неоднорідному або анізотропному середовищі він може визивати окрім резистивних тепловиділень додаткове виділення або поглинання тепла в залежності від напрямку струму. В загальному випадку кількість тепла Пельтьє, що виділяється в одиниці об'єму за одиницю часу, визначається виразом [2]:

$$q_{\pi} = \left(\frac{\partial \Pi_{ki}}{\partial x_k} \right) j_i = T \left(\frac{\partial \alpha_{ik}}{\partial x_k} \right)_T j_i, \quad (1)$$

де Π_{ki} і α_{ik} – компоненти тензора Пельтьє і термоЕРС,

j_i – компонента густини струму;

x_k – координата.

В виразі (1) індекс T означає, що похідні взято при постійній температурі, а для ізотропного середовища математичний вираз (1) набуває вигляду [2]:

$$q_{\pi} = \sum_{i=1}^3 \left\{ \frac{\partial \Pi}{\partial x_i} \right\}_T j_i = T \sum_{i=1}^3 \left\{ \frac{\partial \alpha}{\partial x_i} \right\}_T j_i. \quad (2)$$

У найпростішому випадку ефект Пельтьє проявляється у вигляді виділення або поглинання тепла на контакті двох різних матеріалів. Потужність джерела тепла Пельтьє пропорційна кількості електрики, що проходить через контакт за одиницю часу:

$$Q_{\pi} = \Pi_{AB} I. \quad (3)$$

При цьому коефіцієнт Пельтьє Π_{AB} визначається лише природою матеріалів A і B . Термоелектричний коефіцієнт Пельтьє пов'язаний з термоелектричним коефіцієнтом Зеєбека співвідношенням, яке носить назву другого термодинамічного співвідношення Томсона:

$$\Pi_{AB} = T \alpha_{AB}, \quad (4)$$

де T – температура контакту.

Формування моделей термоелектричних модулів геометричним моделюванням передбачає попереднє створення моделей термоелектричних елементів як його базових структурних одиниць за допомогою об'єктно-орієнтованої (векторної) графіки. Креслення термоелектричних елементів, що підлягали аналізу, їх геометричні та кінцево-елементні моделі показано на рис. 1. Креслення вбачаються в якості шаблонних зображень, в загальному випадку для створення тривимірних моделей об'єктів водного транспорту за кресленнями необхідно мати три креслення об'єкту – спереду, зверху і збоку, а інколи ще й ззаду. Крім того, самі креслення повинні містити інформацію про всі необхідні розміри, бути зрозумілими і правильно розташованими щодо осей координат, містити дані про електротехнічні матеріали, з яких складається об'єкт. Так, креслення термоелектричних елементів на рис. 1, *а-д* були основою для створення їх тривимірних геометричних (рис. 1, *е-и*) і кінцево-елементних (рис. 1, *і-м*) моделей. Геометрична модель кожного термоелектричного елемента, що розглядався, складалась з пари напівпровідників P - та N -типу з формою кубів з довжиною ребра 5 мм і мідних контактних комутаційних пластин. Конструкції термоелектричних елементів (рис. 1, *б-д*) містять спеціальний компенсатор. Принцип даного компенсатора полягає у виготовленні гарячої комутаційної пластини як компенсованої комутаційної пластини в формі пластини-ресори. У цьому випадку під впливом термічних напружень, що виникають в термоелектричному елементі, вона буде згинатися, не виходячи за межі пружної деформації. Переріз пластини-ресори має бути

підбірано таким чином, щоб робочий струм, який проходить через неї, не виділяв помітної кількості джоулевого тепла.

Математичні моделі термоелектричних елементів можна розраховувати чисельно методом скінченних елементів або методом кінцевих різниць [5, 6, 11]. Кожен з цих методів має як свої переваги, так і свої недоліки. При цьому граничні умови при розрахунку математичних моделей термоелектричних елементів можуть бути прийняті наступними: нульовий електричний потенціал $\varphi_0=0$ В на крайніх торцевих поверхнях правої нижньої контактної комутаційної пластини термоелектричного елемента; нульова температура $t_0=0$ °С всіх нижніх поверхонь нижніх контактних комутаційних пластин термоелектричних елементів; дві крайні торцеві поверхні нижніх контактних комутаційних пластин всіх термоелектричних елементів вважались нерухомими. Під час розрахунку зовнішні поверхні термоелектричних елементів вважались адіабатично теплоізованими. Термоелектричні коефіцієнти напівпровідників *P*- та *N*-типу, ізотропні питомі електричні опори, ізотропні коефіцієнти теплопровідності, модулі пружності Юнга, коефіцієнти Пуассона та інші розрахункові коефіцієнти для однотипних електротехнічних матеріалів [12] у всіх моделях термоелектричних елементів приймалися однаковими.

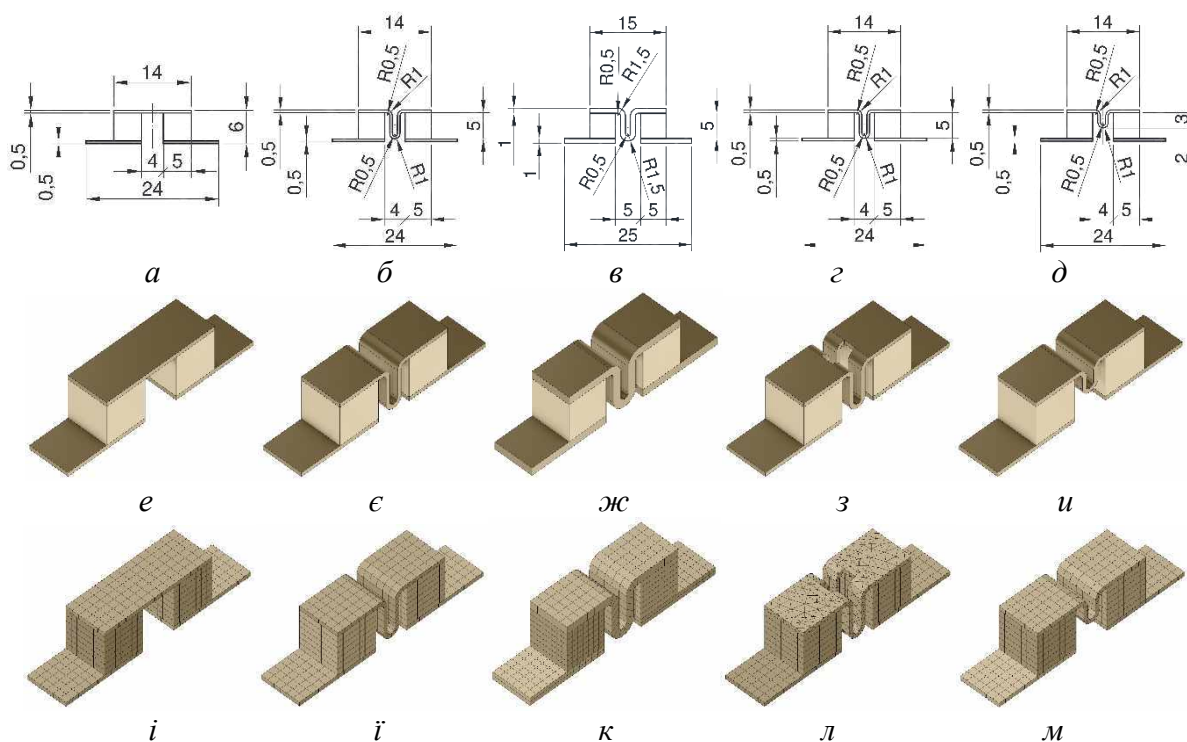


Рисунок 1 – Креслення (а-д), геометричні (е-и) та кінцево-елементні (і-м) моделі термоелектричних елементів: класична конструкція (а, е, і); конструкція з пластиною-ресорою товщиною 0,5 мм і довжиною вигину 5 мм (б, є, і); конструкція з пластиною-ресорою товщиною 1 мм і довжиною вигину 5 мм (в, ж, к); конструкція з двома малими пластинами-ресорами товщиною 0,5 мм і довжиною вигину 5 мм (г, з, л); конструкція з пластиною-ресорою товщиною 0,5 мм зі зменшеною довжиною вигину 3 мм (д, у, м)

Результати розрахунку моделей термоелектричних елементів, що підлягали аналізу, представлено в графічній формі на рис. 2-4. Графічно максимальним значенням в діапазонах робочих параметрів відповідає чорний колір (темні області моделей), середнім і мінімальним значенням робочих параметрів – сірий та білий кольори (сірі та світлі області моделей).

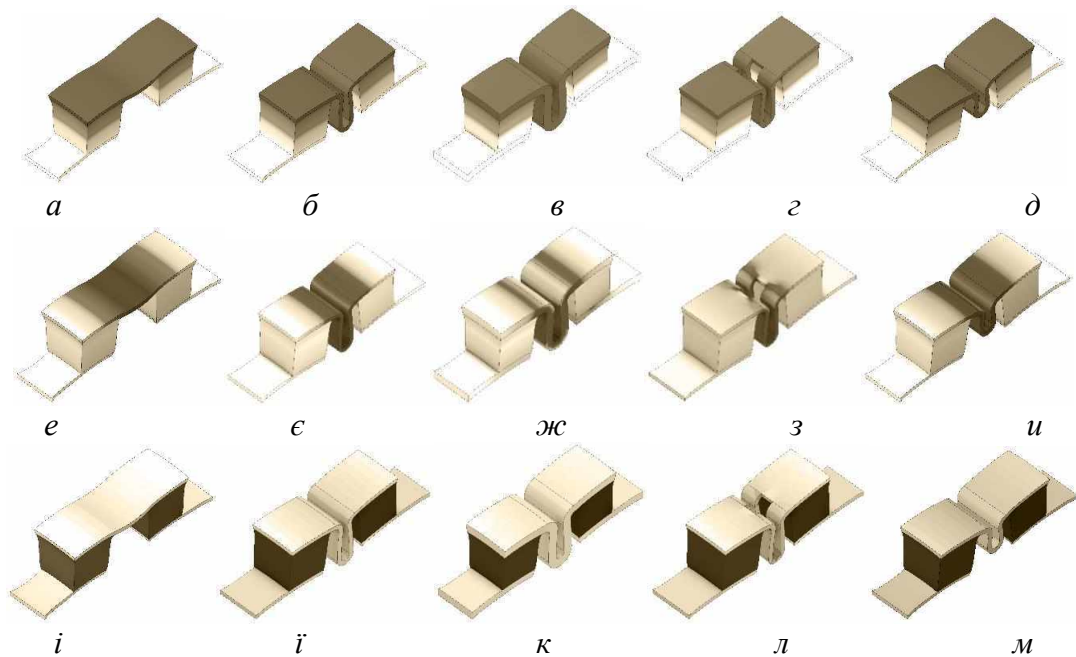


Рисунок 2 – Розподіл температури t [°C] (а-д), густини теплового потоку q [Вт/м²] (е-и) і резистивного нагріву J [Вт/м³] (і-м) по моделям термоелектричних елементів при силі робочого струму $I=5$ А: в діапазоні t [0; 55,7], q [0,1; $1,4 \cdot 10^4$], J [$9,0 \cdot 10^2$; $4,3 \cdot 10^5$] для класичної конструкції (а, е, і); в діапазоні t [0; 56,0], q [0,1; $2,0 \cdot 10^4$], J [$9,0 \cdot 10^2$; $4,3 \cdot 10^5$] для конструкції з пластиною-ресорою товщиною 0,5 мм і довжиною вигину 5 мм (б, є, і); в діапазоні t [0; 55,7], q [0,3; $1,2 \cdot 10^4$], J [$2,1 \cdot 10^2$; $4,3 \cdot 10^5$] для конструкції з пластиною-ресорою товщиною 1 мм і довжиною вигину 5 мм (в, ж, к); в діапазоні t [0; 56,1], q [0,1; $3,4 \cdot 10^4$], J [$1,5 \cdot 10^2$; $4,3 \cdot 10^5$] для конструкції з двома малими пластинами-ресорами товщиною 0,5 мм і довжиною вигину 5 мм (г, з, л); в діапазоні t [0; 55,8], q [0,1; $2,1 \cdot 10^4$], J [$9,0 \cdot 10^2$; $4,3 \cdot 10^5$] для конструкції з пластиною-ресорою товщиною 0,5 мм зі зменшеною довжиною вигину 3 мм (д, и, м)

Температурні максимуми t зафіксовано на верхніх (гарячих) мідних контактних комутаційних пластинах (рис. 2, а-д). Середні значення температури t по моделям термоелектричних елементів були наступними: 25,9 °C (рис. 2, а), 29,5 °C (рис. 2, б), 25,3 °C (рис. 2, в), 30,9 °C (рис. 2, г), 28,5 °C (рис. 2, д). Найбільші значення теплового потоку q зосереджено на верхніх (гарячих) мідних контактних комутаційних пластинах в зонах між напівпровідниками (рис. 2, е-и). Середні значення густини теплового потоку q по моделям термоелектричних елементів становили: 3114 Вт/м² (рис. 2, е), 4380,2 Вт/м² (рис. 2, є), 2857,2 Вт/м² (рис. 2, ж), 5285,1 Вт/м² (рис. 2, з), 4028,5 Вт/м² (рис. 2, и). Максимальні значення резистивного нагріву J спостерігались в напівпровідниках (рис. 2, і-м). Середні значення резистивного нагріву J по моделям термоелектричних елементів були наступними: $3,1 \cdot 10^5$ Вт/м³ (рис. 2, і), $2,9 \cdot 10^5$ Вт/м³ (рис. 2, і), $2,5 \cdot 10^5$ Вт/м³ (рис. 2, к), $2,2 \cdot 10^5$ Вт/м³ (рис. 2, л), $2,9 \cdot 10^5$ Вт/м³ (рис. 2, м).

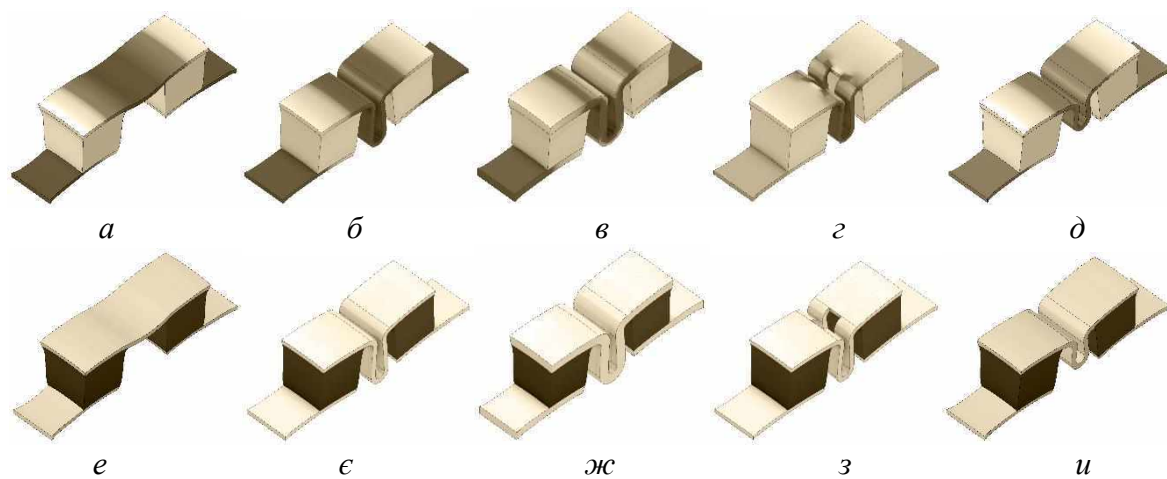


Рисунок 3 – Розподіл густини струму j [А/м²] (а-д) і напруженості електричного поля E [В/м] (е-и) по моделям термоелектричних елементів при силі робочого струму $I=5$ А: в діапазоні j [$7,7 \cdot 10^3$; $2,1 \cdot 10^6$], E [0; 4,5] для класичної конструкції (а, е); в діапазоні j [$8,4 \cdot 10^3$; $2,8 \cdot 10^6$], E [0; 4,5] для конструкції з пластиною-ресорою товщиною 0,5 мм і довжиною вигину 5 мм (б, є); в діапазоні j [$1,0 \cdot 10^3$; $1,7 \cdot 10^6$], E [0; 4,5] для конструкції з пластиною-ресорою товщиною 1 мм і довжиною вигину 5 мм (в, ж); в діапазоні j [$2,8 \cdot 10^3$; $4,8 \cdot 10^6$], E [0; 4,6] для конструкції з двома малими пластинами-ресорами товщиною 0,5 мм і довжиною вигину 5 мм (з, з); в діапазоні j [$8,4 \cdot 10^3$; $2,9 \cdot 10^6$], E [0; 4,5] для конструкції з пластиною-ресорою товщиною 0,5 мм зі зменшеною довжиною вигину 3 мм (д, и)

Найбільші значення густини струму j сконцентровано на верхніх (гарячих) мідних контактних комутаційних пластинах в зонах між напівпровідниками (рис. 3, а-д). Середні значення густини струму j по моделям термоелектричних елементів були наступними: $6,1 \cdot 10^5$ А/м² (рис. 3, а), $7,7 \cdot 10^5$ А/м² (рис. 3, б), $4,6 \cdot 10^5$ А/м² (рис. 3, в), $9,0 \cdot 10^5$ А/м² (рис. 3, з), $7,3 \cdot 10^5$ А/м² (рис. 3, д). Скупчення максимальних значень напруженості електричного поля E було зосереджено в об'ємах напівпровідникових матеріалів (рис. 3, е-и). Середні значення напруженості електричного поля E по моделям термоелектричних елементів були наступними: 2,7 В/м (рис. 3, е), 2,4 В/м (рис. 3, є), 2,3 В/м (рис. 3, ж), 2,3 В/м (рис. 3, з), 2,5 В/м (рис. 3, и).

Пікові значення еквівалентного стресу σ спостерігались на ребрах верхніх граней напівпровідників (рис. 4, а-д). Середні значення еквівалентного стресу σ в напівпровідниках були наступними: $1,3 \cdot 10^7$ Па (рис. 4, а), $1,3 \cdot 10^7$ Па (рис. 4, б), $1,3 \cdot 10^7$ Па (рис. 4, в), $1,3 \cdot 10^7$ Па (рис. 4, з), $1,3 \cdot 10^7$ Па (рис. 4, д). Зони максимальних деформацій ϵ в термоелектричному елементі з класичною конструкцією та термоелектричних елементах з компенсованою комутаційною пластиною розташовані в різних місцях (рис. 4, е-и). Середні деформації ϵ в напівпровідниках були наступними: $2,9 \cdot 10^{-6}$ м (рис. 4, е), $1,9 \cdot 10^{-6}$ м (рис. 4, є), $2,9 \cdot 10^{-6}$ м (рис. 4, ж), $1,9 \cdot 10^{-6}$ м (рис. 4, з), $2,1 \cdot 10^{-6}$ м (рис. 4, и).

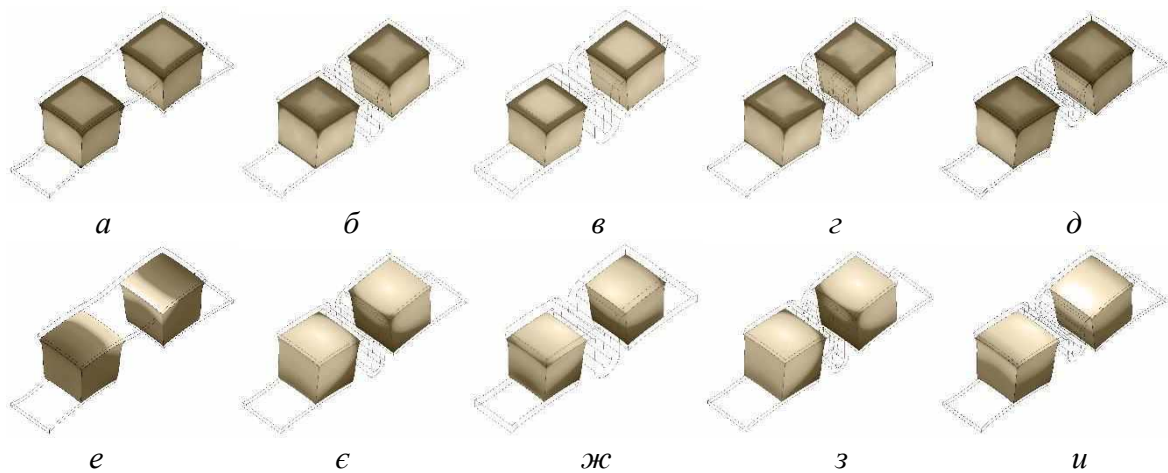


Рисунок 4 – Розподіл еквівалентного стресу σ [Па] (*а-д*) і деформацій ϵ [м] (*е-и*) в напівпровідниках моделей термоелектричних елементів при силі робочого струму $I=5$ А: в діапазоні σ $[1,0 \cdot 10^6; 6,4 \cdot 10^7]$, ϵ $[1,6 \cdot 10^{-6}; 3,5 \cdot 10^{-6}]$ для класичної конструкції (*а, е*); в діапазоні σ $[1,0 \cdot 10^6; 5,9 \cdot 10^7]$, ϵ $[3,7 \cdot 10^{-7}; 4,2 \cdot 10^{-6}]$ для конструкції з пластиною-ресорою товщиною 0,5 мм і довжиною вигину 5 мм (*б, є*); в діапазоні σ $[1,1 \cdot 10^6; 7,3 \cdot 10^7]$, ϵ $[9,6 \cdot 10^{-7}; 3,9 \cdot 10^{-6}]$ для конструкції з пластиною-ресорою товщиною 1 мм і довжиною вигину 5 мм (*в, ж*); в діапазоні σ $[1,0 \cdot 10^6; 5,9 \cdot 10^7]$, ϵ $[1,5 \cdot 10^{-7}; 4,7 \cdot 10^{-6}]$ для конструкції з двома малими пластинами-ресорами товщиною 0,5 мм і довжиною вигину 5 мм (*г, з*); в діапазоні σ $[1,0 \cdot 10^6; 6,0 \cdot 10^7]$, ϵ $[5,4 \cdot 10^{-7}; 3,7 \cdot 10^{-6}]$ для конструкції з пластиною-ресорою товщиною 0,5 мм зі зменшеною довжиною вигину 3 мм (*д, и*)

Отримані результати для термоелектричних елементів дозволяють встановити зони максимального та мінімального розподілу їх основних робочих параметрів. На додаток до розподілу електричних і теплових параметрів в термоелектричних елементах розглянуто механічні параметри – еквівалентний стрес σ та деформації ϵ , які може бути використано для оцінки міцності та довговічності напівпровідників.

На базі п'яти створених моделей термоелектричних елементів шляхом їх з'єднання в П-подібну змійку сформовано п'ять моделей відповідних термоелектричних модулів для пристроїв суднової енергетики. Один з них з класичною конструкцією, а чотири інших з компенсованими контактними комутаційними пластинами (рис. 5). Кожен такий термоелектричний модуль складався з 39 напівпровідникових термопар, містив 20 напівпровідників Р-типу і 20 напівпровідників N-типу. Верхні (гарячі) контактні комутаційні пластини у кількості 20 шт. представляли собою компенсовані комутаційні пластини у формі пластин-ресор (рис. 5, *б, в, г, д*), термоелектричний модуль з класичною конструкцією не містив компенсаційних елементів (компенсаторів). Габаритні розміри термоелектричних модулів (без врахування товщин пластин ізоляційного корпусу) були наступними: $50 \times 59 \times 6$ мм (рис. 5, *а, б, г, д*); $52 \times 62 \times 7$ мм (рис. 5, *в*).

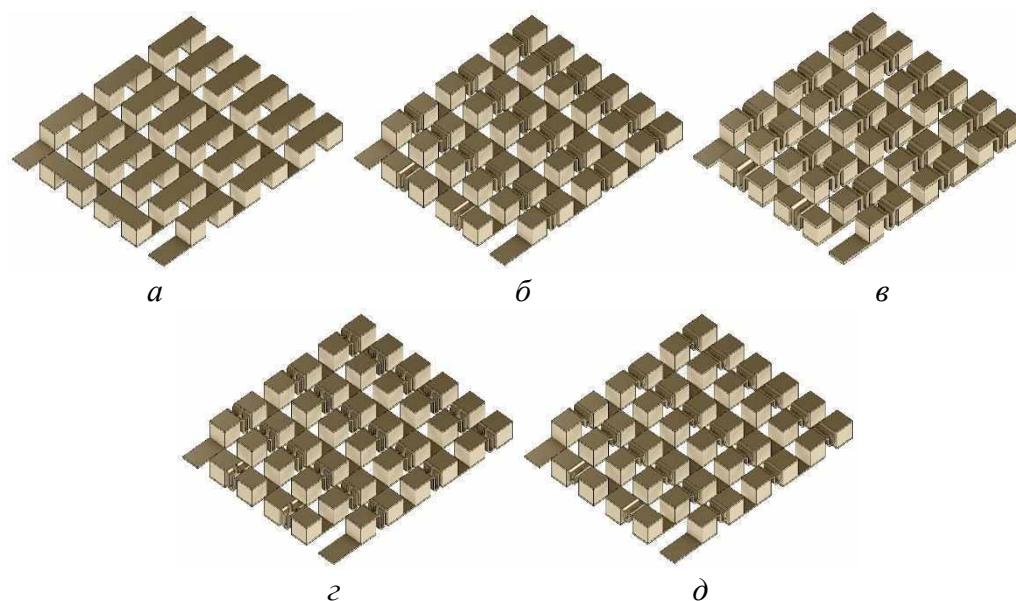


Рисунок 5 – Геометричні моделі термоелектричних модулів: 1 – класична конструкція (а); 2 – конструкція з пластиною-ресорою товщиною 0,5 мм і довжиною вигину 5 мм (б); 3 – конструкція з пластиною-ресорою товщиною 1 мм і довжиною вигину 5 мм (в); 4 – конструкція з двома малими пластинами-ресорами товщиною 0,5 мм і довжиною вигину 5 мм (г); 5 – конструкція з пластиною-ресорою товщиною 0,5 мм зі зменшеною довжиною вигину 3 мм (д)

Кінцево-елементі моделі термоелектричних модулів пристроїв суднової енергетики показано на рис. 6.

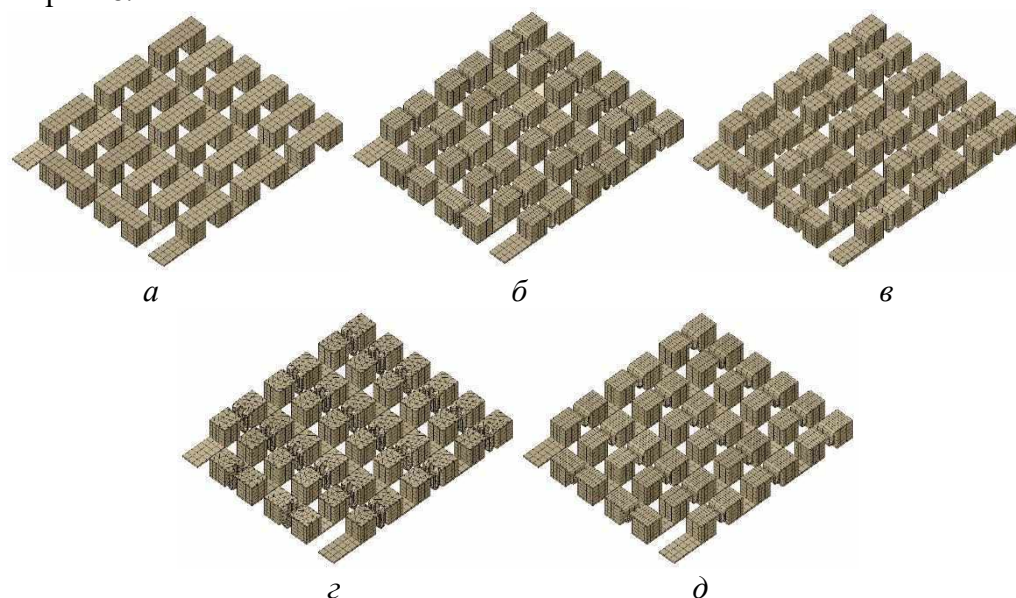


Рисунок 6 – Кінцево-елементні моделі термоелектричних модулів: 1 – класична конструкція (а); 2 – конструкція з пластиною-ресорою товщиною 0,5 мм і довжиною вигину 5 мм (б); 3 – конструкція з пластиною-ресорою товщиною 1 мм і довжиною вигину 5 мм (в); 4 – конструкція з двома малими пластинами-ресорами товщиною 0,5 мм і довжиною вигину 5 мм (г); 5 – конструкція з пластиною-ресорою товщиною 0,5 мм зі зменшеною довжиною вигину 3 мм (д)

Граничні умови при розрахунку термоелектричних модулів: нульовий електричний потенціал $\varphi_0=0$ В на крайній торцевій поверхні останньої контактної комутаційної пластини; нульова температура $t_0=0$ °С на нижніх поверхнях нижніх (холодних) контактних комутаційних пластин; крайні торцеві поверхні першої і останньої контактної комутаційної пластини вважались нерухомими. Налаштування розрахункових коефіцієнтів моделей термоелектричних модулів з компенсованими комутаційними пластинами для пристроїв суднової енергетики подібні до налаштувань попередньо створених відповідних моделей термоелектричних елементів, на базі яких їх було сформовано.

Результати розрахунку термоелектричних модулів з компенсованими комутаційними пластинами для пристроїв суднової енергетики представлено на рис. 7-8.

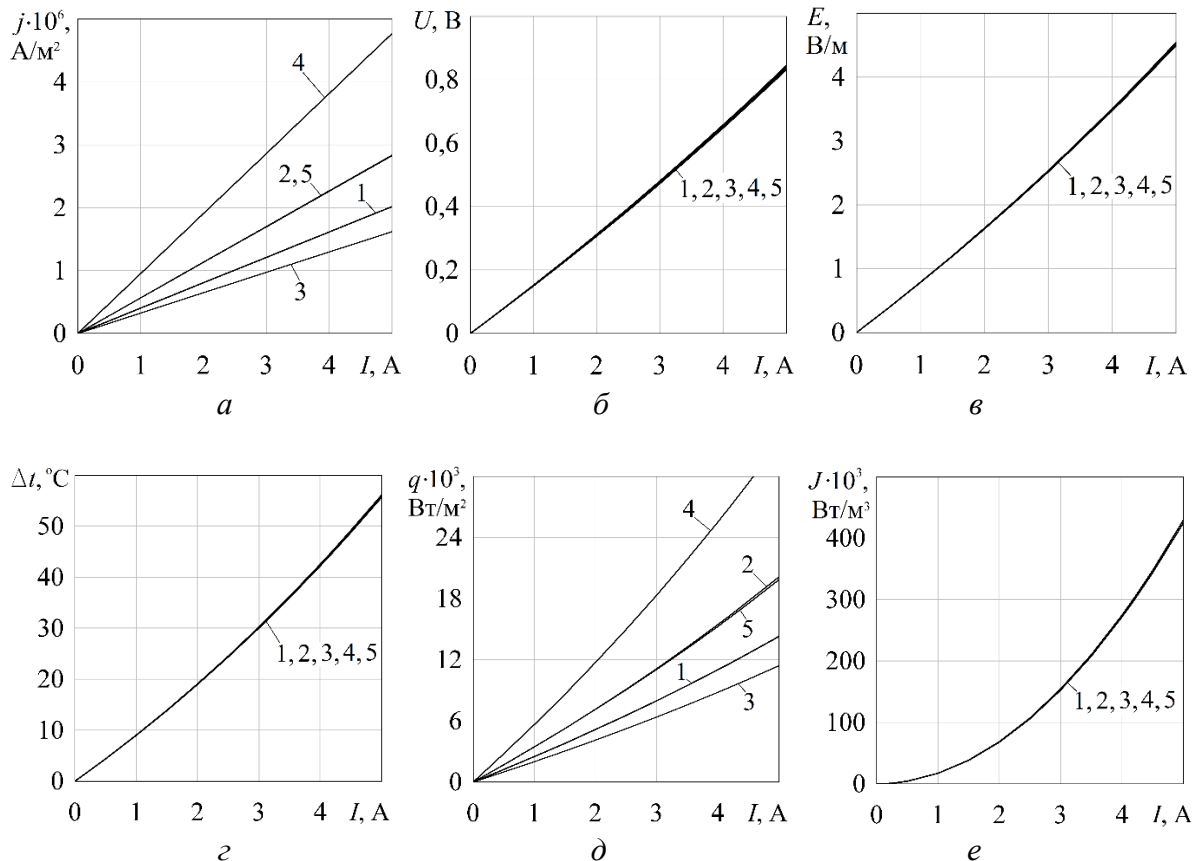


Рисунок 7 – Функціональні залежності $j(I)$, $U(I)$, $E(I)$, $\Delta t(I)$, $q(I)$, $J(I)$ густини струму j (а), напруги U (б), напруженості електричного поля E (в), різниці температур Δt (г), густини теплового потоку q (д) і резистивного нагріву J (е) за моделями термоелектричних модулів від сили робочого струму I : 1 – класична конструкція; 2 – конструкція з пластиною-ресорою товщиною 0,5 мм і довжиною вигину 5 мм; 3 – конструкція з пластиною-ресорою товщиною 1 мм і довжиною вигину 5 мм; 4 – конструкція з двома малими пластинами-ресорами товщиною 0,5 мм і довжиною вигину 5 мм; 5 – конструкція з пластиною-ресорою товщиною 0,5 мм зі зменшеною довжиною вигину 3 мм

Аналіз результатів розрахунку термоелектричних модулів з компенсованими комутаційними пластинами показав, що залежності для напруги U , напруженості електричного поля E , різниці температур Δt між гарячими та холодними контактними комутаційними пластинами, резистивного нагріву J при варіаціях сили струму I від 0 до 5 А практично ідентичні (рис. 7, б, в, г, е). Різними є залежності для густини струму j (рис. 7, а) та густини теплового потоку q (рис. 7, д) за тих же варіацій сили струму I , вони визначаються впливом конкретної конструкції термоелектричного модуля.

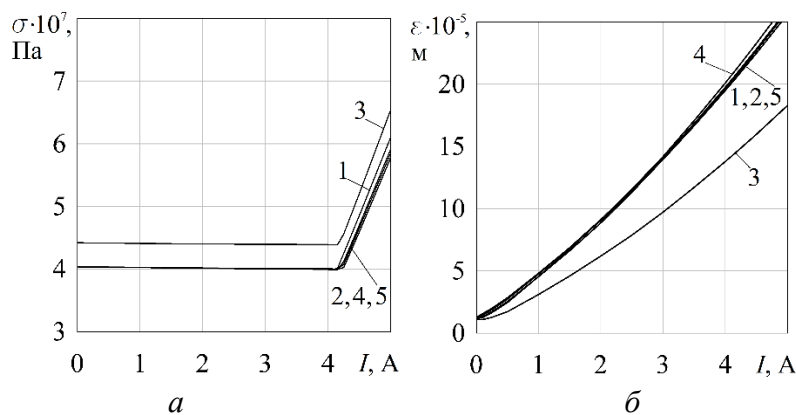


Рисунок 8 – Функціональні залежності $\sigma(I)$, $\varepsilon(I)$ еквівалентного стресу σ (а) та деформацій ε (б) в напівпровідниках моделей термоелектричних модулів від сили робочого струму I :
 1 – класична конструкція; 2 – конструкція з пластиною-ресорою товщиною 0,5 мм і довжиною вигину 5 мм; 3 – конструкція з пластиною-ресорою товщиною 1 мм і довжиною вигину 5 мм; 4 – конструкція з двома малими пластинами-ресорами товщиною 0,5 мм і довжиною вигину 5 мм; 5 – конструкція з пластиною-ресорою товщиною 0,5 мм зі зменшеною довжиною вигину 3 мм

Встановлено, що еквівалентний стрес σ при зміні робочого струму I від 0 до 5 А для конструкцій 1, 2, 4, 5 термоелектричних модулів змінюється однаково (ідентичні криві 1, 2, 4, 5 на рис. 8, а), для конструкції 3 за рахунок збільшення товщини контактних комутаційних пластин з 0,5 мм до 1 мм еквівалентний стрес був збільшеним (крива 3 на рис. 8, а розташована еквідистантно вище за інші криві). Крім того, розрахунки показали, що на графіку рис. 8, а присутня екстремальна точка біля значення сили струму 4,1 А, після якої характер кривих змінюється, а значення еквівалентного стресу σ стрімко зростають. Деформаційні процеси для конструкцій 1, 2, 4, 5 термоелектричних модулів схожі (криві 1, 2, 4, 5 на рис. 8, б), при збільшенні сили струму деформації збільшуються. Для конструкції 3 термоелектричного модуля внаслідок застосування більшої товщини контактної комутаційної пластини значення деформацій менші (крива 3 на рис. 8, б).

Висновок. В роботі на конкретних прикладах проведено змістовне теоретичне дослідження термоелектричних модулів з компенсованими комутаційними пластинами для пристроїв суднової енергетики. З використанням чисельного методу розрахунку встановлено робочі характеристики цих термоелектричних модулів для густини струму j , напруги U , напруженості електричного поля E , різниці температур Δt між гарячими і холодними контактними комутаційними пластинами, густини теплового потоку q , резистивного нагріву J , еквівалентного стресу σ та деформацій ε при зміні робочого струму від 0 до 5 А.

Встановлено, що застосування розглянутих типів компенсаторів у формі пластин-ресор на гарячій стороні в конструкціях термоелектричних модулів надає помітний вплив на термічні напруження при зміні їх товщини. Одночасно для функціональних залежностей еквівалентного стресу σ при зміні сили струму в діапазоні від 0 до 5 А встановлено наявність екстремальної точки біля значення сили струму 4,1 А, після якої характер кривих змінюється, а значення еквівалентного стресу σ стрімко зростають. Застосування компенсованих комутаційних пластин на гарячій стороні термоелектричних модулів не зменшило ефективність термоелектричного ефекту Пельтьє.

ЛІТЕРАТУРА

1. Анатичук Л.И. Термоэлектричество: монография. Термоэлектрические преобразователи энергии: термоэлементы. Элементная база термоэлектричества. Черновцы: Институт термоэлектричества, 2003. Т.2. 376 с.

2. Анатычук Л.И., Семенюк В.А. Оптимальное управление свойствами термоэлектрических материалов и приборов. Институт термоэлектричества. Черновцы: ПРУТ, 1992. 264 с.
3. Анатычук Л.И. Термоэлементы и термоэлектрические устройства: справочник. Киев: Наук. думка, 1979. 768 с.
4. Буряк А.А., Карпова Н.Б. Термоэлектричество: вчера, сегодня, завтра. Кишинев: Штиинца, 1987. 72 с.
5. Вислоух С.П., Волошко О.В., Тимчик Г.С., Філіпова М.В. Комп'ютерне моделювання процесів та систем. Чисельні методи. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, Політехніка, 2021. 228 с.
6. Карвацький А.Я. Метод скінченних елементів у задачах механіки суцільних середовищ. Програмна реалізація та візуалізація результатів. К.: НТУУ «КПІ», 2015. 391 с.
7. Кириченко О.С. Порівняльний аналіз характеристик термоелектричних модулів з різними геометричними формами напівпровідників для електрообладнання транспорту. // Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки. Київ: ТНУ ім. В.І. Вернадського, 2023. Том 34 (73). № 1. С. 256-263. DOI: <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2023.1/39>
8. Кириченко О.С., Білюк І.С., Шарейко Д.Ю., Фоменко А.М., Гаврилов С.О., Бугрім Л.І. Чисельне тримірне моделювання термоелектричного охолоджувача вимірювального електроустаткування автоматичних систем. // Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки. Київ: ТНУ ім. В.І. Вернадського, 2018. Том 29 (68). Ч. 1. № 6. С. 58-63.
9. Кириченко О.С. Критерії формування готовності до професійної діяльності інженерів на основі 3D-моделювання. // Освітологічний дискурс: наукове електронне видання. Київ. 2017. № 3-4 (18-19). С. 296-308.
10. Кириченко О.С. Модернізований термоелектричний елемент з компенсованою комутаційною пластиною для транспортного електрообладнання. // Матеріали III міжнародної науково-практичної конференції «Дніпровські читання – 2021», м. Київ, 8 грудня 2021р. Київ: вид-во Київського інституту водного транспорту імені гетьмана Петра Конашевича-Сагайдачного Державного університету інфраструктури та технологій. 2022. С. 99-101.
11. Костюшко І.А., Любашенко Н.Д., Третиник В.В. Методи обчислень. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2021. 243 с.
12. Леонтьєв В.О., Бевз С.В., Видмиш В.А. Електротехнічні матеріали. Вінниця: ВНТУ, 2013. 122 с.
13. Манасян Ю.Г. Судовые термоэлектрические устройства и установки. Л.: Судостроение, 1968. 285 с.
14. Моделювання стаціонарного теплового поля струмопровідних шин судових ГРЩ / С.В. Тараненко та ін. // Водний транспорт. Збірник наукових праць Державного університету інфраструктури та технологій. К.: ДУІТ, 2021. № 3 (34). С. 13-21.
15. Тараненко С.В., Кириченко О.С., Колесник В.В., Пріступа С.В., Пастух О.В. Термоелектричний елемент з компенсованою комутаційною пластиною для установок і пристроїв судової енергетики. // Матеріали II міжнародної науково-практичної конференції «Дніпровські читання – 2021», м. Київ, 23 грудня 2021р. Київ: вид-во Київського інституту водного транспорту імені гетьмана Петра Конашевича-Сагайдачного Державного університету інфраструктури та технологій. 2022. С. 88-92.
16. Тараненко С.В., Голубева С.М. Аналіз показників надійності судових електродвигунів, що використовуються у сучасному судовому обладнанні. // Водний транспорт, 2021. № 2(33). С. 5-12. doi.org/10.33298/2226-8553/2021.2.33.01

17. Тараненко С.В., Голубєва С.М. Використання «дерева відмов» як логіко-ймовірнісного методу аналізу суднових електродвигунів. // Транспортні системи і технології, 2022, №40, С. 149-158. <https://doi.org/10.32703/2617-9040-2022-40-13>

18. Advanced Thermoelectric Materials for Energy Harvesting Applications Edited by Saim Memon. London: IntechOpen, 2019. 142 p.

19. Prospective directions of scientific research in engineering and agriculture: collective monograph / Hladyshev D., Hnat H. etc. International Science Group. Boston: Primedia eLaunch, 2023. 464 p. Available at: DOI: 10.46299/ISG.2023.MONO.TECH.1

20. H. Julian Goldsmid. Introduction to Thermoelectricity. Second Edition / H. Julian Goldsmid. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2010, 2016. 278p. DOI: 10.1007/978-3-662-49256-7

REFERENCES

1. Anatichek L.I. Termoelektrichestvo: monografiya. Tom 2. Termoelektricheskie preobrazovateli energii: termoelementi. Elementnaya baza termoelektrichestva / L.I. Anatichek. – Chernovtsi: Institut termoelektrichestva, 2003. – 376 s.

2. Anatichek L.I. Optimalnoe upravlenie svoistvami termoelektricheskikh materialov i priborov / L.I. Anatichek, V.A. Semenyuk; Ukraina, Institut termoelektrichestva. – Chernovtsi: PRUT, 1992. – 264 s.

3. Anatichek L.I. Termoelementi i termoelektricheskie ustroystva: spravochnik / L.I. Anatichek. – Kiev: Nauk. dumka, 1979. – 768 s.

4. Buryak A.A. Termoelektrichestvo: vchera, segodnya, zavtra / A.A. Buryak, N.B Karpova. – Kishinev: Shtiintsa, 1987. – 72 s.

5. Vysloukh S.P. Kompiuterne modeliuvannya protsesiv ta system. Chyselni metody / S.P. Vysloukh, O.V. Voloshko, H.S. Tymchyk, M.V. Filipova. – Kyiv: KPI im. Ihoria Sikorskoho, Vyd-vo «Politehnika», 2021. – 228 s.

6. Karvatskyi A.Ia. Metod skinchennykh elementiv u zadachakh mekhaniky sutsilnykh seredovykh. Prohramna realizatsiia ta vizualizatsiia rezultativ [Elektronnyi resurs]. – K.: NTUU «KPI», 2015. – 391 s.

7. Kyrychenko O.S. Porivnialnyi analiz kharakterystyk termoelektrychnykh moduliv z riznymi heometrychnymi formamy napivprovidnykiv dlia elektroobladnannia transportu / O.S. Kyrychenko // Vcheni zapysky Tavriiskoho natsionalnoho universytetu imeni V.I. Vernadskoho. Serii: Tekhnichni nauky. – Kyiv: TNU im. V.I. Vernadskoho, 2023. – Tom 34 (73). № 1. – S. 256-263. DOI: <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2023.1/39>

8. Kyrychenko O.S. Chyselne trymirne modeliuvannya termoelektrychnoho okholodzhuvacha vymyriuvannoho elektroustatkuvannia avtomatychnykh system / O.S. Kyrychenko, I.S. Biliuk, D.Iu. Shareiko, A.M. Fomenko, S.O. Havrylov, L.I. Buhrim // Vcheni zapysky Tavriiskoho natsionalnoho universytetu imeni V.I. Vernadskoho. Serii: Tekhnichni nauky. – Kyiv: TNU im. V.I. Vernadskoho, 2018. – Tom 29 (68). Ch. 1. № 6. – S. 58-63.

9. Kyrychenko O. S. Kryterii formuvannia hotovnosti do profesiinoi diialnosti inzheneriv na osnovi 3D-modeliuvannia. / O.S. Kyrychenko // Osvitlohichnyi dyskurs: naukove elektronne vydannia. – Kyiv. – 2017. – № 3-4 (18-19). – S. 296-308.

10. Kyrychenko O.S. Modernizovanyi termoelektrychnyi element z kompensovanoi komutatsiioiu plastynoiu dlia transportnoho elektroobladnannia / O.S. Kyrychenko // Materialy III mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii «Dniprovski chytannia – 2021» (m. Kyiv, 8 hrudnia 2021 roku). – Kyiv: vyd-vo Kyivskoho instytutu vodnoho transportu imeni hetmana Petra Konashevycha-Sahaidachnoho Derzhavnoho universytetu infrastruktury ta tekhnolohii. – 2022. – S. 99-101.

11. Kostyushko I.A. Metody obchyslen / I.A. Kostyushko, N.D. Liubashenko, V.V. Tretynyk. – Kyiv: KPI im. Ihoria Sikorskoho, Vyd-vo «Politehnika», 2021. – 243 s.

12. Leontiev V.O. Elektrotekhnichni materialy / V.O. Leontieva, S.V. Bezv, V.A. Vydmysh. – Vinnytsia: VNTU, 2013. – 122 s.

13. Manasian Yu.H. Sudovye termoelektrycheskiye ustroystva y ustanovky / Yu.H. Manasian. – L.: Sudostroenye, 1968. – 285 s.
14. Taranenko S.V. Modeliuvannia statsionarnoho teplovoho polia strumoprovodnykh shyn sudnovykh HRShch / S.V. Taranenko, O.S. Kyrychenko, V.V. Kolesnyk, V.I. Kostiuchenko, S.V. Pristupa, O.V. Pastukh, S.M. Golubieva // Vodnyi transport. Zbirnyk naukovykh prats Derzhavnoho universytetu infrastruktury ta tekhnolohii. – K.: DUIT, 2021. – Vypusk 3 (34). – S. 13-21.
15. Taranenko S.V. Termoelektrychnyi element z kompensovanoi komutatsiinoiu plastynoiu dlia ustanovok i prystroiv sudnoyi enerhetyky / S.V. Taranenko, O.S. Kyrychenko, V.V. Kolesnyk, S.V. Pristupa, O.V. Pastukh // Materialy II mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii «Dniprovski chytannia – 2021» (m. Kyiv, 23 hrudnia 2021 roku). – Kyiv: vyd-vo Kyivskoho instytutu vodnoho transportu imeni hetmana Petra Konashevycha-Sahaidachnoho Derzhavnoho universytetu infrastruktury ta tekhnolohii. – 2022. – S. 88-92.
16. Taranenko S.V., Golubieva S.M. Analiz pokaznykiv nadiinosti sudnovykh elektrodvyhuniv, shcho vykorystovuiutsia u suchasnomu sudnovomu obladdanni. // Vodnyi transport, 2021. № 2(33). S. 5-12. doi.org/10.33298/2226-8553/2021.2.33.01
17. Taranenko S.V., Golubieva S.M. Vykorystannia «dereva vidmov» yak lohiko-ymovirnisnoho metodu analizu sudnovykh elektrodvyhuniv. // Transportni systemy i tekhnolohii, 2022, №40, S. 149-158. <https://doi.org/10.32703/2617-9040-2022-40-13>
18. Advanced Thermoelectric Materials for Energy Harvesting Applications Edited by Saim Memon. – London: IntechOpen, 2019. – 142 p.
19. Prospective directions of scientific research in engineering and agriculture: collective monograph / Hladyshch D., Hnat H. – etc. – International Science Group. – Boston: Primedia eLaunch, 2023. – 464 r. Available at: DOI – 10.46299/ISG.2023.MONO.TECH.1
20. H. Julian Goldsmid. Introduction to Thermoelectricity. Second Edition / H. Julian Goldsmid. – Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2010, 2016. – 278 p. DOI: 10.1007/978-3-662-49256-7

Taranenko S.V., Kyrychenko O.S., Pristupa S.V., Golubieva S.M., Pastukh A.V.
THERMOELECTRIC MODULES WITH COMPENSATED CONNECTION PLATES FOR SHIP POWER DEVICES

The article analyzes thermoelectric modules with compensated connection plates for ship power devices. The study is related to topical issues of elimination or reduction to acceptable limits of thermal stresses in thermoelectric modules. Thermal stresses arise in them due to the existing thermal expansions and contractions of electrical materials, which are the result of simultaneous heating and cooling in semiconductors. On the basis of five created models of thermoelectric elements, by connecting them into «the II-shaped snake», five models of the corresponding thermoelectric modules were formed. One module had the classic design, and four others had compensated contact connection plates. Each of these thermoelectric modules consisted of 39 semiconductor thermocouples, containing 20 P-type semiconductors and 20 N-type semiconductors. Upper (hot) contact connection plates in the amount of 20 pcs. were compensated connected plates in the form of spring plates, the thermoelectric module with the classic design did not contain compensating elements (compensators). The overall dimensions of the five thermoelectric modules to be analyzed were as follows: one classic design and three designs with compensators 50×59×6 mm, one design with an increased thickness of the compensator 52×62×7 mm. Based on the results of the calculation, the distribution of the main operating parameters over the volume of thermoelectric elements was obtained. The performance characteristics of thermoelectric modules are constructed and analyzed with a change in the operating current from 0 to 5 A for current density, voltage, electric field strength, temperature difference between hot and cold contact switching plates, heat flux density, resistive stress heating and strain magnitude.

The advantages of using numerical calculation methods for solving field problems of the ship power industry are shown.

Keywords: thermoelectric modules, thermoelectric elements, compensated connection plates, thermal stresses, devices, ship power engineering, water transport.

УДК 656.6

doi.org/10.33298/2226-8553.2023.1.37.24

Ганношина І.М.

ОЦІНКА ФАКТОРІВ РИЗИКУ ЗІТКНЕННЯ СУДЕН З ВИКОРИСТАННЯМ ПОСТУПОВОЇ РЕГРЕСІЇ

Метою даної статті є розробка методу поступової регресії оцінки факторів ризику зіткнення суден, який дозволяє більш точно оцінити ймовірність зіткнення і розробити більш ефективні заходи щодо зниження ризику зіткнення шляхом включення в модель тільки тих факторів ризику зіткнення, які мають статистично значущий зв'язок з ймовірністю зіткнення. Зіткнення кораблів – один з найпоширеніших інцидентів на морі. Вони можуть призвести до серйозних наслідків, таких як травми, загибель людей і забруднення. Важливо провести оцінку ризиків зіткнення, щоб запобігти їм. Оцінка ризику зіткнення суден містить виявлення факторів, які можуть призвести до зіткнення, та оцінку ймовірності таких зіткнень. В останні роки все більшого поширення набувають інтелектуальні методи оцінки ризиків зіткнення. Вони дозволяють проводити більш ефективну і точну оцінку ризиків, ніж традиційні методи. У даній роботі був проведений огляд існуючих досліджень в області оцінки факторів ризику зіткнення. Була формально визначена задача оцінки факторів ризику зіткнення і попередньо оброблені використовувані дані. Основним результатом роботи є розроблена методика поступової регресії та її застосовність для оцінки факторів ризику зіткнення суден. У роботі виявлено та відібрано фактори ризику, які можуть вплинути на ймовірність зіткнення суден, проведено аналіз взаємозв'язку між цими факторами. Результати експерименту показали, що найбільш статистично значущими факторами ризику зіткнення є відстань між кораблями, різниця курсу, швидкість судна, видимість і погодні умови. Найбільший вплив на ймовірність зіткнення надавала відстань між судами, за якою слідувала різниця курсу. Швидкість судна, видимість і погода також впливають, але менше. Ці результати підкреслюють необхідність врахування цих факторів при управлінні судном для зниження ризику зіткнення. В якості пропозицій для майбутніх досліджень рекомендується розширити вибірку даних, проаналізувати дані зіткнень за більш тривалий період часу, проаналізувати дані зіткнень в різних умовах, а також розробити заходи щодо зниження ризику зіткнення суден на основі аналізу ризиків.

Ключові слова: оцінка ризиків, факторний аналіз, метод поступової регресії, оцінка ймовірності зіткнення, інтелектуальні методи, безпека на морі..

Постановка проблеми. Зіткнення суден є одним з найпоширеніших видів морських аварій. Вони можуть привести до серйозних наслідків, аж до травм, загибелі людей і забруднення. Щоб запобігти зіткненням, важливо провести оцінку ризику зіткнення. Оцінка ризику зіткнення суден – це процес, який дозволяє виявити фактори, які можуть призвести до зіткнення, і оцінити ймовірність такого зіткнення.

Оцінка ризику зіткнення може проводитися за допомогою різних методів. Найбільш поширеним методом є аналіз даних зіткнення суден. Цей метод дозволяє виявити найбільш

поширені фактори ризику зіткнення і оцінити їх вплив на ймовірність зіткнення. Ще одним методом оцінки ризиків зіткнень є моделювання. Моделювання дозволяє змодельовати рух кораблів і оцінити ймовірність зіткнення. Моделювання може бути використано для оцінки ефективності різних заходів щодо зниження ризику зіткнення.

Оцінка ризику зіткнення суден є важливим інструментом запобігання зіткненням суден. Він дозволяє виявити фактори, які можуть привести до зіткнення і оцінити ймовірність цього зіткнення. Ця інформація може бути використана для розробки заходів щодо зниження ризику зіткнення і забезпечення безпеки судноплавства.

Останнім часом все більшого поширення набувають методи оцінки ризиків зіткнень суден з використанням інтелектуальних методів. Інтелектуальні методи дозволяють оцінити ризики зіткнень більш ефективно і точно, ніж традиційні методи. До найбільш поширених інтелектуальних методів оцінки ризиків зіткнень відносяться:

1. Машинне навчання, яке дозволяє навчати моделі на даних зіткнення суден і використовувати ці моделі для оцінки ймовірності зіткнення.

2. Глибоке навчання, за допомогою якого здійснюється навчання моделі на великих обсягах даних, а далі ці моделі використовуються для більш точного прогнозування ймовірності зіткнення.

3. Обробка природної мови, яка дозволяє аналізувати текстові дані, такі як розклад суден, прогнози погоди і т. д., і використовувати цю інформацію для оцінки ймовірності зіткнення.

Інтелектуальні методи оцінки ризиків зіткнення суден мають ряд переваг перед традиційними методами. Вони дозволяють оцінити ризики зіткнень більш ефективно, точно і з урахуванням більшої кількості факторів. Це може допомогти зробити навігацію безпечнішою та запобігти зіткненню суден.

У даній роботі розглядається метод поступової регресії – статистичний метод, який може бути використаний для оцінки факторів ризику зіткнення суден в рамках методів машинного навчання. Метод поступової регресії дозволяє додавати до моделі тільки ті фактори, які мають статистично значущу залежність з ймовірністю зіткнення. Наслідком такого підходу є більш точна оцінка ймовірності зіткнення і розробка більш ефективних заходів щодо зниження ризику зіткнення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. На сьогоднішній день значна кількість досліджень присвячена аналізу використання інтелектуальних методів для оцінки ризику зіткнення суден [1 - 9].

Наприклад, у статті [1] зазначено, що ідентифікація та оцінка ймовірності та наслідків морських аварій була ключовим напрямком досліджень у морській галузі. Однак традиційні методи, використовувані для оцінки морського ризику, мають півні недоліки. Враховуючи зростаючу увагу до машинного навчання під наглядом та додатків великих даних для оцінки безпеки в інших дисциплінах, було проведено всебічний огляд навчальної літератури з цієї теми в морській сфері. Огляд містить прогнози виникнення аварій, тяжкості аварій, затримок суден і ризику їх зіткнення. Зокрема, порівнюються мета, методи, набори даних й особливості таких досліджень, щоб краще зрозуміти, як такий підхід може бути застосований на практиці і його відносні переваги. Також було визначено кілька ключових питань у рамках цих тем, таких як доступність та репрезентативність наборів даних та методологічні питання, пов'язані з прозорістю, моделюванням та оцінкою результатів. Хоча багато з цих висновків зосереджені на морській сфері, вони однаково стосуються інших транспортних тем. Таким чином, в роботі [1] висвітлено як нові сфери застосування цих методів для забезпечення безпеки мореплавства, так і ключові проблеми, які потребують подальших досліджень з метою посилення даного методичного підходу. Багато з цих висновків однаково стосуються інших транспортних тем. Таким чином, дана робота висвітлює як нові застосування цих методів для безпеки на морі, так і ключові питання, які вимагають подальших досліджень для посилення цього методологічного підходу.

У статті [2] запропоновано метод оцінки ризиків морських перевезень в Арктиці з використанням байєсівської мережі. Байєсівська мережа – це графічна модель, яка дозволяє визначити взаємозв'язки між різними факторами, що впливають на ризик. Метод був застосований до набору даних про зіткнення кораблів в Арктиці. Результати показують, що льодові умови є основним фактором ризику, за яким слідують навігаційні обмеження та погодні умови. Метод, запропонований в даній статті, може бути використаний для оцінки ризиків морських перевезень в Арктиці і розробки заходів щодо зниження цих ризиків.

У статті [3] запропоновано метод нормалізації даних CAI для аналізу морських аварій. Метод складається з таких етапів: збір даних AIS з різних джерел, очищення та обробка даних AIS, нормалізація даних AIS за допомогою стандартизованого формату, аналіз даних AIS за допомогою статистичних методів. Метод, запропонований у цій статті, був застосований до набору даних про морські втрати, які сталися протягом одного року. Результати показують, що метод дозволяє отримати більш повну картину морських аварій і більш точно оцінити ризики. Метод, запропонований у даній статті, може бути використаний для підвищення безпеки судноплавства і розробки заходів щодо зниження ризиків морських аварій.

Метою статті є розробка методу поступової регресії оцінки факторів ризику зіткнення суден, який дозволяє більш точно оцінити ймовірність зіткнення і розробити більш ефективні заходи щодо зниження ризику зіткнення шляхом включення в модель тільки тих факторів ризику зіткнення, які мають статистично значущий зв'язок з ймовірністю зіткнення.

Викладення основного матеріалу дослідження. У даній роботі завдання оцінки факторів ризику зіткнення суден розглядається як завдання визначення ймовірності зіткнення двох і більше суден.

Формально ймовірність зіткнення суден можна визначити як

$$P(C) = f(A, B, C, D, E, \dots), \quad (1)$$

де $P(C)$ – ймовірність зіткнення;

$A, B, C, D, E, \dots$ – фактори ризику зіткнення;

f – функція, що визначає залежність ймовірності зіткнення від факторів ризику.

У той же час дані, які можуть бути використані для оцінки факторів ризику зіткнень, містять такі види інформації:

- 1) відомості про судна;
- 2) інформація про навколишнє середовище;
- 3) відомості про людський фактор.

Дані повинні бути попередньо оброблені, перш ніж вони можуть бути використані для оцінки факторів ризику зіткнення. До попередньої обробки даних входять такі завдання:

- очищення даних від помилок;
- перетворення даних в один формат;
- нормалізація даних;
- підбір функцій.

Після попередньої обробки даних вони можуть бути використані для оцінки факторів ризику зіткнення суден.

Метод поступової регресії – це статистичний метод, який може бути використаний для оцінки факторів ризику зіткнення суден [10, 11]. Метод поступової регресії дозволяє використовувати у моделі тільки ті фактори, які мають статистично значущу залежність з ймовірністю зіткнення. За допомогою такого підходу можна більш точно оцінити ймовірність зіткнення і розробити більш ефективні заходи щодо зниження ризику зіткнення.

Метод поступової регресії працює таким чином (рис. 1):

1. На першому кроці у модель включають всі фактори ризику зіткнення

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_n), \quad (2)$$

де $x_1, x_2, \dots, x_n$ – фактори ризику зіткнення.

2. На кожному подальшому етапі оцінюється внесок кожного фактору в ймовірність зіткнення

$$\Delta R^2 = R^2(x_1, x_2, \dots, x_{n-1}) - R^2(x_1, x_2, \dots, x_n), \quad (3)$$

де R^2 – коефіцієнт детермінації.

3. Коефіцієнт з найменшим внеском видаляється з моделі:

$$x_i = \operatorname{argmin}_i \Delta R^2. \quad (4)$$

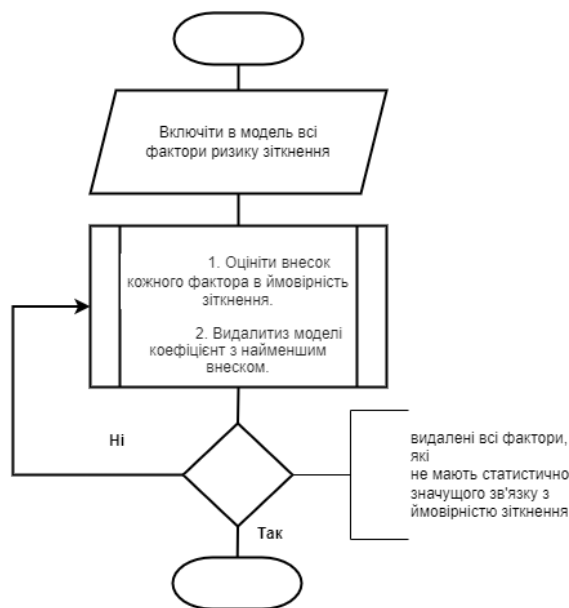


Рисунок 1 – Узагальнена структура методу поступової регресії

Процес повторюється до тих пір, поки з моделі не будуть видалені всі фактори, які не мають статистично значущої залежності з ймовірністю зіткнення.

Метод поступової регресії має такі переваги:

1. Більш точна оцінка ймовірності зіткнення у порівнянні з традиційними методами регресії.

2. Простота, тобто метод поступової регресії легко зрозуміти та використовувати.

3. Гнучкість: метод поступової регресії може бути використаний для оцінки факторів ризику зіткнення в різних умовах.

Однак метод поступової регресії має певні обмеження:

1. Вимагає великого обсягу для точної оцінки ймовірності зіткнення.

2. Чутливість до викидів у даних.

3. Можливі труднощі з інтерпретацією результатів.

Незважаючи на свої обмеження, метод поступової регресії є потужним статистичним методом, який може бути використаний для оцінки факторів ризику зіткнення. Метод поступової регресії дозволяє отримати більш точну оцінку ймовірності зіткнення і розробити більш ефективні заходи щодо зниження ризику зіткнення.

Методика виявлення та вибору факторів ризику, які можуть вплинути на ймовірність зіткнення судна, містить такі кроки:

1. Визначення всіх потенційних факторів ризику зіткнення на основі аналізу дані про зіткнення суден, а також консультацій з фахівцями в області безпеки на морі.

2. Оцінка впливу кожного фактору ризику на ймовірність зіткнення за допомогою статистичних методів, наприклад методу як регресійного аналізу.

3. Вибір факторів ризику, які мають найбільший вплив на ймовірність зіткнення. Ці фактори будуть використані для розробки заходів щодо зниження ризику зіткнення.

Розглянемо деякі приклади факторів ризику, які можуть вплинути на ймовірність зіткнення судна:

1. Групові фактори F_1 , пов'язані з судном: тип і розмір судна, його потужність, стан і екіпаж.

2. Групові фактори F_2 , екологічні: погодні умови, видимість, навігаційні умови, рух інших суден.

3. Групові фактори F_3 , пов'язані з людським фактором: помилки капітана, помилки членів екіпажу, втома, зловживання психоактивними речовинами тощо.

Виконаємо докладний опис аналізу обраних факторів і їх взаємозв'язку.

Групові фактори F_1 , пов'язані з судном:

1. Тип судна може мати великий вплив на ймовірність зіткнення. Наприклад, танкери більш схильні до зіткнень, ніж інші типи суден через велику довжину і ширину.

2. Розмір судна також може вплинути на ймовірність зіткнення. Більші судна більш схильні до зіткнень, ніж менші через їх більшу масу і більшу інерцію.

3. Потужність судна також впливає на ймовірність зіткнення. Більш потужні судна більш схильні до зіткнень, ніж менш потужні через їх більшу швидкість і більшу здатність швидко змінювати курс.

4. Стан судна безпосередньо може вплинути на ймовірність зіткнення. Судно, яке знаходиться в поганому стані, більш схильне до зіткнень, у порівнянні з судном, яке знаходиться в хорошому стані.

5. Екіпаж судна може є одним з факторів, що впливає на ймовірність зіткнення. Екіпаж, який є некваліфікованим або недосвідченим, більш схильний до помилок, які можуть призвести до зіткнення.

Групові фактори F_2 , екологічні:

1. Погодні умови (наприклад, туман, дощ і сніг тощо) можуть погіршити видимість і ускладнити навігацію, що може призвести до зіткнень.

2. Видимість є ключовою умовою, що також може впливати на ймовірність зіткнення. Погана видимість може ускладнити спостереження за іншими судами, що може привести до зіткнень.

3. Навігаційні умови, наприклад, вузькі проходи або складний рельєф місцевості, можуть ускладнити маневрування суден, що може привести до зіткнень.

4. Рух інших суден також необхідно враховувати при оцінці ймовірності зіткнення. Наприклад, судно, яке рухається занадто швидко або в небезпечному напрямку, більш схильне до зіткнень.

Групові фактори F_3 , пов'язані з людським фактором:

1. Помилки капітана можуть суттєвим чином впливати на ймовірність зіткнення. Наприклад, капітан, який не звертає уваги на інші судна, більш схильний до зіткнень.

2. Помилки членів екіпажу, особливо тих, хто стежить за навігацією, можуть привести до зіткнень.

3. Втома. Капітан або члени екіпажу, які втомилися, більш схильні до помилок, які можуть привести до зіткнень.

4. Зловживання психоактивними речовинами з боку капітана або членів екіпажу можуть призвести до помилок, наслідком яких становиться зіткнення.

Фактори, пов'язані з судном, навколишнім середовищем і людським фактором, можуть взаємодіяти один з одним, що може ще більше збільшити ймовірність зіткнення. Наприклад, судно, яке рухається в тумані, більш схильне до зіткнень, ніж судно, яке рухається в гарну погоду.

Практичний експеримент проводився за допомогою комп'ютерного моделювання руху суден назустріч один одному. При цьому було визначено, що судна оснащені системами автоматичного запобігання зіткнень (AIS), які збирали дані про місцезнаходження, курс і швидкість суден. Дані були зібрані протягом однієї години. Вибірка даних складалася з 1 000 записів. Кожен запис містив дані про розташування, курс і швидкість двох суден, а також інформацію про погоду і видимість. Метод поступової регресії використовувався для оцінки факторів ризику зіткнення.

В ході аналізу результатів експерименту встановлено, що найбільш статистично значущу залежність від ймовірності зіткнення мають такі фактори ризику зіткнення: відстань між суднами, різниця їх курсів, швидкість судна, видимість і погода. Відстань між суднами найбільш сильно впливала на ймовірність зіткнення. Другим найбільшим впливом була різниця в курсах суден. Швидкість, видимість і погода суден також вплинули на ймовірність зіткнення, але їх вплив був дещо меншим.

Таким чином, отримані результати показують, що відстань між суднами, різниця їх курсів, швидкість суден, видимість і погода є основними факторами ризику зіткнення суден. Для зниження ймовірності зіткнення необхідно враховувати ці фактори при управлінні суднами та моделюванні ситуацій.

Висновки. Зіткнення суден є одним з найпоширеніших видів морських аварій. Вони можуть привести до серйозних наслідків, аж до травм, загибелі людей і забруднення. Для запобігання зіткненням важливо провести оцінку ризику зіткнення. Метод поступової регресії є потужним статистичним методом, який може бути використаний для оцінки факторів ризику зіткнення суден. Метод поступової регресії дозволяє включати в модель тільки ті фактори ризику зіткнення, які мають статистично значущу залежність з ймовірністю зіткнення. Це дозволяє більш точно оцінити ймовірність зіткнення і розробити більш ефективні заходи щодо зниження ризику зіткнення.

В якості пропозицій для майбутніх досліджень виділяємо таке: розширення вибірки даних для аналізу; аналіз даних про зіткнення суден, зібраних за більш тривалий період часу та в різних умовах; розробка заходів щодо зниження ризику зіткнення суден з урахуванням результатів аналізу факторів ризику зіткнення.

ЛІТЕРАТУРА

1. Andrew Rawson & Mario Brito (2023) A survey of the opportunities and challenges of supervised machine learning in maritime risk analysis, *Transport Reviews*, 43:1, 108-130, DOI: 10.1080/01441647.2022.2036864.
2. Baksh, A., Abbassi, R., Garaniya, V., & Khan, F. (2018). Marine transportation risk assessment using Bayesian Network: Application to Arctic waters. *Ocean Engineering*, 159, 422–436. doi:10.1016/j.oceaneng.2018.04.024 .
3. Bye, R., & Almklov, P. (2019). Normalization of maritime accident data using AIS. *Marine Policy*, 109. doi:10.1016/j.marpol.2019.103675.
4. Bye, R., & Aalberg, A. (2018). Maritime navigation accidents and risk indicators: An exploratory statistical analysis using AIS data and accident reports. *Reliability Engineering and System Safety*, 176, 174–186. doi:10.1016/j.ress.2018.03.033.
5. Chai, T., Xue, H., Sun, K., & Weng, J. (2020). Ship accident prediction based on improved quantum-behaved PSO-LSSVM. *Mathematical Problems in Engineering*, 2020. doi:10.1155/2020/8823322.

6. Chen, C., Chen, X., Ma, F., Zeng, X., & Wang, J. (2019). A knowledge-free path planning approach for smart ships based on reinforcement learning. *Ocean Engineering*, 189. doi:10.1016/j.oceaneng.2019.106299 .
7. Chen, P., Huang, Y., Mou, J., & van Gelder, P. (2019). Probabilistic risk analysis for ship-ship collision: State of the art. *Safety Science*, 117, 108–122. doi:10.1016/j.ssci.2019.04.014.
8. Coraddu, A., Oneto, L., Maya, B., & Kurt, R. (2020). Determining the most influential human factors in maritime accidents: A data-driven approach. *Ocean Engineering*, 211. doi:10.1016/j.oceaneng.2020.107588.
- 9 Du, L., Goerlandt, F., & Kujala, P. (2020). Review and analysis of methods for assessing maritime waterway risk based on non-accident critical events detected from AIS data. *Reliability Engineering and System Safety*, 200. doi:10.1016/j.res.2020.106933.
10. Murphy, K. P. (2012). *Machine learning: A probabilistic perspective*. MIT Press.
11. Tibshirani, R., Hastie, T., Friedman, J., & Tibshirani, R. (2017). *The elements of statistical learning*, 2nd edition. Springer.

REFERENCES

1. Andrew Rawson & Mario Brito (2023) A survey of the opportunities and challenges of supervised machine learning in maritime risk analysis, *Transport Reviews*, 43:1, 108-130, DOI: 10.1080/01441647.2022.2036864.
2. Baksh, A., Abbassi, R., Garaniya, V., & Khan, F. (2018). Marine transportation risk assessment using Bayesian Network: Application to Arctic waters. *Ocean Engineering*, 159, 422–436. doi:10.1016/j.oceaneng.2018.04.024 .
3. Bye, R., & Almklov, P. (2019). Normalization of maritime accident data using AIS. *Marine Policy*, 109. doi:10.1016/j.marpol.2019.103675.
4. Bye, R., & Aalberg, A. (2018). Maritime navigation accidents and risk indicators: An exploratory statistical analysis using AIS data and accident reports. *Reliability Engineering and System Safety*, 176, 174–186. doi:10.1016/j.res.2018.03.033.
5. Chai, T., Xue, H., Sun, K., & Weng, J. (2020). Ship accident prediction based on improved quantum-behaved PSO-LSSVM. *Mathematical Problems in Engineering*, 2020. doi:10.1155/2020/8823322.
6. Chen, C., Chen, X., Ma, F., Zeng, X., & Wang, J. (2019). A knowledge-free path planning approach for smart ships based on reinforcement learning. *Ocean Engineering*, 189. doi:10.1016/j.oceaneng.2019.106299 .
7. Chen, P., Huang, Y., Mou, J., & van Gelder, P. (2019). Probabilistic risk analysis for ship-ship collision: State of the art. *Safety Science*, 117, 108–122. doi:10.1016/j.ssci.2019.04.014.
8. Coraddu, A., Oneto, L., Maya, B., & Kurt, R. (2020). Determining the most influential human factors in maritime accidents: A data-driven approach. *Ocean Engineering*, 211. doi:10.1016/j.oceaneng.2020.107588.
- 9 Du, L., Goerlandt, F., & Kujala, P. (2020). Review and analysis of methods for assessing maritime waterway risk based on non-accident critical events detected from AIS data. *Reliability Engineering and System Safety*, 200. doi:10.1016/j.res.2020.106933.
10. Murphy, K. P. (2012). *Machine learning: A probabilistic perspective*. MIT Press.
11. Tibshirani, R., Hastie, T., Friedman, J., & Tibshirani, R. (2017). *The elements of statistical learning*, 2nd edition. Springer.

Hannoshyna I.

ASSESSMENT OF VESSEL COLLISION RISK FACTORS USING GRADUAL REGRESSION

The purpose of this article is to develop a method of gradual regression for assessing ship collision risk factors, which allows for a more accurate assessment of the probability of collision

and the development of more effective measures to reduce the risk of collision by including in the model only those collision risk factors that have a statistically significant relationship with the probability of collision. Ship collisions are one of the most common incidents at sea. They can lead to serious consequences such as injuries, loss of life and pollution. It is important to conduct a collision risk assessment to prevent them. A ship collision risk assessment involves identifying factors that could lead to a collision and assessing the likelihood of such collisions. In recent years, intelligent methods of collision risk assessment have become increasingly common. They allow for a more efficient and accurate risk assessment than traditional methods. This paper reviews existing research in the field of collision risk assessment. The task of assessing collision risk factors was formally defined and the data used was pre-processed. The main result of the work is the developed methodology of incremental regression and its applicability for assessing collision risk factors. The paper identifies and selects risk factors that may affect the probability of a ship collision and analyses the relationship between these factors. The results of the experiment showed that the most statistically significant risk factors of a collision are the distance between ships, course difference, ship speed, visibility, and weather conditions. The distance between ships had the greatest impact on the probability of a collision, followed by the difference in course. Vessel speed, visibility and weather also had an impact, but to a lesser extent. These results highlight the need to consider these factors when managing a vessel to reduce the risk of collision. As suggestions for future research, it is recommended to expand the data sample, analyse collision data for a longer period, analyse collision data in different conditions, and develop measures to reduce the risk of ship collision based on risk analysis.

Keywords: *risk assessment, factor analysis, incremental regression method, collision probability assessment, intelligent methods, maritime safety.*

Лопатюк С.П.

ВІРТУАЛЬНІ ЛАБОРАТОРНІ РОБОТИ З КОМП'ЮТЕРНОЇ ГРАФІКИ ТА 3D-МОДЕЛЮВАННЯ

Дистанційна форма навчання вимагає від викладача особливого творчого підходу до організації навчального процесу, постійного ознайомлення з відповідними інноваційними технологіям, які дозволяють відтворювати реальні об'єкти в віртуальному середовищі.

В статті представлена методика організації віртуального лабораторного практикуму з комп'ютерної графіки та 3D - моделювання в середовищі системи автоматизованого проектування AutoCAD на базі платформи дистанційного навчання Zoom. Придільється увага візуалізації етапів створення моделі просторового об'єкта та його геометричних особливостей.

Ключові слова: комп'ютерна графіка, 3D – моделювання, система AutoCAD, віртуальні лабораторні роботи.

Постановка проблеми. Моделювання трьохвимірних об'єктів складної технічної форми вимагає значних практичних навичок побудови аксонометричних проєкцій на основі відповідних проєкційних креслень. Зазвичай навички набуваються і розвиваються при виконанні курсу лабораторних робіт в обраній системі автоматизованого проектування. Дистанційна форма навчання обумовлює перегляд методики проведення лабораторних робіт з технічних дисциплін і, зокрема, з такої загальнотехнічної дисципліни як інженерна графіка. Інноваційні комп'ютерні технології надають різні можливості для віртуалізації процесу створення технічних креслень і моделей просторових об'єктів[1-3, 5-7]. Проблемою є створення зрозумілої, зручної методики виконання лабораторних робіт на базі обраної САПР в режимі он-лайн. Пропонується методика лабораторного практикуму з комп'ютерної графіки та 3D- моделювання в середовищі AutoCAD.

Вступ. Під терміном «віртуальний» будемо розуміти об'єкт розумової діяльності до відтворення його в реальному вигляді [1-3]. Тобто проєкційне креслення – прототип моделі просторового об'єкта складної технічної форми, сама електронна модель є віртуальними до моменту виготовлення об'єкта в реальному вигляді, наприклад, засобами 3D-друку. І самий розумовий процес створення моделі реального просторового предмета, перевірки його відповідності заданим геометричним параметрам є віртуальним. Можна стверджувати, що алгоритми інженерної графіки в умовах очного навчання, а тим більше в умовах дистанційного навчання, є віртуальними. Різниця полягає тільки в організації процесу навчання, більш активному залученні сучасних технічних засобів і інноваційних технологій проектування.

Мета дослідження полягає в обґрунтуванні та викладенні методики організації віртуальних лабораторних робіт з дисципліни «Комп'ютерна графіка та 3D- моделювання» для студентів спеціальності «Управління судновими технічними системами і комплексами» (Морський та внутрішній водний транспорт).

Основні матеріали дослідження. Лабораторні роботи з комп'ютерної графіки і 3D-моделювання виконуються на основі мережевої технології навчання, тобто тільки за допомогою комп'ютера в режимі он-лайн у віртуальному просторі. В якості системи автоматизованого проектування обрана широко відома і поширена система AutoCAD.

Для забезпечення виконання віртуальних лабораторних робіт використовується платформа Zoom, що дозволяє організовувати групові заняття он-лайн, електронні методичні вказівки до лабораторних робіт, засоби перевірки підготовленості до виконання лабораторної роботи, вимоги до оформлення звіту про виконання роботи.

Курс лабораторних робіт розпочинається з послідовного ознайомлення з командами створення елементарних тривимірних об'єктів в САПР AutoCAD, способами завдання форми об'ємних елементів, операціями моделювання [4, 8-10]. Побудова і редагуванням зображень просторових об'єктів завершується створенням електронних трьохвимірних моделей в форматах, придатних для 3D-друку.

Метою навчальної дисципліни «Комп'ютерна графіка та 3D -моделювання» є:

- надати знання щодо сучасних методів і засобів, що використовуються при об'ємному моделюванні об'єктів в машинобудуванні;
- надати уміння і навички в використанні систем автоматизованого проектування при розробці моделей деталей і складальних одиниць, а також для отримання конструкторської документації за допомогою САПР AutoCAD;
- поглибити знання щодо сучасних методів 3D-друку.

Ознайомлення з методикою виконання певної лабораторної роботи здійснюється викладачем у вигляді презентації (в середовищі Microsoft PowerPoint) перед початком виконання, при чому презентація є доступною для студента, разом з методичними вказівками, з метою самостійного опрацювання.

Організацію виконання лабораторної роботи за темою «Побудова аксонометричної проекції за двома заданими видами. Індивідуальне завдання за варіантами» (4 години) наведено нижче [9].

Студенту пропонується надати відповіді на такі запитання:

1. Що таке каркасні, поверхневі і твердотільні моделі просторових об'єктів?
2. Які команди AutoCAD використовуються для побудови 3D-тіла з плоского контуру?
3. Які стилі моделей просторових об'єктів використовуються для їх візуалізації?
4. Які команди AutoCAD використовуються для побудови вигляду зверху, спереду і зліва?
5. Які команди використовуються для редагування твердотільних моделей?

За обраним варіантом індивідуального завдання створюється двовимірне креслення-прототип моделі просторового об'єкта складного форми (рис. 1):

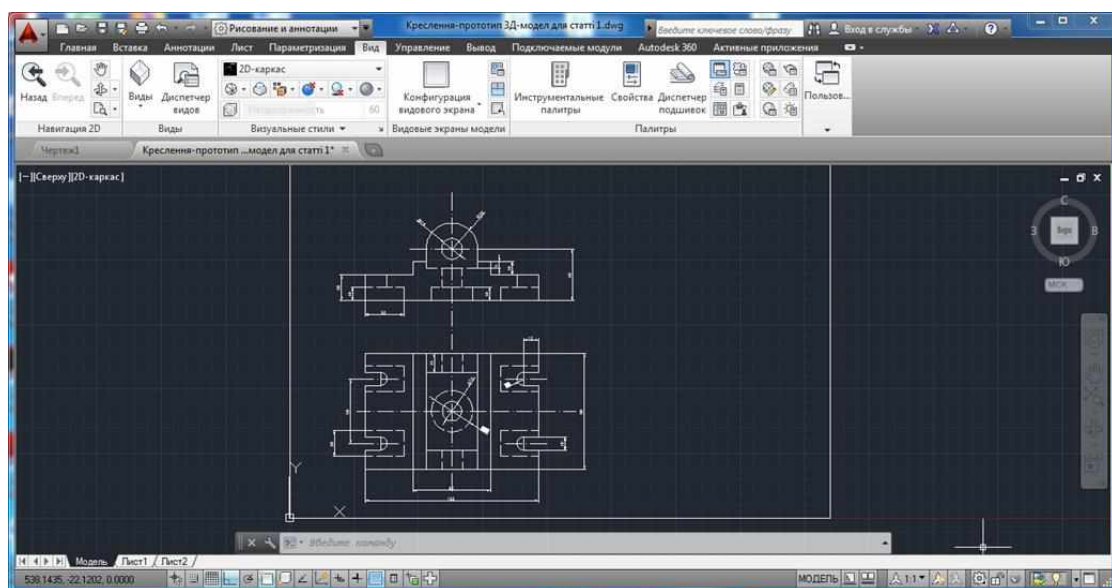


Рисунок 1 – Креслення-прототип трьохвимірного об'єкта

За допомогою команд «Видавлювання», «Вигляд» покроково створюється каркасна основа просторового об'єкта з заданими геометричними елементами на місці головного вигляду (рис.2). Створення вирізів і отворів виконується за допомогою команд редагування 3D-об'єктів.

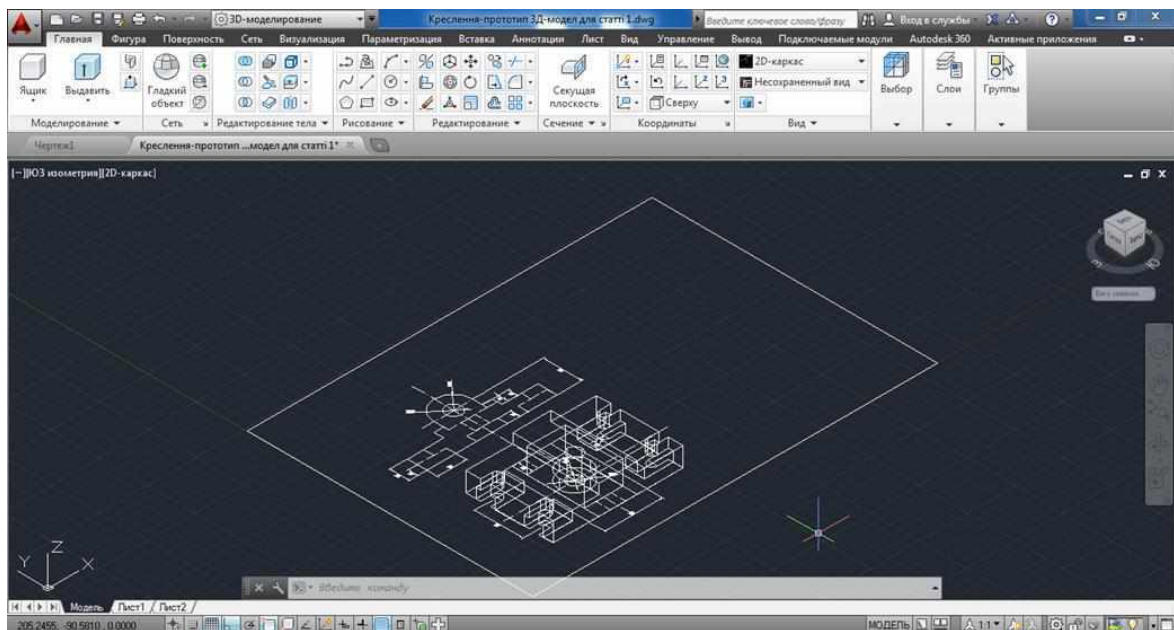


Рисунок 2 – Каркасна основа об'єкта на вигляді зверху

Для перевірки правильності побудови доцільно скористатись зміною стилю візуалізації. Перевірку рекомендується здійснювати для кожного кроку редагування моделі з метою виявлення можливих помилок. Бажано також користатися командами зміни вигляду, щоб перевірити геометричні особливості просторового об'єкта. Для прикладу використаний стиль «Реалістичний» (рис.3):

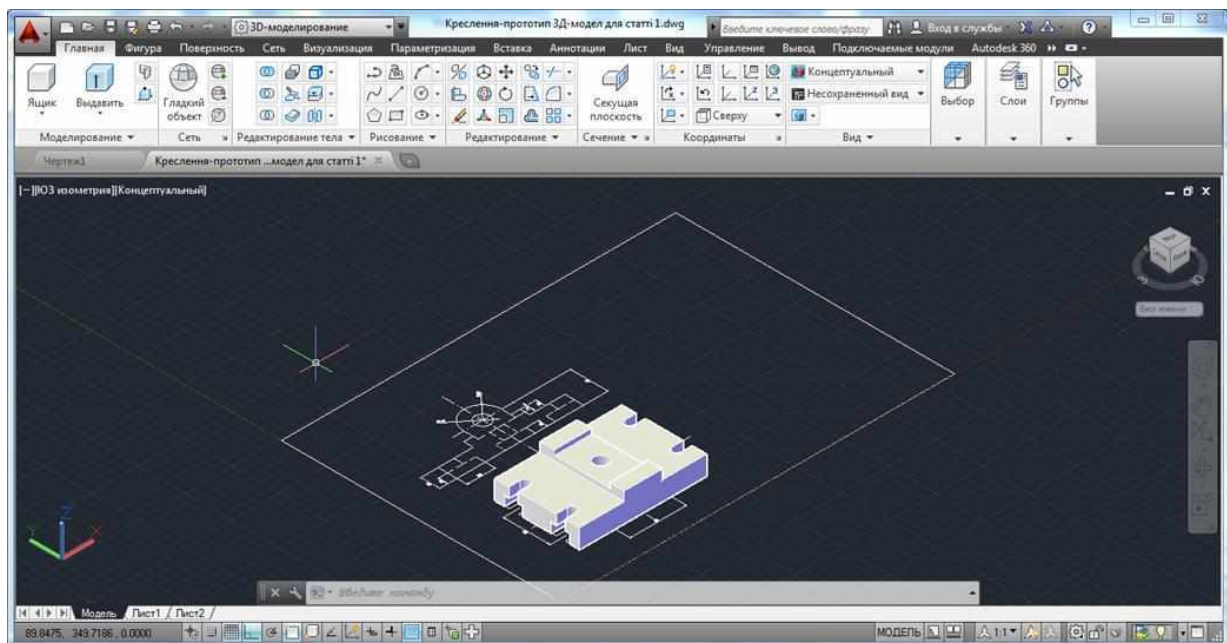


Рисунок 3 – Основа просторового об'єкта в реалістичному стилі

Відсутні геометричні елементи просторового об'єкта добудовуються на вигляді спереду (рис.4). Слід зауважити, що додаткове залучання для побудови моделі іншого вигляду

залежить від геометричних особливостей цього об'єкта. Побудова вимагає від студента хорошого просторового уявлення і навичок, здобутих при вивченні дисципліни «Нарисна геометрія та інженерна графіка». Послідовність кроків, використання відповідних команд залежать від геометричної інтуїції проєктувальника. На рисунку 4 представлений етап побудови елемента просторового об'єкта складної форми з використанням вигляду спереду двовимірного креслення-прототипу.

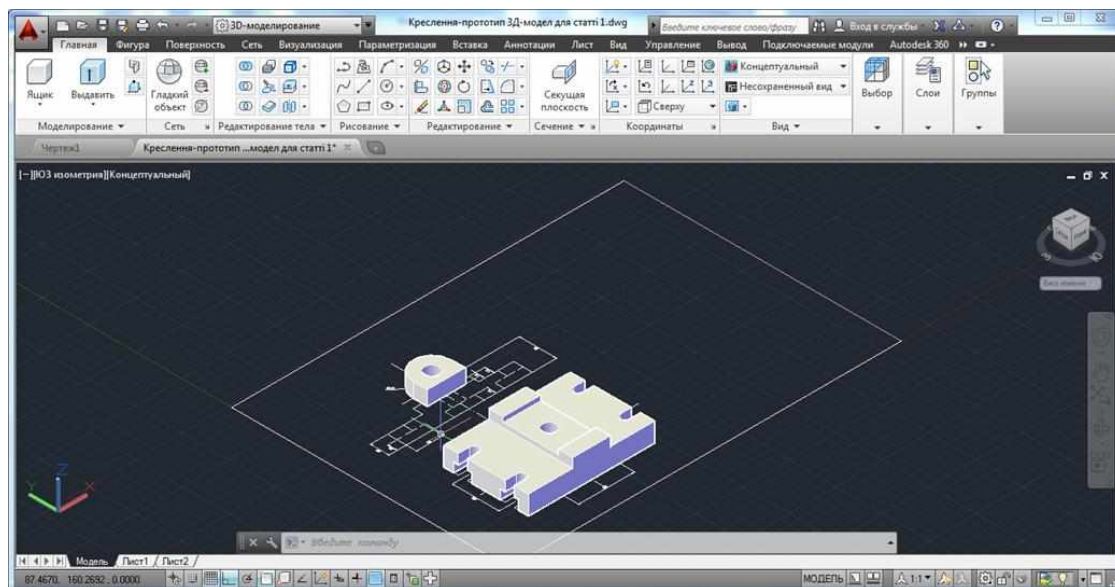


Рисунок 4 – Побудова просторового елемента на вигляді спереду

За допомогою команд редагування («повернути», «перенести», «дзеркально відобразити», «об'єднати») добудовується кінцева твердотільна модель заданого просторового об'єкта складної форми (рисунок 5).

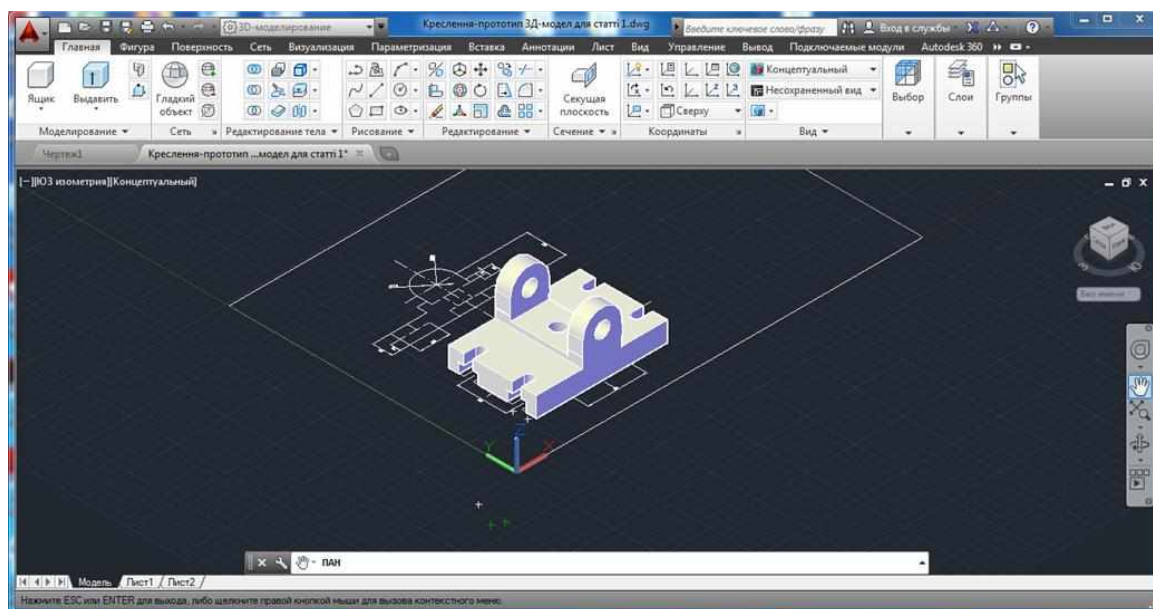


Рисунок 5 – Твердотільна модель просторового об'єкта

Особливості геометрії досліджуваного просторового об'єкта в інженерній графіці прийнято демонструвати за допомогою розрізів. В AutoCAD є можливості автоматичної

побудови розрізу твердотільного об'єкта заданою площиною (площинами) і видалення частини, що заважає наочності відображення внутрішньої структури (рис.6 і рис.7). Послідовні виконання відповідних команд допомагають студенту краще уявити геометричні елементи побудованого об'єкта.

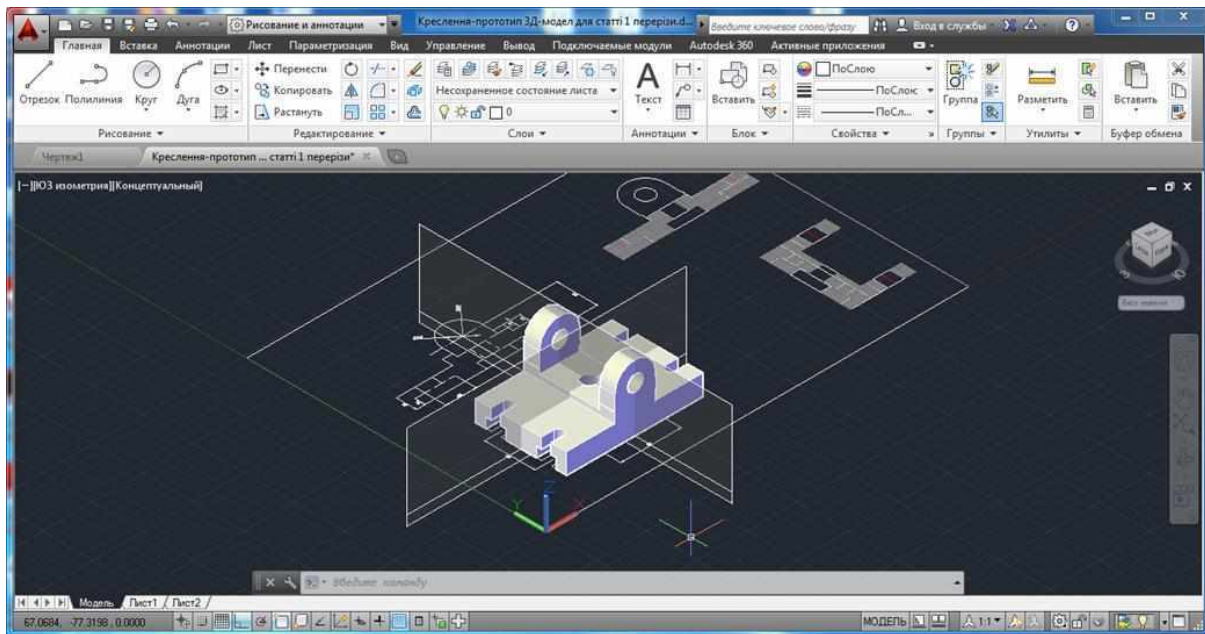


Рисунок 6 – Розрізи просторового об'єкта заданими площинами

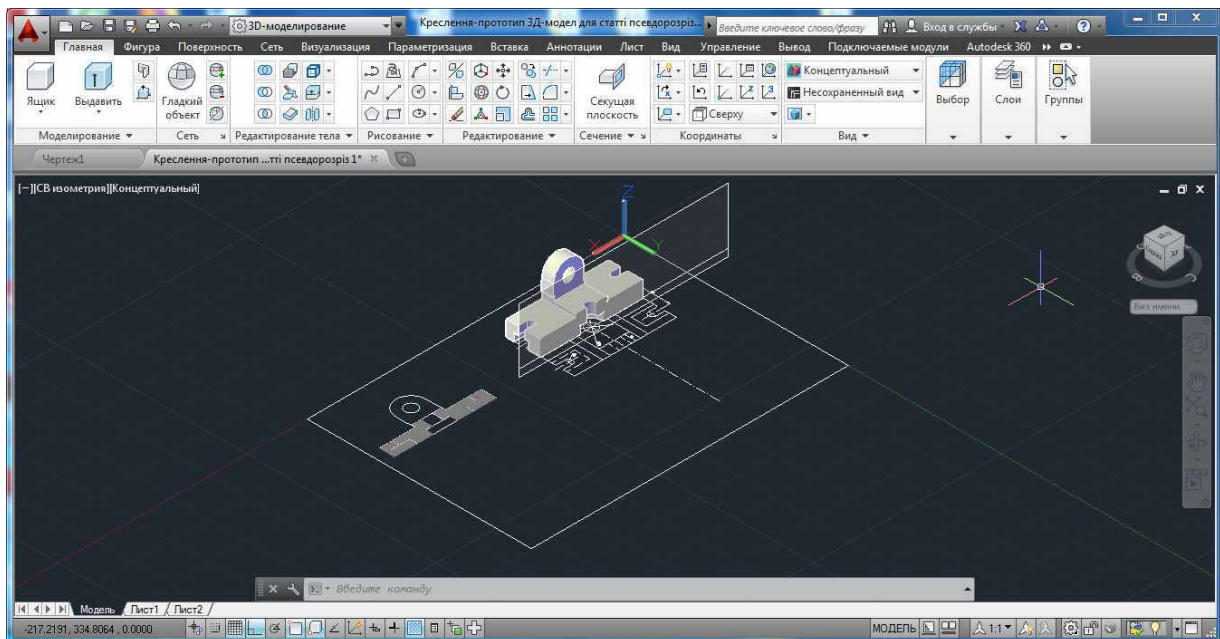


Рисунок 7 – Розріз з видаленням фрагменту просторового об'єкта

Крім того, існує команда «псевдорозріз», яка дозволяє виконувати динамічний аналіз внутрішньої побудови 3D - об'єкта при переміщенні січної площини. При цьому внутрішні деталі 3D- об'єкта, через які проходить січна площина, відображаються в режимі реального часу. Самий 3D- об'єкт при застосуванні січної площини не змінюється (рис. 8).

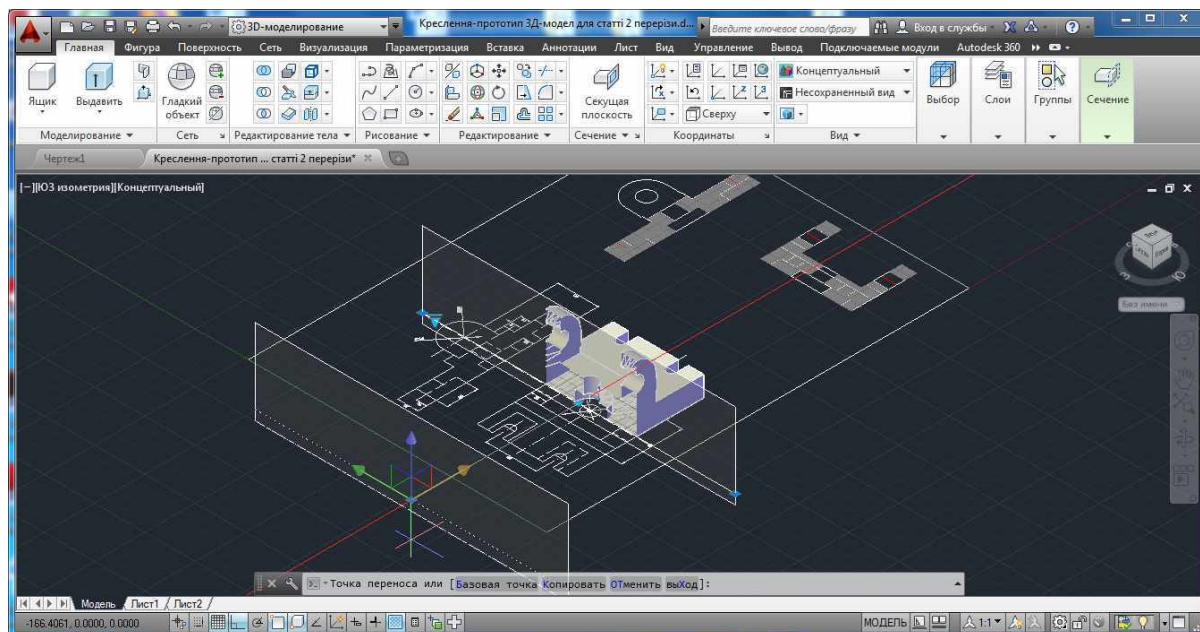


Рисунок 8 – Псевдорозріз просторового об'єкта площиною

По завершенню лабораторної роботи студент має надати звіт такого змісту:

1. Титульна сторінка
2. Тема та мета роботи.
3. Відповіді на контрольні запитання.
4. Результат креслення
5. Алгоритм етапів виконання 3D - моделі заданої деталі з коротким описом команд.
6. Висновки.

Специфіка інженерної графіки не дозволяє зробити автоматичною перевірку правильності виконання завдання лабораторної роботи. Цю перевірку здійснює викладач. Але доцільно організовувати обговорення достовірності отриманих результатів з групою студентів в дистанційному форматі.

За задумом кінцевим етапом лабораторного практикуму з комп'ютерної графіки та 3D – моделювання має бути друк створеної електронної моделі заданої деталі. Неможливість виконання цієї дії при дистанційній формі навчання компенсується експортом моделі в формат 3D – принтера і переглядом отриманого результату. Ця функція є доступною в останніх версіях системи AutoCAD.

Перевірка виконаних завдань вимагає у викладача витратити час на взаємодію із студентом, або викладачу доводиться перевіряти завдання поза терміном виконання лабораторної роботи, коментувати і пояснювати помилки, що для графіки не є ефективним, бо необхідна візуалізація в реальному часі.

Проблемою є наявність у студента технічної можливості встановити і користуватись запропонованою САПР. Її можна подолати при організації конференцію Zoom з обладнаного комп'ютерного класу і наданні студентам віддаленого доступу до персональних комп'ютерів в аудиторії (програмне забезпечення AnyDesk).

Стурбованість викликає і проблема безпеки програмного середовища Zoom для організації відеоконференцій, Уразливість безпеки Zoom полягає в тому, що можливим є вхід до конференції віддаленого неавторизованого злоумисника з функціями цільового клієнта. Це дозволяє злоумиснику видаляти учасників конференції, підробляти повідомлення від користувачів або перехоплювати спільні екрани, змушуючи припинити навчальний процес.

Висновки. Віртуальний лабораторний практикум з комп'ютерної графіки та 3D – моделювання може бути повноцінною частиною навчання інженерної графіки в дистанційній

формі. Специфіка цієї технічної дисципліни вимагає від викладача створення чіткої методики виконання послідовності лабораторних робіт із відповідними візуальними прикладами. Позитивною є об'єктивна вимога активної самостійності студентів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Сальник І. В., Сірик Е. П. Віртуальне та реальне як складові освітнього середовища навчання фізики. Вісник Черкаського університету. Серія «Педагогічні науки», № 9, 2017. С.111-120
2. Гамбург К.С. Виртуальные стендовые лабораторные работы как инновационная форма контекстного обучения. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата педагогических наук. Москва, 2006. 26с.
3. Железнякова Е.Н., Зміївська І.В. Організація самостійної роботи студентів у системі Moodle. Новітні комп'ютерні технології. Спецвипуск «Хмарні технології навчання». Т. XII (2014). С.194-203
4. Жарков Н.В., Финков М.В. AutoCAD 2017. Полное руководство.- СПб.: Наука и Техника, 2017. 624с.
5. Березенська С. М. Методика проведення лабораторної роботи з електротехніки з використанням дистанційних технологій. Інженерні та освітні технології. 2016. № 2 (14). Режим доступу до журналу: <http://eetecs.kdu.edu.ua>
6. Методичні вказівки до лабораторних робіт з дисциплін «Моделювання та оптимізація технічних систем та процесів», «Теорія технічних систем» для студентів освітнього ступеня бакалавр за спеціальностями 136 «Металургія», освітньої програми «Ливарне виробництво чорних та кольорових металів та сплавів» та 131 «Прикладна механіка», освітньої програми «Обладнання та технології ливарного виробництва» /Укл.: А.В. Пархоменко, А.В. Пархоменко, Я.А.Василевська – Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2020. 70с. [електронний ресурс]
7. Мазур М.П., Петровський С.С., Яновський М.Л Особливості розробки віртуальних практичних інтерактивних засобів навчальних дисциплін для дистанційного навчання. Інформаційні технології в освіті. Хмельницький національний університет.- С.40-46
<https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwjvm4KDhPL-AhW6CRAIHVcqAPwQFnoECAsQAQ&url=https%3A%2F%2Fde.khnu.km.ua%2Fres%2F5-3-250.pdf&usg=AOvVaw1-GicoHb126AFK6jLGLbWY> дата звернення 09.04.2023
8. Лопатюк С.П. Методичні вказівки з дисципліни «Нарисна геометрія та інженерна графіка» (AUTOCAD). Для студентів напряму підготовки 271 «Річковий та морський транспорт». – К.:ДУІТ, 2020. 34с.
9. Лопатюк С.П., Самойленко В.М. Методичні вказівки з дисципліни «Комп'ютерна графіка та 3Д-моделювання» для студентів напряму підготовки 271 «Річковий та морський транспорт» усіх форм навчання – К.: ДУІТ, 2020.38с.
10. Сайт Autodesk.com

REFERENCES

1. Salnyk I. V., Siryk E. P. Virtual and real as components of the educational environment for teaching physics. Herald of Cherkasy University. Series "Pedagogical Sciences", No. 9, 2017. P.111-120
2. Hamburg K.S. Virtual bench labs as an innovative form of contextual learning. Dissertation abstract for the candidate of pedagogical sciences degree. Moscow, 2006. 26p.
3. Zheleznyakova E.N., Zmiiivska I.V. Organization of students' independent work in the Moodle system. The latest computer technologies. Special issue "Cloud learning technologies". T. XII (2014). P.194-203

4. Zharkov N.V., Finkov M.V. AutoCAD 2017. Complete guide. - St. Petersburg: Science and Technology, 2017. 624p.
5. Berezenska S. M. Methods of conducting laboratory work in electrical engineering using remote technologies. Engineering and educational technologies. 2016. No. 2 (14). Journal access mode: <http://eetecs.kdu.edu.ua>
6. Methodological instructions for laboratory works in the disciplines "Modeling and optimization of technical systems and processes", "Theory of technical systems" for students of the bachelor's degree in the specialties 136 "Metallurgy", the educational program "Foundry production of ferrous and non-ferrous metals and alloys" and 131 "Applied mechanics", educational program "Equipment and technologies of foundry production" /Incl.: A.V. Parkhomenko, A.V. Parkhomenko, Ya.A. Vasilevska - Zaporizhzhia: NU "Zaporizhzhia Polytechnic", 2020. 70p. [Electronic resource]
7. Mazur M.P., Petrovskyi S.S., Yanovskyi M.L. Peculiarities of developing virtual practical interactive tools of educational disciplines for distance learning. Information technologies in education. Khmelnytskyi National University. - P.40-46 <https://www.google.com> date of application 09.04.2023
8. Lopatuk S.P. Methodical guidelines for the discipline "Draft geometry and engineering graphics" (AUTOCAD). For students of the training direction 271 "River and sea transport". - K.: DUIT, 2020. 34 p.
9. Lopatuk S.P., Samoilenko V.M. Methodological guidelines for the discipline "Computer graphics and 3D modeling" for students of the training direction 271 "River and sea transport" of all forms of education - K.: DUIT, 2020.38p.
10. Autodesk.com website

Lopatuk S.P.

VIRTUAL LABORATORY WORKS ON COMPUTER GRAPHICS AND 3D MODELING

Distance learning requires a special creative approach from the teacher to the organization of the educational process, constant familiarization with the relevant innovative technologies that allow you to reproduce real objects in a virtual environment.

The article presents a methodology for organizing a virtual laboratory workshop on computer graphics and 3D modeling in the AutoCAD computer-aided design system based on the Zoom distance learning platform. Attention is paid to the visualization of the stages of creating a model of a spatial object and its geometric features.

Keywords: computer graphics, 3D modeling, AutoCAD system, virtual laboratory work.

Лерніченко К. В.

ФОРМУВАННЯ КОМУНІКАТИВНОГО СЕРЕДОВИЩА «ВИКЛАДАЧ – ЗДОБУВАЧ» ЗАКЛАДУ ВИЩОЇ ОСВІТИ ПІД ЧАС ДИСТАНЦІЙНОГО НАВЧАННЯ

У статті визначено актуальність й необхідність формування комунікативного середовища «викладач – здобувач» закладу вищої освіти під час дистанційного навчання з огляду на виклики сьогодення з якими стикнулася вітчизняна освіта, як то карантинні обмеження та військовий стан.

Сформовано основні аспекти формування комунікативного середовища «викладач – здобувач» закладу вищої освіти в умовах дистанційного навчання, як то налагодження ефективної комунікації між основними учасниками освітнього середовища, стимулювання студентів до активної участі в навчальному процесі, вирішення проблемних питань і наявність зворотного зв'язку в разі нерозуміння початкового матеріалу студентами, розвиток соціально-комунікативних навичок для інтеграції та стимулювання взаємодії й спілкування між викладачем та студентами.

Наведено доступні вітчизняним закладам вищої освіти навчальні платформи, що забезпечують процес дистанційного навчання, а саме: «Moodle», «Blackboard», «Canvas», «Brightspace», «Sakai», «Google Workspace for Education Fundamentals».

Досліджено функціональність та інтегрованість в освітнє середовище навчальної платформи «Google Workspace for Education Fundamentals», яка пропонує такі версії для навчальних закладів: базову («Google Workspace for Education Fundamentals¹») та три з розширеним функціоналом («Google Workspace for Education Standard», «Teaching and Learning Upgrade», «Google Workspace for Education Plus»). Сформовано порівняльну характеристику наведених версій.

Висвітлено державну політику щодо цифровізації освіти та наведено заходи, ініційовані державою в колаборації з компанією «Google Україна», для формування ефективного комунікативного середовища закладу вищої освіти під час дистанційного навчання. Розглянуто рівні підвищення кваліфікації для педагогічних, науково-педагогічних працівників закладів вищої освіти та наведено основні переваги та особливості рішень «Google for Education» для вищої освіти й проблемні питання, які вирішуються у межах програми «Google Digital Tools for Education / Цифрові інструменти Google для освіти».

Ключові слова: комунікація, комунікативне середовище, дистанційне навчання, заклад вищої освіти, цифровізація освіти.

Постановка проблеми. Через виклики сьогодення, перед якими постали заклади вищої освіти (ЗВО) України, виникла необхідність в адаптації навчального процесу спочатку до карантинних обмежень, а пізніше – до роботи під час дії військового стану. Освітнє середовище, за відносно короткий час, мусило перейти від традиційної форми навчання до змішаної та дистанційної форм.

Адаптація до нових умов та інтеграція у навчальний процес не можлива без формування ефективного комунікативного середовища «викладач – здобувач». Таке середовище сприяє забезпеченню ефективної комунікації між викладачем і студентом, їхньому залученню до активної участі у навчальному процесі, вирішенню комунікативних проблем і розвитку соціально-комунікативних навичок основних учасників навчального процесу.

Основними аспектами формування комунікативного середовища «викладач - студент» ЗВО в умовах дистанційного навчання є такі:

1. Налагодження ефективної комунікації між викладачем і студентом, яка має бути

злагодженою, якісною та ефективною. Викладачі забезпечують здобувачів чіткими інструкціями й поясненнями щодо опанування навчального курсу, а студенти мають змогу ставити запитання викладачеві й отримувати роз'яснення. Все це сприяє кращому засвоєнню навчального матеріалу.

2. Комунікативне середовище стимулює здобувачів до активної участі в навчальному процесі. Викладач заохочує здобувачів ставити питання, обговорювати теми та взаємодіяти з ним та іншими здобувачами навчальної групи, що підвищує їхню взаємну зацікавленість, залучає до навчання та інтегрує учасників у навчальне середовище.

3. Ефективна комунікація дозволяє здобувачам озвучувати проблемні питання та отримувати зворотній зв'язок в разі нерозуміння навчального матеріалу. Водночас викладач має змогу ґрунтовно відповісти на ці питання та надати додаткову підтримку, аби усунути будь-які перешкоди у навчанні.

4. Розвиток соціально-комунікативних навичок, адже дистанційне навчання може викликати у студентів відчуття відокремленості. Тому дуже важливо зменшити це відчуття, стимулюючи взаємодію та спілкування між викладачем та студентами.

Ринок освітніх послуг жваво відгукнувся на попит щодо нових інструментів забезпечення освітнього процесу і спричинив появу низки пропозицій засобів і методик навчання в цих умовах.

У дещо кращому становищі опинилися ті ЗВО, які упровадили дистанційне навчання до 2020 року, адже державою ще у 2013 році було затверджено Положення «Про дистанційне навчання» [1], відповідно до якого визначено основні засади організації та запровадження дистанційного навчання в Україні.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблемам дистанційної освіти приділено значну увагу з боку низки вітчизняних науковців, зокрема Кучеренко Н. у філософсько-правовому вимірі розглядає дистанційне навчання як виклик, що постає перед сучасною університетською освітою [2]; проблематиці формування понятійно-термінологічного апарату з питань розвитку дистанційної освіти надає обґрунтування Іванюк І. [3]; особливостям упровадження дистанційного навчання в освітній процес закладу вищої освіти присвячена робота [4] Ткаченко Л. та Хмельницької О.; Штихно Л. досліджує дистанційне навчання як перспективний напрям розвитку сучасної освіти [5]; а Гнатюк О. присвятила свою роботу [6] реалізації дистанційної освіти в умовах воєнного стану.

Окремо слід відмітити праці вітчизняних науковців, зосереджені на розвитку цифрових компетенцій педагогічних і науково-педагогічних працівників в умовах провадження дистанційного навчання, а саме: Гущина Н., Кондратова Л. і Касьян С. зосереджуються на впровадженні форм і методів розвитку цифрової компетентності викладачів у дистанційному навчанні на основі сервісів GSuite for Education [7]; окремо Гущина Н. у своїй роботі [8] пропонує розвивати цифрову компетентність викладача як ключову для навчання впродовж життя; Ляхощка Л. [9] наводить практичні кроки у напрямі цифровізації освіти та розвитку цифрової компетентності вчителя, розглядає теоретичні та практичні питання використання цифрових технологій у професійній освіті та підвищенні кваліфікації педагогів; Буйницька О., Варченко-Троценко Л., Василенко С., Тютюнник А., Терлецька Т. [10] порушують питання розроблення системи підвищення кваліфікації викладачів для розвитку цифрової компетентності; Антошук С., Касьян С. [11] пропонують розвивати цифрову компетентність педагогічних, науково-педагогічних працівників та керівників закладів освіти в системі відкритої післядипломної освіти.

Окрема увага науковців зосереджена на інструментах для забезпечення прогресивного функціонування освітнього середовища в умовах дистанційного навчання від компанії «Google», що ґрунтовно відображені в працях Ляхощкої Л., Муранової Н., Бондаренко Л., Гущиної Н., Кондратової Л. [12], Карпенко А. [13], Герасимчук. І. [14], Мінгальової Ю. [15], Панченко Г. [16] та інших.

Отже, усі доробки вітчизняних вчених щодо системи дистанційного навчання загалом

направленні на формування ефективного комунікативного середовища «викладач — студент» закладів освіти, проте це питання наразі залишається відкритим і не до кінця висвітленим, адже процес формування системи дистанційного навчання в нашій країні розпочався відносно нещодавно і потребує великої уваги з боку навчальних закладів і держави та, окремо, кожного науково-педагогічного працівника ЗВО. Тому існує нагальна потреба у дослідженнях в цьому напрямі та актуалізації вже наявних розробок і пропозицій.

Метою статті є дослідження засад, аспектів та необхідності формування ефективного комунікативного середовища «викладач — студент» ЗВО під час дистанційного навчання; висвітлення державної політики щодо цифровізації освіти та підтримки ЗВО в цій площині.

Основні результати дослідження. Під дистанційним навчанням розуміється індивідуалізований процес набуття знань, умінь, навичок і способів пізнавальної діяльності людини, який відбувається в основному за опосередкованої взаємодії віддалених один від одного учасників навчального процесу у спеціалізованому середовищі, яке функціонує ґрунтуючись на сучасних психолого-педагогічних та інформаційно-комунікаційних технологіях [1]. Тому відповідні ЗВО почали створювати таке освітнє середовище для забезпечення інтеграції традиційного навчання у дистанційне шляхом використання різноманітних навчальних платформ для реалізації вимог Положення [1], що, власне, і є підґрунтям формування комунікативного середовища «викладач – студент» ЗВО.

Найбільш розповсюдженою навчальною платформою в той час стала Moodle, яка забезпечує викладачам, адміністраторам, студентам комунікацію і співпрацю в надійній, безпечній та інтегрованій системі для створення персоналізованого навчального середовища.

«Moodle» (Modular Object-Oriented Dynamic Learning Environment) — це модульне об'єктно-орієнтоване динамічне навчальне середовище, система управління навчанням (LMS), система управління курсами (CMS), віртуальним навчальним середовищем (VLE). Іншими словами – це платформа для навчання, яка дозволяє викладачам, студентам та адміністраторам використовувати розвинутий набір інструментів для комп'ютеризованого навчання, в тому числі дистанційного. «Moodle» є безкоштовною, відкритою (Open Source) системою. Отже ЗВО отримують можливість забезпечити навчальний процес у дистанційному форматі, сформувати комунікативне середовище «викладач – студент», використовуючи безкоштовну ліцензійну програму.

Ринок освітніх послуг, окрім «Moodle», запропонував й низку інших навчальних платформ для організації й забезпечення дистанційного навчання: «Blackboard», «Canvas», «Brightspace», «Sakai», «Google Workspace for Education Fundamentals» тощо. Усі наявні системи в цілому мають однакові функціональні можливості й набір інструментів, але, з рештою, й багато відмінностей, які полягають у реалізації інтерфейсу, підтримці української мови, ліцензії поширення, структурі, інтерактивності спілкування учасників освітнього середовища, системі перевірки знань, можливості створення курсів, відео- й аудіо-матеріалів тощо, що дозволяє їм конкурувати між собою, а ЗВО обирати найкращу пропозицію.

Сьогодні якісно і функціонально з-поміж інших вирізняється платформа від всесвітньо відомої компанії «Google» – «Google Workspace for Education Fundamentals». Вона увібрала в себе усі сучасні інструменти дистанційного навчання для забезпечення гнучкої та безпечної, безкоштовної й продуктивної основи для навчання, співпраці та спілкування учасників освітнього середовища. Отже з метою формування дієвого комунікативного середовища «викладач – студент» ЗВО під час дистанційного навчання зосередимось саме на цій навчальній платформі, як на найбільш відповідній, функціональній, безпечній та доступній.

Навчальна платформа «Google Workspace for Education Fundamentals» пропонує чотири версії для навчальних закладів: одну базову («Google Workspace for Education Fundamentals¹») та три з розширеним функціоналом («Google Workspace for Education Standard», «Teaching and Learning Upgrade», «Google Workspace for Education Plus»). Порівняльна характеристика основних функцій цих версій навчальних програм [17] наведена на рис. 1.

Базова версія — «Google Workspace for Education Fundamentals1» — є безкоштовною, на відміну від трьох інших, розширених, версій. Для того, аби ЗВО зміг скористатися

безкоштовно повним функціоналом базової версії, необхідно бути «кваліфікованим навчальним закладом», тобто відповідати певним вимогам від «Google» — ЗВО мають бути офіційно акредитованими державними закладами та виконати низку умов. Після заповнення й подання заявки на «Google Workspace for Education», ЗВО автоматично отримає право на 30-денну пробну версію, доки його заявка опрацьовуватиметься.

Google Workspace for Education Fundamentals¹

- інструменти для співпраці (Classroom, Docs, Sheets, Slides, Forms тощо);
- інструменти для спілкування (Meet, Chat, Gmail);
- запобігання втраті даних для Gmail і Диска;
- можливість використання відповідно до FERPA, COPPA, GDPR.

ІНШІ ФУНКЦІЇ

Google Workspace for Education Standard

Вбирає все в Education Fundamentals¹ та:

- центр безпеки для проактивного запобігання, виявлення та усунення загроз;
- розширене керування пристроями та програмами для проведення аудитів і забезпечення дотримання правил безпеки та доступу до програм;
- запобігання втраті даних для Gmail і Диска;
- експорт журналу Gmail і Classroom для статистики і аналізу в BigQuery.

ІНШІ ФУНКЦІЇ

Teaching and Learning Upgrade

Вбирає все в Education Fundamentals¹ та:

- зустріч до 250 учасників і прямі трансляції до 10000 глядачів у домені завдяки Meet;
- преміум-функції взаємодії в Meet (інтерактивні запитання та відповіді, опитування, кімнати підгруп тощо);
- додатки Classroom для безпосередньої інтеграції улюблених інструментів і вмісту;
- необмежена кількість звітів про оригінальність і можливість перевіряти збіги в приватному сховищі минулих студентських робіт;
- перетворення нового і наявного вмісту на інтерактивні завдання завдяки практичним наборам (з'явиться незабаром).

ІНШІ ФУНКЦІЇ

Google Workspace for Education Plus

Вбирає все в Education Standard і Teaching and Learning Upgrade та:

- зустріч до 500 учасників і прямі трансляції до 100000 глядачів у домені завдяки Meet;
- синхронізація списків безпосередньо до Classroom з б.-я. системи інформації про студентів;
- персоналізований хмарний пошук для домену ЗВО для доступності і полегшення пошуку інформації;
- створення власних програм завдяки AppSheet (кодування не потрібне);
- першочергова реакція колективу освітян;
- перетворення нового і наявного вмісту на інтерактивні завдання завдяки практичним наборам (з'явиться незабаром).

ІНШІ ФУНКЦІЇ

Рисунок 1 – Порівняльні характеристики версій «Google Workspace for Education Fundamentals»

Джерело: сформовано автором за [17].

Комунікативне середовище «викладач — здобувач» ЗВО під час дистанційного навчання передбачає цифровізацію освіти. Наразі в Україні відбувається доволі бурхливий процес цифровізації освітнього середовища в персональному та колективному контекстах. Викладачі ЗВО мають можливість отримати нові компетенції щодо персональної організації навчального процесу в дистанційному форматі, а ЗВО — застосовувати новітні практики для організації адміністративної, навчальної, методичної, наукової та інших видів діяльності в межах свого закладу, здійснюючи дистанційне навчання і формуючи комунікативне середовище «викладач — здобувач» за таких умов.

Для отримання нових компетенцій й підвищення рівня вже набутих, викладачам ЗВО пропонуються вебіари щодо цифровізації, тематичні й авторські курси підвищення кваліфікації, семінари, тренінги та інші заходи у сегменті дистанційної освіти.

З боку держави відмічається значна зацікавленість у цифровізації освіти з метою формування комунікативного середовища ЗВО. Починаючи з 2020 року Україна зосереджує значні зусилля на застосуванні цифрових технологій в освіті. Зокрема, Міністерство освіти і науки України пошало співпрацю з компанією «Google Україна» щодо підвищення рівня цифрової компетенції працівників закладів освіти усіх рівнів. Відтоді щорічно організовуються вебіари щодо можливостей інструментів «Google Workspace for Education». Зокрема 23 червня 2022 року відбувся практичний онлайн-семінар від Google щодо використання цифрових інструментів для представників вищої та фахової передвищої освіти

Під час вебінару розглянуті такі питання [19]:

- особливості організації освітнього процесу з використанням «Chromebook» у професійній діяльності;
- можливості оновлення пристроїв завдяки «Chrome OS Flex»;
- комплексні моделі та рішення щодо використання цифрових інструментів «Google» в діяльності різних закладів освіти;
- ініціатива щодо формування бази прикладів використання цифрових інструментів «Google» для різних навчальних дисциплін;
- особливості використання пристроїв «Chromebook» та комп'ютерів з «Chrome OS Flex» для організації освітнього процесу;
- організація дослідно-експериментальної та управлінської діяльності ґрунтуючись на рішеннях «Google Workspace for Education»;
- процедура подання заявки від закладу на отримання статусу «Заклад освіти-учасник програми Google for Education».

Міністерство освіти і науки України 8 вересня 2022 року, надало проміжний звіт щодо реалізації програми «Google Digital Tools for Education / Цифрові інструменти Google для освіти» в межах другої сесії безоплатного навчального курсу: 95 закладів освіти, педагогічні колективи яких успішно завершили навчання за програмою з показником понад 50% від загальної кількості працівників вже отримали спеціальний статус «Заклад освіти – учасник програми «Google for Education»».

Ця програма передбачає навчання протягом двох, трьох або чотирьох тижнів залежно від рівня курсу. Підвищення кваліфікації для педагогічних, науково-педагогічних працівників закладів дошкільної, загальної середньої, позашкільної, професійної (професійно-технічної), фахової передвищої та вищої освіти охоплює три рівні:

1. Базовий. Містить три модулі, що передбачають роботу з мобільними пристроями. Можливість отримати сертифікат на 30 годин (протягом двох тижнів, 1 кредит ЄКТС).

2. Середній. Містить один модуль, базується на роботі із вебпереглядачем «Google Chrome» частково з мобільних пристроїв, частково з персонального комп'ютера. Можливість отримати сертифікат на 15 годин (протягом тижня, 0,5 кредиту ЄКТС).

3. Поглиблений. Містить один модуль. Передбачає роботу з «Chrombook» або персональним комп'ютером, ноутбуком з операційною системою «Chrome OS Flex». Частково вправи можна виконати з мобільних пристроїв з операційною системою «Android».

Можливість отримати сертифікат на 15 годин (протягом тижня, 0,5 кредиту ЄКТС).

Для кожної наступної сесії відкриваються окремі форми реєстрації щодо навчання на середньому та поглибленому рівнях курсу для випускників, що успішно опанували попередній рівень.

У вересні 2022 року (12 вересня – для середнього рівня, 19 вересня – для поглибленого рівня) були відкриті форми реєстрації на сайті курсу «Цифрові інструменти Google для освіти». З програмою курсу [18] можна ознайомитись у розділі «Сертифікати» сайту програми «Google Digital Tools for Education / Цифрові інструменти Google для освіти».

Протягом 2022—2023 навчального року проведені ще 10 ідентичних сесій, тобто щомісяця повторювався один і той самий курс до 1 червня 2023 року.

Висновки. Наведене засвідчує глибоку зацікавленість держави в сфері цифровізації освіти і підтверджує необхідність формування комунікативного середовища «викладач — здобувач» ЗВО протягом переходу від традиційної форми навчання до змішаної й дистанційної. Державна політика та активна участь ЗВО у цьому процесі стимулюють активізацію застосування сучасного інструментарію, широко представленого на ринку освітніх послуг, усіма учасниками освітнього середовища, в тому числі й науково-педагогічними працівниками ЗВО та студентами. Це сприяє підвищенню якості сучасних освітніх послуг та набуттю освітянами нових компетенцій, які є актуальними для викладання під час дистанційного навчання та формує сприятливе, дієве та ефективне комунікативне середовище «викладач — здобувач» ЗВО в нових умовах провадження освітнього процесу.

ЛІТЕРАТУРА

1. Про дистанційне навчання: Положення МОНУ затв. Наказом від 25.04.2013 №466. URL: «<https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0703-13#Text>.
2. Кучеренко Н. Дистанційне навчання як виклик сучасної університетської освіти: філософсько-правовий вимір. Вісник Національного університету «Львівська політехніка». Серія: Юридичні науки. № 906. 2018. С. 34–40. URL: <https://science.lpnu.ua/sites/default/files/journal-paper/2019/sep/18362/8.pdf>.
3. Іванюк І. В. Формування понятійно-термінологічного апарату з питань розвитку дистанційної освіти. Інформаційні технології і засоби навчання. 5(31). 2012. С. 1–14. DOI: <https://doi.org/10.33407/itlt.v31i5.716>.
4. Ткаченко Л. В., Хмельницька О. С. Особливості впровадження дистанційного навчання в освітній процес закладу вищої освіти. Педагогіка формування творчої особистості у вищій і загальноосвітній школах. № 75. Т. 3. 2021. С. 91–96. DOI <https://doi.org/10.32840/1992-5786.2021.75-3.18>.
5. Штихно Л. В. Дистанційне навчання як перспективний напрям розвитку сучасної освіти. Молодий вчений. 2016. № 6. С. 489–493. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/molv_2016_6_123.
6. Гнатюк О. В. Дистанційна освіта в умовах воєнного стану. URL: http://newlearning.org.ua/sites/default/files/tezy/2022/Hnatiuk_Olga_2022.pdf.
7. Гуцина Н. І., Кондратова Л. Г., Касьян С. П. Розвиток цифрової компетентності викладачів в умовах дистанційного навчання на основі сервісів GSuite for Education. Професійний розвиток фахівців в умовах цифровізації суспільства: сучасні тренди: наук.-практ. конф. з міжнар. участю: Матеріали конференції. ЖДУ ім. І. Франка. 2021. С. 37–42.
8. Гуцина Н. І. Цифрова компетентність як ключова для навчання впродовж життя. 2020. С. 62–65. URL: https://scholar.google.com.ua/citations?view_op=view_citation&hl=uk&user=G-9aQngAAAAJ&sortby=pubdate&citation_for_view=G-9aQngAAAAJ:-f6ydRqryjwC.
9. Овчарук О. В. Цифрова компетентність сучасного вчителя нової української школи: 2022 (Безпечне середовище для учнів та вчителів: виклики та практичні шляхи вирішення): збірник матеріалів Всеукраїнського науково-практичного семінару (м. Київ, 3 березня 2022

p.).URL: https://scholar.google.com.ua/citations?view_op=view_citation&hl=uk&user=wq6kqkQAAAAJ&sortby=pubdate&citation_for_view=wq6kqkQAAAAJ:TFP_iSt0sucC.

10. Буйницька О. П., Варченко-Троценко Л. О., Василенко С. В., Настас Д. Л., Тютюнник А. В., Терлецька Т. С. Персоналізовані траєкторії професійного розвитку викладачів університету за цифровим напрямом. Відкрите освітнє е-середовище сучасного університету. 2021. В. 11, С. 13—31. DOI <https://doi.org/10.28925/2414-0325.2021.112>.

11. Антошук С. В. Касьян С. П. Розвиток цифрової компетентності педагогічних, науково-педагогічних працівників та керівників навчальних закладів. галузі знань 01 «Освіта» в системі відкритої післядипломної освіти: збірник освітньо-професійних програм. ДВНЗ «Ун-т менедж. освіти». Київ, 2019. 250 с. URL: <https://scholar.google.com.ua>.

12. Ляхощка Л. Л., Муранова Н. П., Бондаренко Л. В., Гущина Н. І., Кондратова Л. Г. Організація науково-методичної роботи на основі хмарних технологій: практикум. К.: Міленіум, 2021. 58 с.

13. Карпенко А. Використання сервісів Google Apps у процесі інформатизації закладу вищої освіти. Інформаційні технології та засоби навчання. 71(3). 2019. С. 183—195. DOI: <https://doi.org/10.33407/itlt.v71i3.2350>.

14. Герасимчук І. 6 корисних розширень Google-сервісів для викладання й не тільки. Блог Центру навчальних та інноваційних технологій УКУ. URL: <http://ceit-blog.ucu.edu.ua/resursy-ta-instrumenty/6-korysnyh-rozshyren-google-servisiv-dlya-vykkladannya-j-ne-tilky/>.

15. Мінгальова Ю. І. Використання сервісів Google для підтримки та супроводу студентської наукової діяльності: Збірник наукових праць «Педагогічні науки». Секція 4 Теорія і методика професійної освіти. № 88. 2019. С. 115—119. DOI: <https://doi.org/10.32999/ksu2413-1865/2019-88-19>.

16. Гладкова В., Панченко А., Панченко Г. Використання сервісів Google в управлінні закладом середньої освіти. Відкрите освітнє е-середовище сучасного університету. №3. 2017. С. 337—344. URL: <https://openedu.kubg.edu.ua/journal/index.php/openedu/article/view/100>.

17. Вєрсії Google Workspace for Education. Google. URL: <https://edu.google.com/workspace-for-education/editions/overview/>.

18. Онлайн-семінар «Цифрові інструменти Google для вищої освіти». Сайти Google. 23.06.2022. URL: <https://sites.google.com>.

19. Програми «Цифрові інструменти Google для освіти». МОНУ. URL: <https://mon.gov.ua/ua/news/22-23-serpnya-dlya-osvityan-ta-kerivnikiv-vidbudutsya-vebinari-v-mezhah-richnoyi-programi-cifrovi-instrumenti-google-dlya-osviti>.

REFERENCES

1. About distance learning. The regulations of the Ministry of Education and Science of Ukraine. 466. (2013). URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0703-13#Text>.

2. Kucherenko, N. (2018) Distance learning as a challenge of modern university education: philosophical and legal dimension. Bulletin of the Lviv Polytechnic National University. Series: Legal Sciences. No. 906. 34—40. Retrieved from <https://science.lpnu.ua/sites/default/files/journal-paper/2019/sep/18362/8.pdf>.

3. Ivanyuk, I. Formation of the conceptual and terminological apparatus on the development of distance education. ITLT, 5(31). 2012. 1—14. Retrieved from <https://lib.iitta.gov.ua>.

4. Tkachenko, L. & Khmelnytska, O. (2021) Peculiarities of the implementation of distance learning in the educational process of a higher education institution. Pedagogy of creative personality formation in higher and secondary schools. 75. Vol. 3. 91—96. DOI <https://doi.org/10.32840/1992-5786.2021.75-3.18>.

5. Stikhno, L. (2016) Distance learning as a promising direction of modern education development. A young scientist. 6. 489—493. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/molv_2016_6_123.

6. Hnatyuk, O. (2022). Distance education in the conditions of martial law. Retrieved from http://newlearning.org.ua/sites/default/files/tezy/2022/Hnatiuk_Olga_2022.pdf.

7. Hushchyna, N., Kondratova, L. & Kasyan, S. (2021). Development of digital competence of teachers in the conditions of distance learning based on GSuite for Education services. Professional development of specialists in the conditions of digitalization of society: modern trends: scientific and practical conference with international participation: conference materials. Zhytomyr State University named after I. Franko. 37–42.
8. Hushchyna, N. (2020). Digital competence as key to lifelong learning. 2020. 62–65. Retrieved from <https://scholar.google.com.ua/>.
9. Ovcharuk, O. (2022). Digital competence of the modern teacher of the new Ukrainian school: 2022 (Safe environment for students and teachers: challenges and practical solutions): collection of materials of the All-Ukrainian scientific and practical seminar (Kyiv, March 3, 2022). Retrieved from <https://scholar.google.com.ua>.
10. Buynytska, O., Varchenko-Trotsenko, L., Vasylenko, S., Nastas, D., Tyutyunnyk, A. & Terletska, T. (2021). Personalized trajectories of professional development of university teachers in the digital direction. Open educational e-environment of a modern university. 11. 13–31. DOI <https://doi.org/10.28925/2414-0325.2021.112>.
11. Antoshchuk, S. & Kasyan, S. (2019). Development of digital competence of pedagogical, scientific and pedagogical workers and heads of educational institutions. fields of knowledge 01 “Education” in the system of open postgraduate education: a collection of educational and professional programs. State higher educational institution "University of Education Management". Kyiv. p. 251. Retrieved from <https://scholar.google.com.ua/>.
12. Lyakhotska, L., Muranova, N., Bondarenko, L., Gushchyna, N. & Kondratova, L. (2021). Organization of scientific and methodical work based on cloud technologies: workshop. K.: Millennium. p. 58.
13. Karpenko, A. (2019) Use of Google Apps services in the process of informatization of a higher education institution. Information technologies and teaching aids. 71(3). 183 – 195. DOI: <https://doi.org/10.33407/itlt.v71i3.2350>.
14. Gerasimchuk, I. Six useful Google services extensions for teaching and beyond. Blog of the Center for Educational and Innovative Technologies of the Ukrainian Catholic University. Retrieved from <http://ceit-blog.ucu.edu.ua/resursy-ta-instrumenty/6-korysnyh-rozshyren-google-servisiv-dlya-vykladannya-j-ne-tilky/>.
15. Mingalova, Yu. (2019). Using Google services to support and accompany student scientific activities: Collection of scientific works "Pedagogical Sciences". Section 4 Theory and methodology of professional education. 88. 115-119. DOI: <https://doi.org/10.32999/ksu2413-1865/2019-88-19>.
16. Gladkova V., Panchenko A. & Panchenko G. (2017). The use of Google services in the management of a secondary education institution. Open educational e-environment of a modern university. 3. 337-344. Retrieved from <https://openedu.kubg.edu.ua/journal/index.php/openedu/article/view/100>.
17. Versions of Google Workspace for Education. (2022). Google. Retrieved from <https://edu.google.com/workspace-for-education/editions/overview/>.
18. Online workshop “Google Digital Tools for Higher Education” (23.06.2022). Sites Google. Retrieved from <https://sites.google.com>.
19. Google Digital Tools for Education Programs. Ministry of Education and Science of Ukraine. Retrieved from <https://mon.gov.ua/ua/news/22-23-serpnya-dlya-osvityan-ta-kerivnikiv-vidbudutsya-vebinari-v-mezhah-richnoyi-programi-cifrovi-instrumenti-google-dlya-osviti>.

Lernichenko K.

**FORMATION OF THE COMMUNICATIVE ENVIRONMENT «TEACHER – STUDENT»
IN THE INSTITUTION OF HIGHER EDUCATION DURING DISTANCE EDUCATION**

The article defines the relevance and necessity of forming a communicative environment “teacher — student” of a higher education institution during distance learning in view of the current challenges faced by domestic education, such as quarantine restrictions and martial law.

The main aspects of the formation of a “teacher — student” communicative environment of a higher education institution in the conditions of distance learning, such as establishing effective communication between the main participants of the educational environment, encouraging students to actively participate in the educational process, solving problematic issues and providing feedback in case of misunderstanding of the initial material by students, development of social and communicative skills for integration and stimulation of interaction and communication between the teacher and students.

Educational platforms available to domestic institutions of higher education that provide the process of distance learning are given, namely: “Moodle”, “Blackboard”, “Canvas”, “Brightspace”, “Sakai”, “Google Workspace for Education Fundamentals”.

The functionality and integration into the educational environment of the educational platform “Google Workspace for Education Fundamentals”, which offers the following versions for educational institutions: basic (“Google Workspace for Education Fundamentals¹”) and three with extended functionality (“Google Workspace for Education Standard”, “Teaching and Learning Upgrade”, “Google Workspace for Education Plus”). The comparative characteristics of the given versions have been formed.

The state policy on the digitization of education is highlighted and the measures initiated by the state in collaboration with the “Google Ukraine” company to form an effective communicative environment of a higher education institution during distance learning are given. The levels of professional development for pedagogical, scientific and pedagogical workers of higher education institutions are considered, and the main advantages and features of “Google for Education” solutions for higher education and problematic issues that are solved within the framework of the “Google Digital Tools for Education”.

Keywords: communication, communicative environment, distance learning, higher education institution, digitalization of education.

Богом'я В.І., Кочегаров В.С.

КІБЕРБЕЗПЕКА В ХМАРНИХ СЕРВІСАХ ЗА ДОПОМОГОЮ ЗАСТОСУВАННЯ КРИПТОГРАФІЧНИХ МЕТОДІВ

Кібербезпека є актуальною в Україні, так як сучасний світ все більше залежить від технологій та інформаційних систем.

Крім того, в Україні триває війна на сході країни, і російські хакери та кіберзлочинці активно використовують кібератаки, щоб завдавати шкоди важливим об'єктам інфраструктури, урядовим установам та громадянам України.

Також, у зв'язку зі швидким розвитком технологій та збільшенням кількості цифрових сервісів, багато компаній та установ стають дедалі більш уразливими до кібератак. Це створює потребу у забезпеченні ефективного кіберзахисту.

Отже, хмарні сервіси - це важлива частина інфраструктури багатьох компаній та установ, які зберігають конфіденційну інформацію про клієнтів та користувачів. Проте, збільшення використання хмарних сервісів також призводить до зростання загроз для кібербезпеки. Одна з актуальних проблем - це забезпечення конфіденційності та захисту від зломів під час зберігання та передачі даних через хмарні сервіси. Хакери можуть використовувати різні методи для злому таких сервісів та отримання конфіденційної інформації. Забезпечення кібербезпеки в хмарних сервісах є важливим науковим завданням, яке потребує дослідження та вирішення. Застосування криптографічних методів для захисту конфіденційної інформації є одним з основних методів вирішення цього завдання. Врахування особливостей системи та використання оптимальних методів захисту є важливими факторами для успішного розв'язання проблеми.

Тому метою статті є аналіз можливостей щодо забезпечення безпеки зберігання та передачі конфіденційної інформації в хмарних сервісах за допомогою застосування криптографічних методів.

Ключові слова: кібербезпека, хмарні сервіси, криптографічні методи, шифрувальні алгоритми, методи аутентифікації.

Постановка проблеми

Кібербезпека є актуальною в Україні, так як сучасний світ все більше залежить від технологій та інформаційних систем [1-3]. Це створює нові можливості для злочинців, хакерів та інших зловмисників, які можуть використовувати кібератаки для отримання доступу до конфіденційної інформації, крадіжки коштів, розповсюдження шкідливих програм та інших злочинних дій.

Крім того, в Україні триває війна на сході країни, і російські хакери та кіберзлочинці активно використовують кібератаки, щоб провокувати невдачі та завдавати шкоди важливим об'єктам інфраструктури, урядовим установам та громадянам України.

Також, у зв'язку зі швидким розвитком технологій та збільшенням кількості цифрових сервісів, багато компаній та установ стають дедалі більш уразливими до кібератак [3-7]. Це створює потребу у забезпеченні ефективного кіберзахисту.

Отже, кібербезпека є важливою темою в Україні, яка потребує уваги та координації зусиль урядових та недержавних організацій для забезпечення безпеки інформаційного простору країни [6-9].

Хмарні сервіси – це важлива частина інфраструктури багатьох компаній та установ, які зберігають конфіденційну інформацію про клієнтів та користувачів. Проте, збільшення використання хмарних сервісів також призводить до зростання загроз для кібербезпеки.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Які теми є актуальними зараз для кібербезпеки. За результатом аналізу джерел інформації [1-9] авторами було визначено такі напрями дослідження кібербезпеки.

1. Захист від кібератак, включаючи додаткові заходи безпеки для захисту від розповсюдження вірусів, шкідливого програмного забезпечення і шпигунських програм.

2. Інтернет-безпека від фішингу та соціально-інженерних атак, що спрямовані на отримання конфіденційної інформації.

3. Безпека мережі Інтернет в розумному будинку (IoT), зокрема безпека підключених до мережі речей (smart things).

4. Захист корпоративних мереж від внутрішніх загроз, таких як витік даних, відправка конфіденційної інформації незаконним способом або крадіжка ідентифікаційних даних користувачів.

5. Боротьба з кібербулінгом та кібернасильством в мережі.

6. Кібербезпека в хмарних сервісах, зокрема зберігання і обробка конфіденційної інформації в хмарних сховищах.

7. Захист від кіберзлочинності в електронній комерції та онлайн-фінансах, зокрема злочинів, пов'язаних з крадіжкою ідентифікаційних даних та банківської інформації.

8. Захист від кібернападів на критичну інфраструктуру, таку як енергетичні системи, транспорт, банки та медичні заклади.

9. Боротьба з кіберзлочинністю в соціальних медіа, зокрема з метою запобігання крадіжки особистих даних користувачів та пропаганди дезінформації.

10. Використання штучного інтелекту та машинного навчання для виявлення та запобігання кібератак.

Одна з актуальних проблем – це забезпечення конфіденційності та захисту від зломів під час зберігання та передачі даних через хмарні сервіси. Хакери можуть використовувати різні методи для злому таких сервісів та отримання конфіденційної інформації.

Існує велика кількість досліджень в галузі оптимізації налаштувань криптографічних алгоритмів. У [9-19] автори проводять огляд різних методів оптимізації криптографічних алгоритмів, включаючи генетичні алгоритми, алгоритми на основі машинного навчання та інші.

У [9,11, 18] запропоновано гібридний підхід до оптимізації криптографічних алгоритмів для пристроїв з обмеженими ресурсами. Автори використовують генетичний алгоритм для пошуку оптимальних налаштувань алгоритмів шифрування.

У [9-12] автори використовують методи машинного навчання для оптимізації криптографічних алгоритмів. Вони досліджують взаємозв'язок між різними параметрами алгоритмів і їх ефективністю та використовують ці знання для підвищення ефективності.

У [12-19] автори використовують методи колективного інтелекту для оптимізації хеш-функцій. Вони використовують різні методи оптимізації, включаючи ройовий інтелект, для пошуку оптимальних параметрів алгоритмів.

Але у цих дослідженнях остається не повністю визначеними питання особливостей забезпечення кібербезпеки в хмарних сервісах.

Мета статті

Забезпечення кібербезпеки в хмарних сервісах є важливим науковим завданням, яке потребує дослідження та вирішення. Застосування криптографічних методів для захисту конфіденційної інформації є одним з основних методів вирішення цього завдання. Врахування особливостей системи та використання оптимальних методів захисту є важливими факторами для успішного розв'язання проблеми [9]. Тому метою статті є аналіз можливостей щодо забезпечення безпеки зберігання та передачі конфіденційної інформації в хмарних сервісах.

При цьому актуальною є тема: "Застосування криптографічних методів для захисту конфіденційної інформації в хмарних сервісах".

Методи досліджень

Одним з методів для вирішення цієї проблеми є застосування криптографічних методів для захисту даних, які зберігаються в хмарі. Наприклад, шифрування даних перед їх передачею в хмару та зберігання даних в шифрованому вигляді в хмарі. Крім того, можна використовувати механізми аутентифікації, контролю доступу та аудиту, щоб захистити хмарні сервіси від несанкціонованого доступу.

На погляд авторів, основні методи вирішення проблеми:

1. Використання симетричного та асиметричного шифрування для захисту даних.
2. Використання механізмів аутентифікації, контролю доступу та аудиту.
3. Розробка алгоритмів шифрування, які можуть працювати з даними, не викладаючи їх у відкритий доступ.

Особливості вирішення наукового завдання полягають у врахуванні того, що зберігання та передача даних в хмарній інфраструктурі можуть здійснюватися за допомогою різних технологій та протоколів. Тому важливо підібрати оптимальні методи для конкретної системи та врахувати всі можливі загрози [6-9].

Для вирішення проблеми можна використовувати різні алгоритми шифрування, такі як AES, RSA, SHA-256, та інші. Однак, вибір алгоритму повинен залежати від типу даних, які зберігаються в хмарному сервісі, та рівня безпеки, який потрібен для їх захисту.

Наприклад, для захисту фінансових даних можна використовувати AES-256, а для захисту паролів та іншої особистої інформації - RSA.

Виклад основного матеріалу дослідження

Як можна покращити застосування криптографічних методів, якщо вони вже давно відомі. За рахунок можна підвищити ефективність використання криптометодів?

Хоча криптографічні методи досить давно відомі, вони все ще є найбільш ефективними засобами захисту конфіденційної інформації. Однак, стандарти захисту даних не стоять на місці, а постійно розвиваються, оскільки з'являються нові загрози та вразливості. Тому існує постійна потреба в дослідженнях та покращенні криптографічних методів.

Наукова новизна дослідження полягає в тому, що можна вдосконалювати існуючі криптографічні методи, шляхом покращення шифрувальних алгоритмів, зменшення розміру ключів та покращення методів аутентифікації.

Одним із напрямків покращення криптографічних методів є використання квантової криптографії, яка використовує квантову механіку для шифрування та декодування даних. Ця технологія може забезпечити більш високий рівень безпеки, оскільки атаки на квантові системи є важким завданням [12, 14].

Для підвищення ефективності використання криптографічних методів, важливо враховувати особливості конкретної системи та вибирати оптимальні методи захисту, що залежать від типу даних, які зберігаються в хмарному сервісі, та рівня безпеки, який потрібен для їх захисту. Також важливо підтримувати існуючі криптографічні методи у відповідному стані та забезпечувати їх правильне використання.

Для покращення застосування криптографічних методів вважаємо за доцільне розглянути наступні напрямки дослідження [12-15]:

1. Розробка нових криптографічних алгоритмів. Наукова новизна полягає в розробці алгоритмів, які забезпечують більшу стійкість до атак, швидкість обчислення та підтримку різних платформ.
2. Вдосконалення існуючих криптографічних алгоритмів. Це може бути досягнуто за допомогою змін параметрів алгоритму, зокрема, довжини ключа, або змін режиму роботи алгоритму.
3. Дослідження вразливостей і побудова атак на криптографічні методи. Це дозволить підвищити рівень стійкості криптографічних методів, виявити слабкі місця та недоліки, які можуть бути використані зловмисниками для злому криптозахисту.
4. Дослідження криптографічних протоколів, зокрема, їхньої захищеності від різних

типів атак. Це дозволить покращити ефективність використання криптографічних протоколів в різних сферах застосування.

5. Розробка нових методів криптографічного ключа. Це може включати в себе використання біометричних даних, генерацію ключа на основі фізичних параметрів пристрою, або використання квантової криптографії.

Новітні дослідження в криптографії дають можливість підвищити ефективність використання криптографічних методів за рахунок розробки нових алгоритмів, удосконалення існуючих методів, вдосконалення протоколів

Є кілька підходів, які можуть бути використані для покращення ефективності використання криптографічних методів [15-18]. Ось кілька з них:

1. Використання нових алгоритмів криптографії: розробка нових алгоритмів криптографії є одним із підходів до покращення ефективності застосування криптометодів. Це може включати розробку алгоритмів з більшою потужністю шифрування, швидкішею роботи та більшою стійкістю до атак.

2. Оптимізація налаштувань криптографічних алгоритмів: у багатьох випадках ефективність криптографічних методів може бути покращена за рахунок оптимізації налаштувань алгоритмів. Наприклад, можна змінити довжину ключа, вибір алгоритму шифрування або використовувати більш потужні системи обчислювальної техніки для забезпечення більшої швидкості обробки даних.

3. Використання комбінованих методів шифрування: одним із способів підвищення стійкості застосування криптографічних методів є використання комбінованих методів шифрування. Це означає, що використовуються два або більше методів шифрування, щоб забезпечити більшу стійкість до атак.

Покращення процесу ключового управління: управління ключами є важливою частиною застосування криптографічних методів. Покращення процесу ключового управління може забезпечити більшу стійкість до атак, а також допомогти уникнути втрати ключів.

Зміна довжини ключа – один з основних способів оптимізації налаштувань криптографічних алгоритмів. Довжина ключа повинна бути достатньою для забезпечення безпеки, проте не повинна бути занадто великою, оскільки це може знизити продуктивність криптосистеми.

Для визначення оптимальної довжини ключа необхідно враховувати рівень потенційної загрози, ступінь вірогідності атак та кількість інформації, яка повинна бути захищена. Для більшої безпеки можна використовувати довші ключі, але це може знизити швидкість обробки даних та потребувати більш потужних обчислювальних ресурсів [13,14].

Існує багато досліджень, які присвячені визначенню оптимальної довжини ключа для різних криптографічних алгоритмів. Наприклад, Національний інститут стандартів та технологій (NIST) США регулярно оновлює рекомендації щодо довжини ключа для різних криптографічних алгоритмів.

Також, існують спеціальні програмні засоби, що дозволяють проводити тестування на міцність криптосистеми при різних довжинах ключа та вибрати найбільш оптимальну довжину для конкретного застосування [14, 15].

Одним з відомих досліджень на цю тему є «Key Lengths» від NIST, який надає рекомендації щодо довжини ключа для різних криптографічних алгоритмів, таких як AES, RSA, SHA-2 і ін.

Отже, зміна довжини ключа – це важлива техніка оптимізації криптографічних алгоритмів.

Звичайно, у кожній методикі є свої особливості та переваги, і не можна однозначно сказати, який саме метод є найбільш ефективним. Тому важливо враховувати контекст та конкретну ситуацію, в якій будуть використовуватись криптографічні методи.

Однак, можна виділити кілька загальних принципів, які можуть допомогти підвищити ефективність використання криптографічних методів [15-18]:

1. Використання достатньо складних ключів: чим складніший ключ, тим важче його розшифрувати зловмиснику.

2. Використання асиметричних шифрувань: такі шифри використовують два ключі, один з яких відкритий, а інший - закритий. Відправник може відправити повідомлення, зашифроване публічним ключем отримувача, тоді як лише власник приватного ключа зможе розшифрувати його.

3. Використання протоколів аутентифікації та авторизації: такі протоколи дозволяють перевірити ідентичність користувача та його дозволи на доступ до ресурсів.

4. Використання стійких алгоритмів шифрування: на сьогоднішній день найбільш стійкі алгоритми шифрування - AES, RSA, SHA.

Регулярне оновлення ключів та алгоритмів: оновлення ключів та алгоритмів забезпечує стійкість криптографічного захисту в часі.

У наукових дослідженнях з криптографії шукають нові методи шифрування, які були більш стійкими та ефективними за вже відомі методи. Наприклад, дослідження в галузі квантової криптографії ведуть до створення нових алгоритмів [18, 19].

Хмарні сервіси застосовуються в різних галузях промисловості, і для кожної з них існують конкретні виклики з кібербезпеки, які потрібно вирішувати. Одним з прикладів може бути промисловість медичних технологій, де зберігається та обробляється конфіденційна інформація про пацієнтів. У цьому випадку, кібербезпека в хмарних сервісах медичних технологій включає в себе захист від несанкціонованого доступу до медичних даних, забезпечення цілісності та конфіденційності даних, а також відновлення даних в разі їх втрати або пошкодження.

Інший приклад може бути промисловість фінансових технологій, де хмарні сервіси використовуються для зберігання та обробки фінансової інформації клієнтів. У цьому випадку, кібербезпека включає в себе захист від кібератак на банківські системи, забезпечення захисту від фішингу та інших видів шахрайства, а також забезпечення дотримання вимог регуляторних органів щодо захисту фінансових даних [19].

Хмарні сервіси стали надзвичайно популярними в сучасному світі, оскільки вони дозволяють користувачам зберігати та обробляти дані у віддалених центрах обробки даних, що зменшує потребу у власних серверах та обладнанні. Однак, це також створює нові виклики для кібербезпеки, оскільки користувачі повинні довіряти свої дані та інфраструктуру хмарних сервісів третім сторонам [19].

Висновки й перспективи подальших досліджень

Аналіз, що проведений авторами дозволяє визначити найбільш важливі заходи для усунення негативних наслідків вторгнень. Тому організація кібербезпеки в хмарних сервісах повинне включати такі заходи:

Аутентифікація та авторизація: Користувачі повинні проходити процес аутентифікації та авторизації, щоб мати доступ до хмарних сервісів. Для цього можуть використовуватись різні методи, такі як двофакторна аутентифікація, біометричні методи аутентифікації та інші.

Шифрування: Важливо шифрувати дані, які зберігаються в хмарних сервісах, щоб забезпечити їх конфіденційність та недоступність для сторонніх осіб. Крім того, можна використовувати шифрування даних під час їх транспортування до та з хмарних сервісів.

Захист від вірусів та шкідливих програм: Хмарні сервіси повинні мати захист від вірусів та шкідливих програм, які можуть завдати шкоди інфраструктурі та даним користувачів.

Моніторинг та виявлення вторгнень: Хмарні сервіси повинні мати систему моніторингу та виявлення вторгнень, щоб вчасно виявляти та реагувати на можливі загрози.

Захист від DDoS-атак: Хмарні сервіси можуть бути піддаються DDoS-атакам, які спрямовані на перевантаження систем та призводять до відмови в обслуговуванні. Для захисту від цих атак, можуть використовуватись різні методи, такі як захист на рівні мережі, на рівні додатку, а також використання технологій CDN (Content Delivery Network).

Захист від витоку даних: Хмарні сервіси повинні мати заходи для захисту від витоку даних, оскільки це може призвести до серйозних наслідків для користувачів та організацій. Для цього можуть використовуватись методи шифрування даних, моніторингу доступу до

даних та аудиту дій користувачів.

Резервне копіювання: Хмарні сервіси повинні забезпечити можливість резервного копіювання даних, щоб уникнути їх втрати в разі збоїв або атак на систему.

Тестування на проникнення: Організації повинні проводити тестування на проникнення (penetration testing) своєї інфраструктури та додатків, щоб виявляти можливі уразливості та захищати їх від атак.

Захист від інсайдерських загроз: Організації повинні забезпечити захист від інсайдерських загроз, тобто внутрішніх загроз, що можуть виникати з боку співробітників. Для цього можуть використовуватись різні методи, такі як обмеження доступу до даних, моніторинг дій користувачів та навчання співробітників правилам кібербезпеки.

ЛІТЕРАТУРА

1. ISO/IEC 17788 - 2014. Information technology - Cloud computing - Overview and vocabulary. - Publ. 2014-10-15. - Geneva: ISO, 2014. - 10 p.
2. Закон України «Про захист персональних даних»;
3. Закон України «Про доступ до публічної інформації»;
4. Правила забезпечення захисту інформації в інформаційних, телекомунікаційних та інформаційно-телекомунікаційних системах (Постанова Кабінету Міністрів України від 29.03.06 № 373);
5. Концепція технічного захисту інформації в Україні (Постанова Кабінету Міністрів України від 8.10.97 №1126);
6. Положення про технічний захист інформації в Україні (Указ Президента України від 27.09.99 № 1229/99).
7. НД ТЗІ 3.7-003-05 "Порядок проведення робіт із створення комплексної системи захисту інформації в інформаційно-телекомунікаційній системі"
8. Хмарне сховище чи локальні сервери: 9 критеріїв, які слід врахувати під час вибору. <https://www.microsoft.com/uk-ua/microsoft-365/business-insights-ideas/resources/cloud-storage-vs-on-premises-servers>
9. Kozyura V. D., Khoroshko V. O., Shelest M. YE., Tkach YU. M., Usov YA.YU. Kompleksni systemy zakhystu informatsiyi v informatsiyno-telekomunikatsiynykh systemakh [Complex systems of information protection in information and telecommunication systems]. Nizhyn: FOP Luk'yanenko V.V. ТРК «Orkhideya», 2019. 144 p.
10. How to Protect Your Data from Unauthorized Access, Retrieved from <https://cypressdatadefense.com/blog/unauthorized-data-access>
11. Cloud Data Center Trends To Watch For In 2015 [Електронний ресурс] / Sarah Tanksalvala-Режим доступу: World Wide Web.- URL: <https://www.forbes.com> 2015/
12. What Companies Growing More than 50 Percent Faster Are Investing In [Електронний ресурс] / Laura Pevehouse - Режим доступу: World Wide Web. - URL: <https://www.delltechnologies.com/en-us/blog/what-companies-growingmore-than-50-percent-faster-are-investing-in>
13. Хмарні обчислення, Integrity Systems.[Електронний ресурс]. Доступно: <http://integritysys.com.ua/solutions/pricatecloud-solution>. Дата звернення: Січ. 27, 2020.
14. А.Е. Кононюк, Фундаментальна теорія хмарних технологій. Київ. Освіта України. 2018. Кн. 2. 528 стор.
15. Краткая история облачных технологий [Електронний ресурс] / Анна Полякова - Режим доступу: World Wide Web. - URL: <https://rb.ru/story/cloudcomputing-history/>
16. Six Advantages of Cloud Computing [Електронний ресурс] - Режим доступу : World Wide Web. - URL: <https://docs.aws.amazon.com/whitepapers/latest/awsoverview/six-advantages-of-cloud-computing.html>
17. Gartner Forecasts Worldwide Public Cloud End-User Spending to Grow 18% in 2021 [Електронний ресурс] - Режим доступу :World Wide Web. - URL: <https://www.gartner.co/en/>

newsroom/press-releases/2020-11-17-gartnerforecasts-worldwide-publishing-c-cloud-end-user-spending-to-grow-18-percent-in-2021

18. Using multi-factor authentication (MFA) in AWS [Електронний ресурс] – Режим доступу: World Wide Web. -URL:

https://docs.aws.amazon.com/IAM/latest/UserGuide/id_credentials_mfa.html

19. OWASP is pleased to announce the release of the OWASP Top 10 - 2017 [Електронний ресурс] - 2017 - Режим доступу : World Wide Web. - URL:

<https://owasp.blogspot.com/2017/11/owasp-is-pleased-to-announce-releaseof.html>

REFERENCE

1. ISO/IEC 17788 – 2014. Information technology – Cloud computing – Overview and vocabulary. Publ. 2014-10-15. Geneva: ISO, 2014. 10 p.

2. Law of Ukraine "On Protection of Personal Data". <https://zakon.rada.gov.ua/go/2297-17>.

3. Law of Ukraine "On access to public information". <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2939-17#Text>.

4. Rules for ensuring the protection of information in information, telecommunication and information-telecommunication systems (Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine dated 03.29.06 No. 373). <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/373-2006-%D0%BF#Text>.

5. The concept of technical protection of information in Ukraine (Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine dated 10.8.97 No. 1126). <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1126-97-%D0%BF#Text>.

6. Regulations on technical protection of information in Ukraine (Decree of the President of Ukraine dated 27.09.99 No. 1229/99). <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1229/99#Text>.

7. ND TZI 3.7-003-05 "Procedure for the creation of a comprehensive information protection system in the information and telecommunications system". https://tzi.ua/ua/nd_tz_3.7-003_-2005.html.

8. Cloud storage or local servers: 9 criteria to consider when choosing. <https://www.microsoft.com/uk-ua/microsoft-365/business-insights-ideas/resources/cloud-storage-vs-on-premises-servers>.

9. Kozyura V. D., Khoroshko V. O., Shelest M. YE., Tkach YU. M., Usov YA.YU. Kompleksni systemy zakhystu informatsiyi v informatsiyno-telekomunikatsiynykh systemakh [Complex systems of information protection in information and telecommunication systems]. Nizhyn: FOP Luk'yanenko V.V. TPK "Orkhideya", 2019. 144 p.

10. How to Protect Your Data from Unauthorized Access, Retrieved from <https://cypressdatadefense.com/blog/unauthorized-data-access>.

11. Cloud Data Center Trends To Watch For In 2015 [Electronic resource] / Sarah Tanksalvala - <https://www.forbes.com/sites/huawei/2015/04/16/cloud-data-center-trends-to-watch-for-in-2015>.

12. What Companies Growing More than 50 Percent Faster Are Investing In [Electronic resource] / Laura Pevehouse – <https://www.delltechnologies.com/en-us/blog/what-companies-growing-more-than-50-percent-faster-are-investing-in>.

13. Cloud computing, Integrity Systems. [Electronic resource]. Available: <http://integritysys.com.ua/solutions/pricatecloud-solution>.

14. A.E. Kononyuk, Fundamental theory of cloud technologies. Kyiv. Education of Ukraine. 2018. Book 2. 528 pages.

15. Brief history of cloud technologies [Electronic resource] / Anna Polyakova. <https://rb.ru/story/cloudcomputing-history>.

16. Six Advantages of Cloud Computing [Electronic resource]. <https://docs.aws.amazon.com/whitepapers/latest/awsoverview/six-advantages-of-cloud-computing.html>.

17. Gartner Forecasts Worldwide Public Cloud End-User Spending to Grow 18% in 2021 [Electronic resource]. <https://www.gartner.com/en/newsroom/press-releases/2020-11-17-gartnerforecasts-worldwide-public-cloud-end-user-spending-to-grow-18-percent-in-2021>.

18. Using multi-factor authentication (MFA) in AWS [Electronic resource]. https://docs.aws.amazon.com/IAM/latest/UserGuide/id_credentials_mfa.html.

19. OWASP is pleased to announce the release of the OWASP Top 10 – 2017 [Electronic resource]. <https://owasp.blogspot.com/2017/11/owasp-is-pleased-to-announce-releaseof.html>.

Bohomia V.I., Kochegarov V.S.

CYBERSECURITY IN CLOUD SERVICES USING CRYPTOGRAPHIC METHODS

Cybersecurity is relevant in Ukraine, as the modern world increasingly relies on technology and information systems. Additionally, Ukraine is currently at war in the east of the country, and Russian hackers and cybercriminals actively use cyberattacks to cause damage to important infrastructure objects, government institutions, and citizens of Ukraine.

Furthermore, with the rapid development of technology and the increasing number of digital services, many companies and institutions are becoming increasingly vulnerable to cyberattacks. This creates a need for effective cybersecurity.

Therefore, cloud services are an important part of the infrastructure of many companies and institutions that store confidential information about clients and users. However, the increased use of cloud services also leads to an increase in cybersecurity threats. One of the current problems is ensuring confidentiality and protection against breaches during data storage and transmission through cloud services. Hackers can use various methods to hack such services and obtain confidential information.

Ensuring cybersecurity in cloud services is an important scientific task that requires research and solution. The use of cryptographic methods to protect confidential information is one of the main methods of solving this task. Taking into account the characteristics of the system and using optimal protection methods are important factors for successfully solving the problem.

Therefore, the purpose of this article is to analyze the possibilities of ensuring the security of storage and transmission of confidential information in cloud services using cryptographic methods.

Keywords: *cybersecurity, cloud services, cryptographic methods, encryption algorithms, authentication methods.*

УДК 004.421.2, 004.4

doi.org/10.33298/2226-8553.2023.1.37.28

Ткаченко К.О., Пархоменко Р.В.

ОНТОЛОГІЧНИЙ ПІДХІД ДО РОЗРОБКИ МЕРЕЖЕВОГО ПРОФЕСІЙНОГО РЕСУРСУ ТРАНСПОРТНОЇ ГАЛУЗІ

Розглянуто проблематику моделювання складних систем на прикладі мережевого професійного інформаційного ресурсу транспортної галузі. Проаналізовано деякі аспекти, етапи та принципи розробки мережевого ресурсу транспортної галузі та різних її сфер. Визначено основні вимоги до засобів моделювання контенту мережевого професійного ресурсу для вирішення широкого кола теоретичних і практичних проблем національної

транспортної галузі та окремих її сфер. Шляхом вирішення проблем було обрано моделювання на основі онтологічного підходу (аналізу та відповідної класифікації елементів такої моделі).

Онтологічний підхід ґрунтується на розумінні онтології як деякої універсальної форми подання знань. Онтології є ефективним засобом для моделювання різних предметних областей, об'єктів та інформаційних ресурсів. Онтологічне моделювання мережевого професійного ресурсу транспортної галузі сприятиме вирішенню практичних і теоретичних задач завдяки врахуванню факторів, що впливають на різні рівні та компоненти мережевого ресурсу.

Наведено основні положення та інструментарій побудови онтології мережевого ресурсу транспортної галузі для визначення концептуальної онтологічної моделі предметної області, що розглядається. Інструментарієм є мова опису онтологій OWL та редактор онтологій Protégé.

Зроблено висновки, що для ефективного формування мережевого ресурсу доцільно організувати спільну діяльність усіх учасників виробничої, технологічної, інформаційної, освітньої, інфраструктурної сфер транспортної галузі на основі онтологічного підходу, враховуючи специфіку кожної предметної області транспортної галузі; мережевий ресурс завдяки комплексному та багатофункціональному контенту сприятиме забезпеченню конкурентоспроможності транспорту в Україні та за її межами; розроблена багаторівнева онтологія сприятиме термінологічній уніфікації та прискоренню пошуку відповідей на запити до контенту мережевого ресурсу транспортної галузі.

Ключові слова: онтологія, онтологічна модель, мережевий ресурс, предметна область, OWL, Protégé, транспортна галузь.

Вступ. В наш час спостерігаються тенденції, які обумовлюють вплив на транспортну галузь України. Однією з них є необхідність розробки конкурентоспроможного професійного мережевого ресурсу. Повнота та коректність сприйняття інформації щодо об'єктів транспортної галузі та процесів, що в ній відбуваються, залежать від багатьох факторів.

Вилучення (отримання, використання для вирішення конкретних практичних завдань тощо) професійних знань з мережевого ресурсу транспортної галузі супроводжується багатьма взаємопов'язаними проблемами, зокрема, такими як:

1. Наявність спеціальних професійних термінів (професійної термінології, які можуть розумітися по-різному фахівцями у різних предметних областях (ПрО) як самої транспортної галузі, так і суміжних галузей (наприклад, освіти, транспортного будівництва, будівництва транспортної інфраструктури тощо) або викликати складність у розумінні. Все це обумовлює необхідність формування відповідного багаторівневого довідкового контенту.

2. Засвоєння професійних знань (а інколи просто коректного і однозначного розуміння) різними категоріями користувачів спільного професійного мережевого ресурсу.

3. Подолання когнітивного бар'єру при вирішенні практичних задач, що потребують спільної діяльності різних представників як транспортної галузі, так і, зокрема, будівництва транспортної інфраструктури, енергетики, медицини, тощо.

4. Проблема обміну та поширення контенту мережевого професійного ресурсу як між представниками транспортної галузі, так і представниками інших (суміжних) галузей.

5. Взаємодія представників транспортної галузі, що належать до різних предметних її областей (наприклад, транспортний склад, транспортні послуги, що надаються, пасажирів та вантажів, логістичні маршрути, персонал транспортних підприємств тощо).

Постановка проблеми. Сучасні вимоги до мережевого ресурсу, до яких належить, зокрема професійний мережевий ресурс транспортної галузі, аналіз деяких аспектів моделювання контенту такого ресурсу надають можливість обґрунтування використання

онтологічного підходу та семантичного моделювання мережевого ресурсу (на прикладі роботи професійного мережевого ресурсу транспортної галузі).

Існуючі підходи до розробки мережових інформаційних ресурсів на основі відповідного моделювання контенту цих ресурсів обумовили актуальність проблем моделювання процесів підготовки відповідного контенту мережевого ресурсу щодо транспортних засобів, складських приміщень, маршрутів, кадрів тощо. Ці проблеми є наслідком відсутності відповідних дій щодо єдиного професійного мережевого ресурсу транспортної галузі. Тому проблема розробки спільного професійного мережевого ресурсу транспортної галузі, що передбачає визначення технології ефективного та коректного використання контенту цього ресурсу на основі онтологічного підходу та семантичного моделювання, є актуальною.

Мережеві ресурси транспортної галузі необхідні для розв'язання таких проблем, як:

- постановки завдань (наукового, практичного чи освітнього спрямування) та надання відповідної інформації (даних чи знань) для їхнього автоматизованого вирішення;
- автоматизована обробка великих даних, представлених у різних форматах,
- інтеграція даних із різних джерел;
- поєднання (композиція) мережових служб;
- управління інтелектуальними агентами.

Мережеві ресурси забезпечують вирішення завдань з використанням численних сервісів у сфері надання послуг (транспортних, освітніх, довідкових тощо), пропонують нові підходи до використання великих обсягів інформації, що базуються на нових методах, словниках та концептуальних моделях (семантичних, онтологічних) за допомогою предметно-орієнтованих мов (OWL (*Web Ontology Language*), DSL та ін.) [1 – 3] та відповідних інструментів (Protégé, DSL Tool VS.Net та ін.) [4 – 8].

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Розробка мережевого професійного ресурсу транспортної галузі потребує відповідного моделювання та врахування багатьох факторів впливу. Теоретичні основи моделювання складних систем (в тому числі мережових ресурсів) розглядалися такими вченими, як Гладун А.Я., Рогушина Ю.В. [9], Ткаченко О.І. [10], Лаврищева К.М. [11], Бернерс-Ли Т.Дж. [12]. Зокрема, Жуковицьким І.В., Скалзубом В.В., Устенко А.Б. та Клименко І.В. досліджено можливості створення уніфікованих інтелектуальних автоматизованих систем залізничного транспорту на основі платформи аналітичних серверів та онтологічних систем, призначених для підтримки конструктивно-продукційного моделювання, а також функціонування онтологій, що розширюються та еволюціонують [13].

Підкреслюючи складність проблем, що стоять перед сучасною транспортною галуззю та різноманітними її сферами, слід розглядати проблеми дослідження транспортної галузі та вирішення її практичних і теоретичних задач за допомогою їх моделювання. Тому проблема розробки контенту мережевого транспортного ресурсу на основі використання відповідних моделей (онтологічних, семантичних, когнітивних, продукційних тощо) є актуальною.

Мета дослідження. Основною метою роботи, що пропонується, є аналіз деяких аспектів моделювання контенту професійних мережових ресурсів транспортної галузі для подальшої розробки підходів до використання запропонованих моделей при розробці управлінських рішень щодо розвитку та вдосконаленню такого контенту, розширенню класу задач, які можуть вирішуватися за допомогою такого ресурсу. В якості моделі пропонується багаторівнева онтологічна модель.

Основний матеріал дослідження. Запропоноване вирішення перелічених проблем, пов'язане зі створенням способу універсального подання контенту мережного ресурсу у вигляді системи понять Про в обмеженій професійній мові. Одним із способів такого представлення (подання) знань є, зокрема, онтологія [14 – 16].

Глобальний інформаційний мережевий ресурс (глобальна семантична мережа) містить безліч ресурсів і інструментів [17 – 19]. Мови опису такого глобального мережевого ресурсу включають набір ключових слів, які дозволяють описувати компоненти та твердження

відповідної предметної області (в нашому випадку – як всієї транспортної галузі, так і окремих її сфер чи суміжних сфер). Такі мови (зокрема, OWL, RDF) [1 – 3] застосовуються для опису онтологій, об'єктів і процесів транспортної галузі, конкретних даних, а також для завдання унікальних ідентифікаторів ресурсів (URI (*Uniform Resource Identifier*), URL (*Uniform Resource Locator*)). URL задає унікальні імена елементів мережевого ресурсу (компонентів контенту професійного мережевого ресурсу транспортної галузі). За допомогою URL задається простір імен, що може динамічно розширюватися.

Онтологія (*Ontology*) визначає поняття, відносини та обмеження об'єктів у концептуальній моделі предметної області. Багато онтологій можуть бути включені в будь-який додаток шляхом адаптації до специфічних потреб відповідної предметної області (ПрО) [14 – 16]. Онтологія підтримує комунікації між користувачами та компонентами контенту і окремими компонентами контенту між собою. Онтологія є способом опису ПрО як в цілому транспортної галузі, так і різноманітних її сфер.

Інструменти (*Tools*) можуть належати до одного з наступних типів [18]:

- Конструювання і розвитку контенту мережевого професійного ресурсу транспортної галузі, зокрема, шляхом створення чи імпорту компонентів для онтології екземплярів.

- Надання довідкової інформації (зокрема, для виявлення «вузьких» місць мережевого професійного ресурсу транспортної галузі) забезпечують навігацію по мережевому ресурсу у пошуках відповіді на запитання користувача, причому серед цих інструментів є такі, що забезпечують просту навігацію по онтографу (онтологічній моделі) при пошуку, й такі, що застосовують у повному обсязі відповідні мови запитів.

- Інструменти-резонери, що додають до мережевого ресурсу нові поняття, необхідні користувачам, та механізми виведення. Компоненти виробляють логічні доповнення шляхом класифікації, завдяки якій заповнюється структура класу, дозволяючи належним чином співвідносити поняття та відносини з іншими класами. Резонери включаються в інші інструменти та каркаси та слугують важелями для створення логічно правильних допоміжних тверджень.

- Машини виведення – це машини на правилах дескрипторної логіки. Ці машини використовуються для розширення мережевого професійного ресурсу, додаючи вимір конструкцій знань. Правила дозволяють виконувати злиття онтологій. Машини на правилах можна розглядати як частину загального представлення знань. Кожна машина правил підтримується заданою мовою опису правил. Семантичний каркас мережевого професійного ресурсу поєднує перераховані вище інструменти та дозволяє їм працювати як єдине ціле. Твердження, універсальні ідентифікатори (URI), мови, онтології та дані конкретних екземплярів класів становлять семантично зв'язану інформацію в мережевому професійному ресурсі транспортної галузі, якою маніпулює семантичний каркас, створюючи нові інструменти, збагачуючи цей ресурс.

Мережеві дані відображають смислове значення даних та інтеграції даних для спільного використання шляхом доступу та обміну компонентами контенту мережевого ресурсу, включаючи використання багатьох джерел даних.

Динамічні дані мережевого професійного ресурсу транспортної галузі дозволяють досягати динамічної (під час виконання) зміни структури та змісту інформації. Фреймворки мережевого професійного ресурсу – це набір програмних засобів, середовищ, бібліотек для створення, маніпулювання та збагачення ресурсу. Вони сприяють створенню виразів, онтологій, мережевих програм та розміщувати їх у глобальному мережевому ресурсі транспортної галузі. Прикладом такого середовища, зокрема, є Protégé.

Формат RDF використовується для збереження метаданих, опису мережевих ресурсів. RDF є каркасом для створення окремих компонентів контенту мережевого професійного ресурсу транспортної галузі. RDFS (*RDF Schema*) – це надбудова над RDF, яка дозволяє створювати класи та властивості об'єктів. Мова OWL побудована на форматах RDF та RDFS і призначена для обробки інформації в мережевому ресурсі. Використовуючи звичайний

протокол та мову запитів SPARQL (*Protocol and RDF Query Language*), можна аналізувати RDF-описи компонентів контенту і отримувати необхідну інформацію з мережевого ресурсу.

В основі представлення системи знань транспортної галузі лежить понятійна база, сукупність концептів (понять) та відносин між ними, класифікація понять та їхня таксономія у вигляді тезаурусів, а також методи створення профільних онтологій. До основних напрямів створення онтологій у ПрО, що розглядається, відносяться, зокрема, такі як:

- розробка онтологічних моделей контенту мережевих ресурсів різних сфер транспортної галузі;
- розробка онтологічних моделей, методів та засобів доступу до наявних світових мережевих інформаційних ресурсів;
- створення бібліотек онтологій за профілями сфер знань;
- створення моделей опису готових ресурсів розробки як знань, що повторно використовуються;
- розробка методів та засобів створення комплексу інструментів ведення онтологій;
- розробка довідкових матеріалів щодо застосування контенту мережевого ресурсу для отримання професійних знань, що є необхідними для вирішення різноманітних практичних і теоретичних задач транспортної галузі.

Онтологічне моделювання контенту мережевого професійного ресурсу передбачає визначення основних понять ПрО, відносин та обмеження її елементів. Онтологічна модель контенту мережевого професійного ресурсу включає структури даних, що містять класи об'єктів, їх зв'язки і правила, прийняті в цій галузі.

При описі онтології ПрО, що розглядаються, використовуються індивіди, поняття, атрибути та відносини. Індивіди – це основні, компоненти онтології. Індивідами є об'єкти, як фізичні (люди, будинки, транспортні засоби, тощо), так і абстрактні (числа, слова тощо). Поняття – множини об'єктів ПрО, які включають індивіди, класи або їх об'єднання. Об'єкти ПрО мають атрибути, що визначаються за іменем та значенням.

Опис онтологічної моделі ПрО виконується за допомогою мов OWL, RDF, RDFS [1 – 3] і складається з S-виразів логіки та інших аналогічних форм. Опис онтології мовою OWL – це послідовність аксіом і фактів, інформації про класи, властивості, ресурси та документи мережевого ресурсу транспортної галузі та різноманітних її сфер, які імпортуються через URI і можуть посилатися на XML-схему за формою: `< Datatype ID >:: = < URI посилання >`.

Одним із основних засобів подання конкретної онтології предметної галузі (зокрема, транспортної) є система Protégé. До засобів опису онтологій ПрО відносяться, зокрема, такі метаконцепти, як класи, факти, аксіоми, фасети, слоти. Класи описують поняття ПрО, а слоти – властивості (атрибути) класів. Фасети описують властивості слотів (конкретні типи та можливі діапазони значень). Клас може бути еквівалентом, підмножиною або перетином більш загальних класів з обмеженнями.

Аксіома класу містить сукупність описів, які можуть мати вигляд узагальнених класів, обмежень, наборів ресурсів, булевих комбінацій описів. Аксіома містить сукупність понять, які можуть належати до узагальнених класів і включати обмеження, набори ресурсів, булеві комбінації описів тощо. Кожна аксіома задається за допомогою правил та обмежень.

Абстрактні класи є контейнерами конкретних класів та можуть містити абстрактні атрибути, що не містять конкретних значень. Атрибути понять ПрО є слотами, утворюючими класи, якими може бути значення екземплярів атрибутів. Згідно з моделлю подання знань, яка використовується в Protégé, слот є фреймом. Слоти визначаються незалежно від класу, і один і той самий слот може належати різним класам.

Фасети дозволяють вводити обмеження на типи даних та діапазони значень їх екземплярів (значень атрибутів). Слот визначається кількістю значень в екземплярі та обмеженнями для типів цих значень (наприклад, ціле, символічне тощо) та граничними значеннями (min, max). Фасети визначають обмеження на приєднання слота до фрейму класу. Слоти-зразки (*template slots*) та власні слоти (*own slots*) можна приєднати до фрейму (класу) або як слот-зразок або як власний слот, який приєднується до фрейму.

Класи можуть мати власні слоти. Наприклад, документація класу є власним слотом, приєднаним до класу, оскільки описує сам клас, а не екземпляри класу. Факти – це інформація про специфічні ресурси ПрО, що розглядається, у формі класів та властивостей зі значенням цього ресурсу. Аксіоми використовуються, щоб зіставити клас та властивість ідентифікації з частковими або повними специфікаціями характеристик, фахівці (експерти) ПрО можуть пропонувати іншу (притаманну відповідним сферам транспортної галузі) логічну інформацію про класи та властивості. Кожна аксіома класу містить сукупність спільних класів і сукупність локальних обмежень якості.

Між елементами онтологій можуть бути такі відношення:

- узагальнення для звуження суттєвих ознак поняття з розширенням кола понять об'єктів та їхнього обсягу;
- конкретизація як додавання суттєвих ознак, завдяки чому зміст поняття розширюється, а обсяг його звужується;
- агрегація, як поєднання низки понять у нове поняття, суттєві ознаки нового поняття можуть задаватися сумою ознак;
- асоціація як найбільш загальне ставлення, яке стверджує наявність зв'язку між поняттями, не уточнюючи залежності їх від змісту та обсягів.

Нижче наведено приклад фрагменту опису основних процесів життєвого циклу розробки контенту мережевого професійного ресурсу:

```
<AssociationLine Name = "Визначення_вимог"
Type = "Main.Визначення_вимог"
ManuallyRouted = "true" FixedFromPoint = "true"
</AssociationLine>
<AssociationLine Name = "Інтеграція_Контенту_Ресурсу"
Type = "Main.Інтеграція_Контенту_Ресурсу"/>
<AssociationLine Name = "Інсталяція"
Type = "Main.Інсталяція"/>
<AssociationLine Name = "Експлуатація"
Type = "Main.Експлуатація"/>
<Property Name = "Інтеграція_Контенту_Ресурсу"/>
<Property Name = "Інсталяція"/>
<Property Name = "Визначення_вимог"/>
<Property Name = "Експлуатація" />
```

Онтологічний підхід ґрунтується на розумінні онтології як деякої універсальної форми подання знань. Онтології є ефективним засобом для моделювання різних ПрО, об'єктів та інформаційних ресурсів (в тому числі й мережевого ресурсу транспортної галузі). Формальна модель онтології для розробки контенту мережевого ресурсу транспортної галузі може бути описана наступним чином: $O = \langle L, C, F, G, H, R, A \rangle$, де $L = L^C \cup L^R$ – словник онтології, що містить множину лексичних одиниць (знаків) для понять L^C та множину знаків для відношень L^R ; C – множина понять онтології, причому для кожного поняття $c \in C$ в онтології існує принаймні одне твердження; F та G – функції посилення такі, що $F: L^C \rightarrow 2^C$ та $G: L^R \rightarrow 2^R$.

Тобто F і G пов'язують множини лексичних одиниць $\{L_j\} \subset L^C$ з множинами понять і відносин, якими вони зв'язуються відповідно до даної онтології. При цьому одна лексична одиниця може відноситися до кількох понять або відносин і одне поняття або відношення може посилатися на кілька лексичних одиниць.

Інверсіями функцій посилення є F^{-1} та G^{-1} ; H – фіксує таксономічний характер відносин (зв'язків), у якому поняття онтології пов'язані нереклексивними, ациклическими, транзитивними відносинами $H \subset C \times C$. Вираз $H(C_1, C_2)$ означає, що поняття C_1 є підпоняттям C_2 ; R – означає бінарний характер відносин між поняттями онтології, що фіксують пари: <область застосування (*domain*), область значень (*range*)>, тобто пари (D, R) з $D, R \in C$; A – набір аксіом онтології.

Розробка контенту мережевого ресурсу транспортної галузі здійснюється на основі комплексу онтологій і сприяє, зокрема:

- розвитку міжнародної кооперації у транспортній галузі;
- узгодженню та уніфікації галузевих понять;
- розвитку мережевого навчання у транспортній галузі.

Відмінною особливістю реалізації контенту є метод створення онтології мережного ресурсу транспортної галузі, що ґрунтується на використанні контрольованої (професійно обмеженої) природної мови, яка розробляється як мова подання знань. Вона створена шляхом обмеження граматики, термінології та мовних зворотів. Накладені обмеження призначені для усунення неоднозначності природної мови. При цьому ключові поняття та зв'язки відображаються у вигляді: <суб'єкт – предикат – об'єкт>.

Створення онтологій мережевого ресурсу транспортної галузі контрольованою природною мовою сприяє зближенню семантичного вебу та природної мови, зрозумілої «звичайним» користувачам. Мережевий ресурс реалізовано на вебплатформі та підтримує стандарти семантичного вебу, технології якого дозволяють визначати та зв'язувати всі дані в мережі для більш ефективної їхньої обробки, інтеграції та повторного використання в різних додатках тощо. У редакторі онтологій Protégé реалізовано можливість експорту та імпорту онтологій у стандартних форматах опису (OWL, RDF).

Можна відзначити, що мережевий професійний ресурс – це портал знань транспортної галузі. Цей інструмент повністю підтримує новітню мову вебонтологій OWL, а також специфікації RDF від W3C і надає користувачам набір інструментів для створення моделей ПрО та систем, заснованих на знаннях.

Створення предметної онтології «згори донизу» передбачає роботу з експертами у визначених ПрО, і навіть аналіз текстів. Одним з важливих кроків при побудові предметної онтології є складання списку всіх термінів, про які потрібно щось сказати або які потрібно пояснити користувачеві. Потім виконується розробка ієрархії класів та визначення властивостей понять.

Створення онтологій у Protégé дозволяє розробнику оперувати такими поняттями, як класи (Classes), властивості об'єктів (Object Properties), властивості типу даних (Data Properties) та екземпляри (Individuals). При створенні онтології контенту мережевого ресурсу транспортної галузі методом «знизу догори» передбачається побудова онтології на основі експертних та емпіричних знань. При цьому, зокрема:

- готовий контент (або окремі його фрагменти: текстові, візуальні, числові тощо) може мати як об'єктивний, так і суб'єктивний характер;
- стилістика текстового заповнення контенту мережевого ресурсу суттєво впливає на кінцевий результат онтологізації;
- семантика текстових фрагментів контенту мережевого ресурсу може бути неоднозначною;
- автори текстових фрагментів контенту мережного ресурсу, як правило, не мають навичок логічних виведень та отримання логічного висновку, і тому тексти можуть мати логічні протиріччя та/або неповноту.

Розробка онтологій контенту мережевого ресурсу транспортної галузі передбачає:

- Підготовку контенту (текстових фрагментів, числових, візуалізованих фрагментів (елементів) тощо).
- Розміщення підготовленого раніше контенту та такого, що динамічно оновлюється, в програмному середовищі (дружньому, досить простому для користувачів, що не є фахівцями в галузі інженерії знань).

Висновки. Проведена робота щодо розробки мережевого професійного ресурсу транспортної галузі обумовила наступні висновки:

- доцільно організувати спільну діяльність усіх учасників виробничої, технологічної, інформаційної, освітньої, інфраструктурної сфер транспортної галузі на основі онтологічного підходу, враховуючи специфіку кожної Про транспортної галузі;
- мережевий ресурс транспортної галузі завдяки комплексному та багатофункціональному контенту сприяє забезпеченню конкурентоспроможності транспорту як в Україні, так і за кордоном;
- реалізація контенту мережевого ресурсу з використанням обмеженої професійної мови дозволяє скоротити розрив між семантичним вебom та природною мовою «звичайних» користувачів;
- розроблена багаторівнева онтологія сприяє термінологічній уніфікації та прискорює пошук відповідей на запити до контенту мережевого ресурсу транспортної галузі.

ЛІТЕРАТУРА

1. OWL. Web Ontology Language. URL: <http://www.w3.org/>
2. Rubin D.L., Knublauch H., Fergerson R.W., Dameron O., Musen M.A. Protégé-OWL: Creating Ontology-Driven Reasoning Applications with the Web Ontology Language. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1560433/>
3. Allemang D., Hedler J.A. Semantic web for the working ontologist modeling in RDF, RDFS and OWL. Morgan Kaufmann, 2008. 352 p.
4. Protégé. URL: <http://protege.stanford.edu/>
5. Hebel S., Fisher M., Blace R., Peter-Lopes A. Semantic Web programming. Wiley Publishing Inc., 2008. URL: <http://semwebprogramming.org>
6. Semantic Web. Representation of data on the World Wide Web, based on the RDF standards. URL: <http://www.w3.org/2001/sw/>
7. OASIS/ebXML Registry Information Model. URL: <http://www.oasis-open.org/cojmmetees/specs/ebrim>
8. Roman D., Lausen H., Keller U. (eds.): Web Service Modeling Ontology (WSMO). URL: <http://www.w3.org/Submission/wsmo>
9. Rogushina J., Gladun A. Ontology-based competency analyses in new research domains. //Journal of Computing and Information Technology, 2012. Vol. 20(4). P. 277-291
10. Ткаченко О.А., Ткаченко О.І. Деякі аспекти ситуаційно-семантичного моделювання складних об'єктів, процесів та систем //Водний транспорт. 2017. Вип.№ 1 (26). С.129-133.
11. Lavrischeva E. Ontological Approach to the Formal Specification of the Standard Life Cycle. //Science and Information Conference-2015 (July 28-30, 2015, UK, London). p.965-972.
12. Berners-Lee T.J. Spinning the Semantic Web: Bringing the World Wide Web to Its Full Potential. The MIT Press, 2005.
13. Жуковицький І.В., Скалозуб В.В., Устенко А.Б., Клименко І.В. Формування інтелектуальних інформаційних технологій залізничного транспорту на основі моделей аналітичних серверів та онтологічних систем. // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті, 2018. № 6. С. 3-11. DOI: 10.18664/ikszt.voi6.151635.
14. Guarino N. Formal ontology, conceptual analysis and knowledge representation. //Int. J. of Human Computer Studies, 2015. Vol. 43(5/6). P. 625-640.
15. Kasenchak B., Lehnert A.E. Introduction to Ontology Concepts and Modeling. URL: <https://boxesandarrows.com/introduction-to-ontology-concepts-and-modeling/>
16. Qiao L., Qie Yi., Zhu Z., Zhu Yi., Khaleeq U. An ontologybased modelling and reasoning framework for assembly sequence planning. //International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2017. 94 (9-12). P.4187 - 4197. DOI: 10.1007/s00170-017-1077-4.
17. Web Service Glossary. URL: <http://www.w3.org/TR/ws-gloss>
18. De Bruijn J., Lausen H., Krummenacher R., Polleres A., Predoiu L., Kifer M., Fensel D. The Web Service Modeling Language (WSML). URL: <http://www.w3.org/Submission/wsml>

19. Semantic Annotations for WSDL and XML Schema. W3C Recommendation. URL: <http://www.w3.org/TR/sawSDL/>

REFERENCES

1. OWL. Web Ontology Language. URL: <http://www.w3.org/>
2. Rubin D.L., Knublauch H., Fergerson R.W., Dameron O., Musen M.A. Protégé-OWL: Creating Ontology-Driven Reasoning Applications with the Web Ontology Language. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1560433/>
3. Allemang D., Hedler J.A. (2008). Semantic web for the working ontologist modeling in RDF, RDFS and OWL. Morgan Kaufmann. 352 p.
4. Protégé. URL: <http://protege.stanford.edu/>
5. Hebel S., Fisher M., Blace R., Peter-Lopes A. (2008). Semantic Web programming. Wiley Publishing Inc. URL: <http://semwebprogramming.org>
6. Semantic Web. Representation of data on the World Wide Web, based on the RDF standards. URL: <http://www.w3.org/2001/sw/>
7. OASIS/ebXML Registry Information Model. URL: <http://www.oasis-open.org/cojmmetees/specs/ebRim>
8. Roman D., Lausen H., Keller U. (eds.): Web Service Modeling Ontology (WSMO). URL: <http://www.w3.org/Submission/wsmo>
9. Rogushina J., Gladun A. (2012). Ontology-based competency analyses in new research domains. //Journal of Computing and Information Technology. Vol. 20(4). P. 277-291
10. Tkachenko O.A., Tkachenko O.I. (2017). Deyaki aspekty sytuatsiyno-semantychnoho modelyuvannya skladnykh ob'yektiv, protsesiv ta system [Some aspects of situational-semantic modeling of complex objects, processes and systems] // Vodnyy transport [Water transport]. Vyp. № 1 (26). P.129-133. (in Ukrainian).
11. Lavrisheva E. (2015). Ontological Approach to the Formal Specification of the Standard Life Cycle. //Science and Information Conference-2015 (July 28-30, UK, London). P. 965-972.
12. Berners-Lee T.J. (2005). Spinning the Semantic Web: Bringing the World Wide Web to Its Full Potential. The MIT Press.
13. Zhukovyts'kyi I.V., Skalozub V.V., Ustenko A.B., Klymenko I.V. (2018). Formuvannya intelektual'nykh informatsiynykh tekhnolohiy zaliznychnoho transportu na osnovi modeley analitychnykh serveriv ta ontolohichnykh system. [Formation of intelligent information technologies of railway transport based on models of analytical servers and ontological systems] // Informatsiyno-keruyuchi systemy na zaliznychnomu transporti [Information and control systems in railway transport]. № 6. P. 3-11. DOI: 10.18664/ikszt.voi6.151635. (in Ukrainian).
14. Guarino N. (2015). Formal ontology, conceptual analysis and knowledge representation. //Int. J. of Human Computer Studies. Vol. 43(5/6). P. 625-640.
15. Kasenchak B., Lehnert A.E. Introduction to Ontology Concepts and Modeling. URL: <https://boxesandarrows.com/introduction-to-ontology-concepts-and-modeling/>
16. Qiao L., Qie Yi., Zhu Z., Zhu Yi., Khaleeq U. (2017). An ontologybased modelling and reasoning framework for assembly sequence planning. //International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 94 (9-12). P.4187 - 4197. DOI: 10.1007/s00170-017-1077-4.
17. Web Service Glossary. URL: <http://www.w3.org/TR/ws-gloss>
18. De Bruijn J., Lausen H., Krummenacher R., Polleres A., Predoiu L., Kifer M., Fensel D. The Web Service Modeling Language (WSML). URL: <http://www.w3.org/Submission/wsml>
19. Semantic Annotations for WSDL and XML Schema. W3C Recommendation. URL: <http://www.w3.org/TR/sawSDL/>

Tkachenko K.O., Parkhomenko R.V.

ONTOLOGICAL APPROACH TO THE DEVELOPMENT OF THE NETWORK PROFESSIONAL RESOURCE OF THE TRANSPORT INDUSTRY

The problems of modeling complex systems are considered using the example of network professional information resource of transport industry. Some aspects, stages and principles of development of the network resource of transport industry and its various spheres are analyzed. The main requirements for modeling the content of the network professional resource for solving a wide range of theoretical and practical problems of the national transport industry and its individual areas are defined. Modeling based on the ontological approach (analysis and appropriate classification of the elements of such model) was chosen as the way to solve the problems.

The ontological approach is based on the understanding of ontology as a universal form of knowledge presentation. Ontologies are an effective tool for modeling various subject areas, objects and information resources. Ontological modeling of the network professional resource of the transport industry will contribute to the solution of practical and theoretical problems due to the consideration of factors affecting different levels and components of the network resource. Main provisions and tools for building the ontology of the network resource of the transport industry are presented to determine the conceptual ontological model of the subject area under consideration. The toolkit is the OWL ontology description language and ontology editor Protégé. It was concluded that for the effective formation of a network resource, it is advisable to organize joint activities of all participants in the production, technological, informational, educational, infrastructure spheres of the transport industry based on an ontological approach, taking into account the specifics of each subject area of the transport industry; the network resource, thanks to complex and multifunctional content, will contribute to ensuring the competitiveness of transport in Ukraine and beyond; the developed multi-level ontology will contribute to terminological unification and speed up the search for answers to requests for the content of the network resource of the transport industry.

Keywords: *ontology, ontological model, network resource, domain, OWL, Protégé, transport industry.*

УДК 004.9, 004.48

doi.org/10.33298/2226-8553.2023.1.37.29

*Ткаченко О.І., Ткаченко О.А., Цура В.В.***ВИКОРИСТАННЯ ВІМ-ОНТОЛОГІЙ ПРИ ІНТЕЛЕКТУАЛІЗАЦІЇ ПРОЦЕСІВ БУДІВНИЦТВА ОБ'ЄКТІВ ТРАНСПОРТНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ**

Розглянуто проблематику інтелектуалізації процесів будівництва з використанням ВІМ-онтологій на прикладі сфери будівництва об'єктів транспортної інфраструктури. Проаналізовано деякі аспекти, етапи та принципи розробки інтелектуальних систем (інформаційних систем з елементами інтелектуалізації). Визначено основні вимоги до інтелектуалізації процесів будівництва об'єктів транспортної інфраструктури для вирішення широкого кола теоретичних і практичних проблем.

Онтологічний підхід ґрунтується на розумінні онтології як деякої універсальної форми подання знань. Онтологічне моделювання процесів будівництва об'єктів транспортної

інфраструктури та інтелектуалізація цих процесів сприяють вирішенню широкого кола задач проєктування, будівництва та експлуатації цих об'єктів завдяки врахуванню факторів, що відображено у відповідній багаторівневій онтологічній моделі.

Наведено основні положення та інструментарій побудови онтології процесів будівництва об'єктів транспортної інфраструктури для визначення метаонтології предметної області, що розглядається. Інструментарієм є мова опису онтологій OWL та редактор онтологій Protégé.

Інтелектуалізація процесів будівництва об'єктів транспортної інфраструктури на основі BIM-онтологій обумовила наступне: висока геометрична точність конструкцій, що отримується за допомогою BIM-технологій, і можливість передачі даних у САПР-системи підвищують технологічність виробництва, скорочують час монтажу, дають можливість реалізувати складні архітектурні форми, мінімізують час розробки проєкту чи внесення до нього змін; необхідність розробки стандартів, які б закріпили статус інформаційної моделі (в тому числі й онтологічної); необхідність розвитку власного програмного забезпечення підтримки BIM-технологій. Розроблена багаторівнева онтологія сприяє термінологічній уніфікації та прискорює пошук інформації у базі знань відповідної інтелектуальної системи.

Ключові слова: онтологія, онтологічна модель, BIM-онтологія, метаонтологія, інтелектуальні системи, інтелектуалізація процесів, предметна область, OWL, Protégé, будівництво об'єкту транспортної інфраструктури.

Вступ. В наш час спостерігаються різноманітні за ступенем важливості тенденції, які обумовлюють вплив на будівельну галузь України та будівництво об'єктів транспортної інфраструктури. Однією з них є необхідність розробки інформаційних та/або інтелектуальних систем проєктування, розробки та експлуатації об'єктів будівництва. Повнота та коректність сприйняття інформації щодо об'єктів будівництва та процесів, що відбуваються з цими об'єктами, залежать від багатьох факторів.

Інтелектуалізація процесів будівництва об'єктів транспортної інфраструктури потребують вирішення багатьох проблем, зокрема, таких як:

- наявність спеціальних професійних термінів (професійної термінології, які можуть розумітися по-різному фахівцями у різних предметних областях як самої будівельної галузі, так і суміжних галузей (наприклад, освіти, транспорту, медицини, енергетики, тощо) або викликати складність у розумінні; все це обумовлює необхідність формування відповідного тезаурусу.
- подолання когнітивного бар'єру при вирішенні практичних задач, що потребують спільної діяльності різних представників як будівництва транспортної інфраструктури, так і, зокрема, транспортної галузі, енергетики, медицини, тощо.

Впровадження BIM-технологій (що ґрунтуються на використанні BIM-онтологій) у світі відбувається зростаючими темпами [1 – 3]. BIM активно застосовується у будівельній галузі України (наприклад, будівництво великих торговельно-розважальних центрів (Ocean Plaza у Києві), складних мультифункціональних об'єктів (укриття над ЧАЕС)).

Основними причинами повільного впровадження BIM в Україні, зокрема, є такі:

- Висока вартість програмних комплексів BIM.
- Рентабельність тільки для великих типових проєктів.
- Неврегульованість нормативної бази щодо статусу інформаційного моделювання.
- Неготовність інвесторів додатково вкладати у інформаційні моделі, що можуть бути використані не тільки при будівництві, але й при експлуатації об'єктів.
- Несумісність між різними програмними продуктами.
- Необхідність вироблення відповідних єдиних стандартів з передачі даних.

Постановка проблеми. Сучасні вимоги до процесів будівництва об'єктів транспортної інфраструктури, аналіз деяких аспектів моделювання процесів такого будівництва надають можливість обґрунтування використання онтологічного підходу та семантичного моделювання процесів будівництва об'єктів транспортної інфраструктури (будівль вокзалів, мостів, тунелів тощо).

Існуючі підходи до розробки інтелектуальних систем чи інформаційних систем з елементами інтелектуалізації на основі відповідного моделювання процесів предметної області, що розглядається, (в нашому випадку – це будівництво об’єктів транспортної інфраструктури) обумовили актуальність проблем моделювання процесів підготовки відповідного проєкту будівництва (експлуатації, тестування, ремонту тощо) об’єктів транспортної інфраструктури.

Наявні проблеми інтелектуалізації процесів будівництва об’єктів транспортної інфраструктури є наслідком відсутності відповідних дій щодо єдиного професійного ресурсу сфери будівництва.

Тому проблема розробки систем інтелектуалізації процесів будівництва об’єктів транспортної інфраструктури, що передбачає визначення технології ефективного та коректного використання інтелектуальних систем (інформаційних систем з елементами інтелектуалізації) на основі онтологічного підходу та семантичного моделювання, є актуальною.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Теоретичні основи моделювання складних систем (в тому числі й систем інтелектуалізації в сфері будівництва об’єктів транспортної інфраструктури) розглядалися такими вченими, як Гладун А.Я., Рогушина Ю.В. [4], Лаврищева К.М. [5], Бернерс-Ли Т.Дж. [6], Герре Г., Полі Р., Хейлі М., Каміс А. [7], Субботін С.О. [8], Литвин В.В., Пасічник В.В., Яцишин Ю.В. [9].

Підкреслюючи складність проблем, що стоять перед сучасною будівельною галуззю та різноманітними її сферами, слід розглядати проблеми дослідження будівельної галузі та вирішення її практичних і теоретичних задач за допомогою їхнього моделювання. Тому проблема розробки систем інтелектуалізації процесів будівництва об’єктів транспортної інфраструктури на основі використання відповідних моделей (онтологічних, семантичних, когнітивних, продукційних, фреймових, графових тощо) є актуальною.

Мета дослідження. Основною метою роботи, що пропонується, є аналіз деяких аспектів моделювання об’єктів будівництва транспортної інфраструктури для подальшої розробки підходів до використання запропонованих моделей при розробці управлінських рішень щодо розвитку та вдосконаленню таких об’єктів, розширенню класу задач, які можуть вирішуватися за допомогою таких моделей. В якості моделі пропонується багаторівнева онтологічна модель, що ґрунтується на BIM-онтологіях.

Основний матеріал дослідження. Запропоноване вирішення перелічених проблем, пов’язане зі створенням способу універсального подання знань щодо предметної області, що розглядається, у вигляді системи елементів предметної області, їх відношень та характеристик. Одним із способів такого представлення (подання) знань є, зокрема, онтологія [10 – 12]. Розглянемо процеси проєктування та будівництва об’єктів транспортної інфраструктури, які виконуються з використанням інтелектуальних систем, розроблених на основі BIM-онтологій [1].

Проєктування процесів будівництва складних об’єктів транспортної інфраструктури виконується великою кількістю учасників у середовищі, що динамічно змінюється, враховує нормування етапів будівництва, та з використанням інформаційних систем проєктування (зокрема, САПР-систем), які стають підсистемами відповідних інтелектуальних (або інформаційних з елементами інтелектуалізації) систем.

Необхідність контролю всіх етапів проєктування та будівництва об’єктів транспортної інфраструктури, зокрема контролю бюджетних коштів (коштів акціонерів, банків, інвесторів тощо), впливає на вибір відкритих стандартів проєктування, заснованих на онтології, для управління інформацією про проєктування та хід будівництва.

Проєктування та будівництво об’єктів транспортної інфраструктури велося в режимі реального часу, коли дані про хід будівельних робіт та показання датчиків передавалися до інформаційної бази системи, яка є універсальною класифікаційною інформаційною системою з елементами інтелектуалізації, що узгоджує всі потоки даних, які надходять до системи.

Для цієї мети було застосовано класифікацію (класифікаційну онтологію BIM [2, 3]), процесів та відповідно об’єктів будівництва транспортної інфраструктури. Імовірність перегляду

класифікаційної системи зумовила прийняття єдиного програмного рішення, щоб не залежати від частоти оновлення пакетного програмного забезпечення.

Класифікаційна онтологія BIM розроблялася за допомогою технології зв'язаних даних та веб-семантики (Linked Data and Semantic Web, LD/SW) [10, 11], що підтримуються Міжнародною організацією зі стандартизації (ISO) та Консорціумом Всесвітньої павутини (W3C) [13]. В рамках проєктування та будівництва об'єктів транспортної інфраструктури під BIM-онтологіями розумілися, зокрема:

- IFC-формати [14];
- різні відкриті формати та стандарти, що підтримують технологію LD/SW для форматування контенту для кінцевої точки (відкриті формати Turtle та SPARQL [15]);
- BIM-моделі, що використовуються для перевірки якості у форматі IFC 2x3 і IFC4.

Формати, що використовуються у технології при проєктуванні та будівництві об'єктів транспортної інфраструктури, відкриті та розглядалися як невід'ємна частина BIM-онтологій. Концепція BIM-онтологій реалізована як концепція використання ifcOWL, IFC2x3, IFC4, відкритих стандартів ISO та W3C та інших.

Крім «базових www-стандартів» до них можна віднести, зокрема:

- середовище опису ресурсу RDF (*Resource Description Framework*) [17];
- RDFS – RDF-схему (*Resource Description Framework Schema*) [17];
- SPARQL – мова запитів RDF (*Resource Description Framework Query Language*);
- OWL – мова опису онтологій для семантичного павутиння (*Web Ontology Language*) [16].

Важливою частиною проєкту стала інтеграція онтології до програмного забезпечення відповідної інтелектуальної (чи інформаційної з елементами інтелектуалізації) системи. На етапі створення онтологія BIM була прив'язана до онтології ifcOWL для IFC 4.3, продемонструвавши, наскільки легко за допомогою технології LD/SW можна інтегрувати їх у прийняте програмне рішення.

Отримані онтологічні моделі були інтегровані в програмне забезпечення інтелектуальної системи, призначеної для прийняття рішень після проведення необхідного інспектування стану об'єктів транспортної інфраструктури, які використовують формат IFC. При проєктуванні, будівництві та експлуатації (зокрема, інспектуванні стану) об'єктів транспортної інфраструктури найчастіше використовується наступне програмне забезпечення:

- Програмне забезпечення для визначення і створення онтологій (опису структури чи відповідного їх наповнення) (Protégé [18, 19], TopBraid Composer).
- Програмне забезпечення для прототипування та інспектування об'єктів транспортної інфраструктури (Ageo, Quadri, StreamBIM).

Під час проєктування об'єктів транспортної інфраструктури було виконано, зокрема:

- переклад інформації з PDF-довідника BIM до електронної таблиці;
- застосування сценаріїв для доповнення найкращими практиками у сфері онтологічного моделювання;
- виділення в онтології BIM (заснованої на відкритих форматах RDF, RDFS та OWL) двох компонентів: класифікаційна структура та пов'язані властивості;
- перевірка забезпечення якості онтологій;
- публікація кінцевої точки SPARQL, яка дозволила постачальникам ПЗ використовувати SPARQL для доступу до класифікаційної структури;
- залучення постачальників програмного забезпечення, готових включити надані онтології у свої продукти.
- інтегрування та використання онтологій BIM у програмних рішеннях;
- тестування кінцевої точки SPARQL;
- завантаження turtle-файлів за посиланнями для більш глибокої інтеграції BIM-онтологій у проектні програмні рішення;
- експорт отриманих BIM-моделей у формат IFC-файлів та перевірка на Solibri.

Технологія LD/SW протягом багатьох років залишалася невід'ємною частиною технологічної платформи всередині будівництва SMART, нею було обумовлено і створення ifcOWL. Модернізація ініціативи галузевих базових класів (IFC) змусила звернути увагу на архітектуру, в основі якої лежать вебсервіси, та на LD/SW технологію зокрема, а описаний проект став чудовою ілюстрацією того, як швидко провайдери ПЗ можуть інтегрувати використання онтологій пов'язаних даних та вебсемантики у свої рішення в тому випадку, коли вони опубліковані у відкритому, стандартизованому та добре задокументованому форматі.

Аналіз міжнародного досвіду будівництва об'єктів транспортної інфраструктури зумовив необхідність розробки онтологічної моделі, яка:

- охоплює всі предметні галузі, пов'язані з проектуванням, будівництвом та експлуатацією будівельних об'єктів;
- дозволить вибудувати комплексний взаємозв'язок між матеріальними сутностями (матеріали, машини та механізми) та виробничими сутностями;
- дозволяє ув'язати матеріальні та інформаційні сутності через підхід, що притаманний системній інженерії.

Запропонований підхід дозволить гармонійно вписати інформаційне моделювання у загальну онтологію будівельної галузі. Використання BIM-онтологій для формування (моделювання) багаторівневої онтології будівництва об'єктів транспортної інфраструктури обумовлено, зокрема, такими причинами, як:

- стандартизованість BIM-онтологій;
- наявність досвіду використання BIM-онтологій та аналізу результатів їх використання
- можливість побудови однакових концептуальних моделей предметної області.

Для побудови єдиної термінологічної бази в сфері будівництва об'єктів транспортної інфраструктури було розроблено багаторівневу онтологію.

Багато завдань потребують правильної й змістовної комунікації та інтеграції між інтелектуальними агентами та відповідними інформаційними ресурсами. Основною перешкодою для такої сумісності є семантична неоднорідність: різні додатки, бази даних та агенти можуть приписувати різні значення одним і тим самим термінам або використовувати різні терміни для передачі одного і того ж значення. Навіть коли програмні системи використовують одну й ту саму термінологію, вони можуть пов'язувати з тими самими термінами різну семантику. Це може перешкоджати безперебійному та неускладненому такого роду протиріччям обміну інформацією між інтелектуальними агентами, реалізованими у рамках відповідної інтелектуальної системи. Розробка та застосування онтологій відіграють центральну роль у досягненні семантичної інтеграції.

Онтологія – це специфікація, яка використовується інтелектуальним агентом, додатком або іншим інформаційним ресурсом для оголошення того, які терміни він використовує та що означають ці терміни. Онтології підтримують семантичну інтеграцію інтелектуальних (чи інформаційних з елементами інтелектуалізації) систем у вигляді загального розуміння термінології у відповідних онтологіях.

Онтологія (*Ontology*) визначає поняття, відносини та обмеження об'єктів у концептуальній моделі предметної області. Онтології можуть бути включені в будь-який додаток шляхом адаптації до специфічних потреб відповідної предметної області [10 – 12]. Онтологія підтримує комунікації між користувачами та компонентами системи і окремими компонентами системи між собою.

Створення онтологій у Protégé [18, 19] дозволяє розробнику оперувати такими поняттями, як класи (*Classes*), властивості об'єктів (*Object Properties*), властивості типу даних (*Data Properties*) та екземпляри (*Individuals*).

Багаторівнева онтологічна модель будь-якої предметної області передбачає, зокрема:

- формування онтології верхнього рівня (концептуальної моделі, метаонтології);
- формування онтологій (прикладних онтологій), які відображають різні підобласті предметної області, що розглядається.

Метаонтологія MO_D предметної області D включає опис:

- елементів (компонентів, об'єктів) O_D предметної галузі D ;
- передбачувані уявлення V_D (зокрема, погляду на проблеми аналізованої предметної області);
- принципи класифікації PK_D , які використовуватимуться для побудови концепцій в розглядаємій предметній області.

Метаонтологія предметної області може бути представлена у вигляді:

$$MO_D = \langle O_D, V_D, PK_D \rangle$$

Компоненти метаонтології MO_D можуть бути проаналізовані в рамках онтології верхнього рівня. Опишемо підхід, орієнтований на верхній рівень, до розробки онтологій процесів будівництва об'єктів транспортної інфраструктури, який, зокрема, передбачає.

1. Специфікація предметної області та Протоонтологія

Предметна область визначається принципами класифікації та набором уявлень. Першим кроком є побудова специфікації предметної області. Зокрема, має бути встановлений опис об'єктів O_D предметної області D . Об'єкти будівництва транспортної інфраструктури визначаються передбачуваними уявленнями V_D а принципи класифікації PK_D забезпечують засоби для структурування множини об'єктів O_D .

Для побудови метаонтології, зазвичай, використовується інформація, що пов'язана з предметною областю, зокрема множина T_D термінів понять предметної області D – термінів, що позначають поняття предметної області. Система $PrO_D = \langle S_D, T_D \rangle$, що складається зі специфікації S_D предметної області D та набору термінів T_D , називається протоонтологією. Протоонтологія предметної області D містить відповідну інформацію, необхідну для подальшої розробки аксіоматизованої онтології предметної області D .

2. Концептуалізація.

Концептуалізація ґрунтується на протоонтології; результатом цього кроку є поступова концептуалізація, для цього необхідно визначити основні / елементарні поняття предметної області D . Обрані поняття належать або поняттям, позначеним термінами з множини T_D , або побудовані за допомогою принципів класифікації.

3. Аксіоматизація.

На цьому етапі розробляються аксіоми. Для цього потрібний формалізм, який може бути графічною структурою чи формальною мовою.

Аксіоматизована онтологія $O_D = \langle L_D, V_D, Ax(V_D) \rangle$ складається із структурованого словника V_D , який містить символи, що позначають категорії, індивідів та відношення між категоріями чи їх екземплярами, та множину аксіом $Ax(V_D)$, які є виразами формальної мови L_D . Множина аксіом $Ax(V_D)$ відображає значення символів V_D .

Розширення визначення $Ont_D = (L_D, V_D \cup S_{DF}, Ax(V_D) \cup DF)$, що містить множину визначень, які розширюють значення, та новий набір символів S_{DF} , введених відповідними визначеннями. Кожне явне визначення має вигляд $t = e(V_D)$, де $e(V_D)$ – вираз L_D , що використовує тільки символи з V_D (символ t не зустрічається в $e(V_D)$).

Онтологічне відображення M концептуалізації C_D в аксіоматизовану онтологію O_D визначається парою $M = \langle tr, DF \rangle$, що складається з визначального розширення Ont_D (за рахунок DF) і функцією tr . Онтологічне відображення концептуалізації D пов'язує з кожним терміном C_D еквівалентний формальний опис, що ґрунтується на формально аксіоматизованій онтології.

Висновки. Інтелектуалізація процесів будівництва об'єктів транспортної інфраструктури на основі ВІМ-онтологій обумовила наступні висновки:

- Висока геометрична точність конструкцій, що отримується за допомогою ВІМ-технологій (які ґрунтуються на використанні ВІМ-онтологій), і можливість передачі даних у САМ-системи (чи САПР-системи) значно підвищують технологічність виробництва і скорочують час монтажу та дають можливість реалізувати складні архітектурні форми, мінімізують терміни на розроблення проєкту чи внесення до нього змін.

- Розроблена багаторівнева онтологія сприяє термінологічній уніфікації та прискорює пошук інформації у відповідній базі знань інтелектуальної системи.
- Необхідність розробки стандартів, які повинні містити опис та закріпити статус інформаційної моделі (в тому числі й онтологічної).
- Необхідність розвитку власного спеціалізованого програмного забезпечення підтримки BIM-технології.

ЛІТЕРАТУРА

1. Левченко О.В. BIM – стандарт проектної організації. // Сучасні проблеми архітектури та містобудування, 2018. Вип. 50. С. 65-69.
2. BIM-онтології. URL: <http://rdf.vegdata.no/BIM/BIM-owl>,
3. BIM-онтології. URL: <http://rdf.vegdata.no/BIM/BIM-brudata-owl>.
4. Rogushina J., Gladun A. Ontology-based competency analyses in new research domains. //Journal of Computing and Information Technology, 2012. Vol. 20(4). P. 277-291
5. Lavrischeva E. Ontological Approach to the Formal Specification of the Standard Life Cycle. //Science and Information Conference-2015 (July 28-30, 2015, UK, London). p.965-972.
6. Berners-Lee T.J. Spinning the Semantic Web: Bringing the World Wide Web to Its Full Potential. The MIT Press, 2005.
7. Herre H., Poli R., Healy M., Kameas A. General Formal Ontology (GFO): A Foundational Ontology for Conceptual Modelling // Theory and Applications of Ontology: Computer Applications. Dordrecht: Springer Netherlands, 2010. P. 297–345.
8. Субботін С.О. Подання й обробка знань у системах штучного інтелекту та підтримки прийняття рішень. Запоріжжя: ЗНТУ, 2008. 341 с.
9. Литвин В.В., Пасічник В.В., Яцишин Ю.В. Інтелектуальні системи. Львів: Новий Світ–2000, 2013. 406 с.
10. Guarino N. Formal ontology, conceptual analysis and knowledge representation. //Int. J. of Human Computer Studies, 2015. Vol. 43(5/6). P. 625-640.
11. Kasenchak B., Lehnert A.E. Introduction to Ontology Concepts and Modeling. URL: <https://boxesandarrows.com/introduction-to-ontology-concepts-and-modeling/>
12. Qiao L., Qie Yi., Zhu Z., Zhu Yi., Khaleeq U. An ontologybased modelling and reasoning framework for assembly sequence planning. //International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2017. 94 (9-12). P.4187–4197. DOI: 10.1007/s00170-017-1077-4.
13. Semantic Annotations for WSDL and XML Schema. W3C Recommendation. URL: <http://www.w3.org/TR/sawSDL/>
14. Що таке файл IFC? URL: <https://docs.fileformat.com/uk/cad/ifc/>.
15. SPARQL query with Turtle file (Public data source). URL: <https://stackoverflow.com/questions/42598618/sparql-query-with-turtle-file-public-data-source>
16. OWL. Web Ontology Language. URL: <http://www.w3.org/>
17. Allemang D., Hedler J.A. Semantic web for the working ontologist modeling in RDF, RDFS and OWL. Morgan Kaufmann, 2008. 352 p.
18. Rubin D.L., Knublauch H., Fergerson R.W., Dameron O., Musen M.A. Protégé-OWL: Creating Ontology-Driven Reasoning Applications with the Web Ontology Language. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1560433/>
19. Protégé. URL: <http://protege.stanford.edu/>

REFERENCES

1. Levchenko O.V. (2018). BIM is a project organization standard [BIM – standart proektnoyi orhanizatsiyi] // Modern problems of architecture and urban planning. [Suchasni problemy arkhitektury ta mistobuduvannya]. Vol. 50. P. 65-69. (in Ukrainian).
2. BIM-ontologies. [BIM-ontolohiyi]. URL: <http://rdf.vegdata.no/BIM/BIM-owl>. (in Ukrainian).

3. BIM- ontologies. [BIM-ontolohiyi]. URL: <http://rdf.vegdata.no/BIM/BIM-brudata-owl>. (in Ukrainian).
4. Rogushina J., Gladun A. (2012). Ontology-based competency analyses in new research domains. //Journal of Computing and Information Technology. Vol. 20(4). P. 277-291
5. Lavrisheva E. (2015). Ontological Approach to the Formal Specification of the Standard Life Cycle. //Science and Information Conference-2015 (July 28-30, UK, London). P. 965-972.
6. Berners-Lee T.J. (2005). Spinning the Semantic Web: Bringing the World Wide Web to Its Full Potential. The MIT Press.
7. Herre H., Poli R., Healy M., Kameas A. (2010). General Formal Ontology (GFO): A Foundational Ontology for Conceptual Modelling // Theory and Applications of Ontology: Computer Applications. Dordrecht: Springer Netherlands. P. 297–345.
8. Subbotin S.O. (2008). Representation and processing of knowledge in artificial intelligence and decision support systems. [Podannya y obrobka znan' u systemakh shtuchnoho intelektu ta pidtrymky pryynyattya rishen']. Zaporizhzhia [Zaporizhzhya]: ZNTU. 341 p. (in Ukrainian).
9. Lytvyn V.V., Pasichnyk V.V., Yatsyshyn Yu.V. (2013). Intelligent systems [Intelektual'ni systemy]. Lviv [L'viv]: Novy Svit–2000 [Novyy Svit–2000]. 406 p. (in Ukrainian).
10. Guarino N. (2015). Formal ontology, conceptual analysis and knowledge representation. //Int. J. of Human Computer Studies. Vol. 43(5/6). P. 625-640.
11. Kasenchak B., Lehnert A.E. Introduction to Ontology Concepts and Modeling. URL: <https://boxesandarrows.com/introduction-to-ontology-concepts-and-modeling/>
12. Qiao L., Qie Yi., Zhu Z., Zhu Yi., Khaleeq U. (2017). An ontologybased modelling and reasoning framework for assembly sequence planning. //International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 94 (9-12). P.4187 - 4197. DOI: 10.1007/s00170-017-1077-4.
13. Semantic Annotations for WSDL and XML Schema. W3C Recommendation. URL: <http://www.w3.org/TR/sawSDL/>
14. What is a file IFC? [Shcho take fayl IFC?] URL: <https://docs.fileformat.com/uk/cad/ifc/>. (in Ukrainian).
15. SPARQL query with Turtle file (Public data source). URL: <https://stackoverflow.com/questions/42598618/sparql-query-with-turtle-file-public-data-source>
16. OWL. Web Ontology Language. URL: <http://www.w3.org/>
17. Allemang D., Hedler J.A. (2008). Semantic web for the working ontologist modeling in RDF, RDFS and OWL. Morgan Kaufmann. 352 p.
18. Rubin D.L., Knublauch H., Fergerson R.W., Dameron O., Musen M.A. Protégé-OWL: Creating Ontology-Driven Reasoning Applications with the Web Ontology Language. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1560433/>
19. Protégé. URL: <http://protege.stanford.edu/>

Tkachenko O.I., Tkachenko O.A., Zura V.V.

USE OF BIM-ONTOLOGIES IN THE INTELLECTUALIZATION OF TRANSPORT INFRASTRUCTURE OBJECTS CONSTRUCTION PROCESSES

Problems of intellectualization of construction processes and their modeling using BIM-ontologies are considered on the example in the field of construction of transport infrastructure objects. Some aspects, stages and principles of development of intelligent systems (information systems with elements of intellectualization) are analyzed. The main requirements for intellectualization of the processes of construction of transport infrastructure objects to solve wide range of theoretical and practical problems have been determined.

Ontological approach is based on understanding of ontology as universal form of knowledge presentation. Ontological modeling of construction processes of transport infrastructure objects and intellectualization of these processes contribute to solving wide range of problems of designing,

building and operating these objects thanks to consideration of factors reflected in corresponding multi-level ontological model.

Main provisions and tools for building ontology of construction processes of transport infrastructure objects to determine meta-ontology of subject area under consideration are presented. The toolkit is ontology description language OWL and ontology editor Protégé.

Intellectualization of construction processes of transport infrastructure objects on the basis of BIM ontologies led to following: high geometric accuracy of constructions, obtained with help of BIM technologies, and possibility of data transfer to CAD systems increase the manufacturability of production, reduce installation time, make it possible to implement complex architectural forms that minimize time of project development or making changes to it; the need to develop standards that would secure the status of information model (including ontological); the need to develop own software to support BIM technology. The developed multi-level ontology contributes to terminological unification and accelerates search for information in knowledge base of corresponding intelligent system.

Keywords: *ontology, ontological model, BIM-ontology, meta-ontology, intelligent systems, intellectualization of processes, subject area, OWL, Protégé, construction of transport infrastructure object.*

АВТОРИ ВИПУСКУ

Бажак Ольга Валеріївна	–	старший викладач кафедри судноводіння та експлуатації технічних систем на водному транспорті Дунайського інституту водного транспорту, Державного університету інфраструктури та технологій, https://orcid.org/0000-0003-0598-5235
Бойко Анна Дмитрівна	–	старший викладач кафедри інфраструктури та інноваційних технологій водного транспорту, Державний університет інфраструктури та технологій https://orcid.org/0000-0002-1387-3164
Бойко Світлана Олексіївна	–	доктор філософії, доцент кафедри судноводіння та експлуатації технічних систем на водному транспорті Дунайського інституту водного транспорту, Державний університет інфраструктури та технологій
Бондар Сергій Анатолійович	–	старший викладач кафедри безпеки життєдіяльності Національного університету «Одеська морська академія».
Войченко Тетяна Олександрівна	–	кандидат економічних наук, доцент, в.о. завідувача кафедри природничо-математичних та інженерно-технічних дисциплін Дунайського інституту водного транспорту, Державний університет інфраструктури та технологій, https://orcid.org/0000-0002-0109-4622
Ганношина Ірина Миколаївна	–	доцент, кандидат технічних наук, доцент кафедри навігації та управління суднами, Державний університет інфраструктури та технологій, https://orcid.org/0000-0001-5810-2462
Головань Андрій Ігорович	–	кандидат технічних наук, доцент, Одеський національний морський університет, доцент кафедри судноводіння і морської безпеки, https://orcid.org/0000-0001-6589-4381
Голубєва Світлана Михайлівна –		старший викладач кафедри суднових енергетичних установок, допоміжних механізмів суден та їх експлуатації Державного університету інфраструктури та технологій, аспірантка кафедри електрообладнання та автоматики водного транспорту https://orcid.org/0000-0001-8285-7566
Гончарук Ірина Павлівна		кандидат технічних наук, доцент, Одеський національний морський університет, доцент кафедри судноводіння і морської безпеки, https://orcid.org/0000-0002-5306-4206
Горалік Євгеній Тадеушевич	–	к.т.н., доцент, завідувач кафедри природничо-технічного забезпечення діяльності водного транспорту Державного університету інфраструктури і технологій, https://orcid.org/0000-0003-2399-5373

Дакі Олена Анатоліївна	–	доктор технічних наук, професор, директор Дунайського інституту водного транспорту, Державний університет інфраструктури та технологій, https://orcid.org/0000-0003-3932-462X
Давидов Володимир Семенович	–	доцент, кандидат технічних наук, доцент кафедри навігації і управління суднами, Державний університет інфраструктури та технологій, https://orcid.org/0000-0002-4985-1143
Дорофєєва Зоя Яківна	–	старший викладач кафедри природничо-математичних та інженерно-технічних дисциплін Дунайського інституту водного транспорту, Державний університет інфраструктури та технологій, https://orcid.org/0000-0003-3354-578X
Дубинець Олександр Іванович	–	доктор технічних наук, професор, професор кафедри судноводіння та експлуатації технічних систем на водному транспорті Дунайського інституту водного транспорту, Державний університет інфраструктури та технологій
Залож Віталій Іванович	–	кандидат технічних наук, доцент, Дунайський інститут Національного університету «Одеська морська академія» https://orcid.org/0000-0002-5213-6896
Іваненко Віталій Миколайович	–	старший викладач кафедри судноводіння та експлуатації технічних систем на водному транспорті Дунайського інституту водного транспорту, Державний університет інфраструктури та технологій, https://orcid.org/0000-0003-3271-5257
Калініченко Євгеній Володимирович	–	доцент, кандидат технічних наук, завідувач кафедри навігації і керування судном Одеського Національного Морського Університету, https://orcid.org/0000-0003-2898-7313
Калініченко Тетяна Валентинівна	–	здобувачка кафедри навігації та управління суднами, Державний університет інфраструктури та технологій, https://orcid.org/0000-0003-3531-8281
Кириченко Олександр Сергійович	–	к.т.н., доцент кафедри електрообладнання та автоматики водного транспорту Державного університету інфраструктури та технологій, https://orcid.org/0000-0003-0545-4493
Колєсник Олександр Володимирович	–	старший викладач кафедри судноводіння і морської безпеки Одеського національного морського університету, https://orcid.org/0009-0003-3713-2015
Корбан Дмитро Вікторович	–	Доцент кафедри управління судном, канд. техн. наук Національний університет «Одеська Морська Академія», Одеса
Корякін Костянтин Сергійович	–	старший викладач кафедри судноводіння і морської безпеки Одеського національного морського університету, https://orcid.org/0000-0003-2388-645X

Крюков Микола Миколайович		д.т.н., професор, професор кафедри вищої і прикладної математики Державного університету інфраструктури і технологій, https://orcid.org/0000-8156-1720
Лерніченко Катерина Валеріїна		Доцент, к.е.н., доцент кафедри інфраструктури та інноваційних технологій водного транспорту Державного університету інфраструктури та технологій, https://orcid.org/0000-0001-5807-5310
Лопатюк Світлана Петрівна	–	доцент, к.т.н., доцент кафедри природничо-технічного забезпечення діяльності водного транспорту, Державний університет інфраструктури та технологій, https://orcid.org/0000-0003-3669-6110
Лупіна Тетяна Олексіївна		старший викладач кафедри природничо-технічного забезпечення діяльності водного транспорту Державного університету інфраструктури і технологій
Мельник Олексій Миколайович		кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри судноводіння і морської безпеки Одеського національного морського університету, https://orcid.org/0000-0001-9228-8459
Маннапова Оксана Володимирівна	–	кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри природничо-математичних та інженерно-технічних дисциплін Дунайського інституту водного транспорту, Державний університет інфраструктури та технологій, https://orcid.org/0000-0002-6871-3272
Маслов Ігор Захарович	–	доцент, кандидат технічних наук, завідувач кафедри суднових енергетичних установок і систем Дунайського інституту Національного університету «Одеська морська академія», https://orcid.org/0000-0003-1759-6077
Мельник Ольга Володимирівна	–	Доцент, кандидат технічних наук, завідувач кафедри енергетичних установок, допоміжних механізмів суден та їх експлуатації, Державний університет інфраструктури та технологій, https://orcid.org/0000-0002-0089-6535
Никитюк Петро Володимирович	–	старший викладач кафедри судноводіння і морської безпеки Одеського національного морського університету, https://orcid.org/0000-0002-5905-3807
Онищенко Олег Анатолійович	–	професор, доктор технічних наук, заслужений діяч науки і техніки України, кафедра технічної експлуатації флоту Національного університету Одеська морська академія, https://orcid.org/0000-0002-3766-318865029

Пастух Олександр Васильович –	–	старший викладач кафедри електрообладнання та автоматики водного транспорту Державного університету інфраструктури та технологій, https://orcid.org/0009-0007-1691-579X
Пріступа Сергій Валерійович	–	старший викладач кафедри електрообладнання та автоматики водного транспорту Державного університету інфраструктури та технологій, https://orcid.org/0009-0002-9323-1133
Тараненко Сергій Володимирович	–	к.т.н., доцент, завідувач кафедри електрообладнання та автоматики водного транспорту Державного університету інфраструктури та технологій, https://orcid.org/0000-0001-9320-2514
Ткаченко Олександр Андрійович	–	К.ф.-м.н., доцент, кафедра інформаційних технологій Державного університету інфраструктури та технологій https://orcid.org/0000-0001-6911-2770
Ткаченко Ольга Іванівна	–	К.ф.-м.н., доцент, кафедра інформаційних технологій Державного університету інфраструктури та технологій https://orcid.org/0000-0003-1800-618X
Тимочко Олександр Іванович	–	доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри Льотної академії Національного авіаційного університету, https://orcid.org/0000-0002-4154-7876
Парменова Дана Георгіївна	–	доцент, кандидат технічних наук, Національний університет «Одеська морська академія», завідувач кафедри безпеки життєдіяльності, https://orcid.org/0000-0001-7794-8586
Пліта Леонід Леонідович	–	доктор філософії, доцент кафедри судноводіння та експлуатації технічних систем на водному транспорті Дунайського інституту водного транспорту, Державний університет інфраструктури та технологій, https://orcid.org/0000-0001-6422-444X
Олізаренко Сергій Анатолійович,	–	доктор технічних наук, старший науковий співробітник, професор кафедри, Льотна академія Національного авіаційного університету https://orcid.org/0000-0002-7762-6541
Сагін Сергій Вікторович	–	доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри судових енергетичних установок Національного університету «Одеська морська академія». https://orcid.org/0000-0001-8742-2836

Сітков Олексій Михайлович,	–	старший викладач кафедри, Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, https://orcid.org/0000-0002-9171-6674
Столярик Тимур Олександрович	–	аспірант кафедри суднових енергетичних установок Національного університету «Одеська морська академія». https://orcid.org/0000-0002-2922-9728
Суворов Петро Семенович	–	доктор технічних наук, професор, професор кафедри суднових енергетичних установок і систем, Дунайський інститут Національного університету «Одеська морська академія» https://orcid.org/0000-0002-5160-3966
Тарасенко Тетяна Владиславівна	–	Кандидат технічних наук, доцент, завідувачка кафедри інженерних дисциплін, Дунайський інститут Національного університету «Одеська морська академія» https://orcid.org/0000-0001-8107-3524
Тимощук Олена Миколаївна	–	професор, д.т.н., професор кафедри навігації та управління суднами, Державний університет інфраструктури та технологій, https://orcid.org/0000-0003-3684-6182
Трофименко Ірина Валеріївна	–	доктор філософії, доцент кафедри судноводіння та експлуатації технічних систем на водному транспорті Дунайського інституту водного транспорту, Державний університет інфраструктури та технологій
Урум Наталія Степанівна	–	кандидат педагогічних наук, доцент, доцент кафедри природничо-математичних та інженерно-технічних дисциплін Дунайського інституту водного транспорту, Державний університет інфраструктури та технологій, https://orcid.org/0000-0003-2493-9314
Цура Вадим Васильович	–	Здобувач другого рівня вищої освіти, Кафедра інформаційних технологій Державного університету інфраструктури та технологій https://orcid.org/0009-0003-1107-8292
Штрибець Валерій Валерійович	–	к.т.н., старший викладач кафедри судноводіння та експлуатації технічних систем на водному транспорті Дунайського інституту водного транспорту, Державний університет інфраструктури та технологій
Яремчук Світлана Олександрівна		к. т. н., доцент, Дунайський інститут Національного університету «Одеська морська академія», доцент кафедри управління в транспортній галузі, м. Ізмаїл, https://orcid.org/0000-0002-6736-1471

ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ СТАТЕЙ

1. До друку у збірнику наукових праць Державного університету інфраструктури та технологій «Водний транспорт» приймаються лише наукові статті, які мають такі необхідні елементи: **постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями; аналіз останніх досліджень і публікацій, в яких започатковано розв'язання даної проблеми, і на які спирається автор, виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття; формулювання цілей статті (постановка завдання); виклад основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів; висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямку.**

2. Стаття має відповідати тематичному спрямуванню журналу і бути завізована власноручно підписом автора. Відповідальність за матеріали, наведені у статті, несе автор.

Разом з текстом статті і електронним носієм із записаним текстом до редколегії надаються: рецензія на статтю доктора наук (професора); довідка про авторів (прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання, почесне звання, місце роботи, посада, номер контактного телефону, обліковий запис автора ORCID).

3. Матеріал треба викладати стисло, послідовно, стилістично грамотно. Терміни та позначення повинні відповідати чинним стандартам. Не допускаються повтори, а також зайві подробиці при переказі раніше опублікованих відомостей – замість цього подаються посилання на літературні джерела. Одиниці вимірювання слід подавати лише за міжнародною системою одиниць SI чи в одиницях, допущених до застосування в Україні згідно з вимогами чинних державних стандартів.

4. До рукопису додається анотація двома мовами (українська, англійська), в якій має бути чітко сформульована головна ідея статті та коротко обґрунтована її актуальність, а також ключові слова (двома мовами, 5-10 слів).

5. Цитати, таблиці, статистичні дані, цифрові показники, що підвищують рівень аналітичних матеріалів, подаються з посиланням на джерела. Таблиці мають бути пронумеровані й мати заголовок.

6. Текстові матеріали готуються та друкуються на аркушах білого одностороннього паперу з використанням комп'ютерних текстових редакторів MS Word для Windows 98/2000/XP (формат A4), для набору формул використовують вбудовані редактори рівнянь, табличні матеріали можуть готуватись з використанням електронних таблиць (MS Excel). При цьому має застосовуватись шрифт Times New Roman.

7. Матеріали набирають та розміщують у послідовності: УДК – 12 пунктів, курсив (УДК повинно бути обов'язково). Розміщують зліва на сторінці; автори – 12 пунктів, напівжирний курсив. Розміщують зліва на сторінці; НАЗВА СТАТТІ – прописні літери, 12 пунктів, напівжирний. Розміщують посередині сторінки; анотація – 12 пунктів, курсив; основний текст – 12 пунктів, звичайний; ЛІТЕРАТУРА – 12 пунктів, напівжирний

8. Текст, формули, таблиці, рисунки, діаграми, схеми розміщуються на сторінці в одній колонці. Відступ першого рядка абзацу – 10 мм, інтервал між рядками – одинарний. Інтервали між елементами матеріалу такі: УДК – автори – 2; автори – назва статті – 2; назва статті – анотація – 2; анотація – основний текст – 1;

основний текст – назва таблиці (верхній край рисунка, схеми, діаграми) – 1; назва таблиці – її верхній край (нижній край рисунка, діаграми, схеми – їхні назви) – 1; нижній край таблиці (назва рисунка, діаграми, схеми) – основний текст – 1; основний текст – ЛІТЕРАТУРА – 1; ЛІТЕРАТУРА – список літератури – 1.

Усі рисунки, таблиці, діаграми повинні мати назви та номери. Слова Рисунок, *Таблиця*, Діаграма, Схема та їхні номери набираються звичайним шрифтом, 12 пунктів, назви таблиць розміщуються над таблицями, а рисунків, діаграм, схем – під ними. Відривати назви від зазначених елементів забороняється.

Від рисунка до підпису і від підпису до наступного тексту потрібно відступити один інтервал. Посилання в тексті на таблиці або на рисунки даються у скороченому вигляді звичайним шрифтом: «табл. 1» або «рис.1».

Якщо таблиця не вміщається на одній сторінці, всі її колонки нумерують, а над перенесеною частиною таблиці справа надписують: «Продовження табл. 1» або «Закінчення табл. 1».

9. Графічні файли з формулами, графіками, рисунками, схемами та фотографіями повинні бути розташовані в тексті в таблиці MS Word. Номер формули проставляється справа в кінці рядка, в круглих дужках, не виходячи на поле. Формули розташовуються на сторінці по центру. Між ними та текстом витримується інтервал в один рядок.

Вводяться вони в графічному редакторі Microsoft Equation 3.0 для MS Word. Латинські літери та позначення величин (символи) набирають курсивом, українські та російські літери – тільки прямим шрифтом.

10. Список використаної літератури складається двома мовами та повинен включати не менш 10 джерел кожний. Перший (мовою оригінала джерела) відповідно до ДСТУ 7.1:2006, ДСТУ 8302:2015 «Бібліографічне посилання: загальні положення та правила складання». Другий (References) латиницею (транслітерацією) з обов'язковим перекладом назви джерела на англійську мову.

11.Рекомендується при оформленні наукової статті використовувати ДСТУ 3008:2015–ЗВІТИ У СФЕРІ НАУКИ І ТЕХНІКИ. Структура та правила оформлювання.

Підп. до друку 25.05.2023 р. Формат 60x84/8. Папір для тиражувальних апаратів.
Гарнітура Таймс. Ум. друк. арк. 16.85. Наклад 100 прим.
Зам. № 2249-08/23.

Державний університет інфраструктури та технологій

Свідоцтво про державну реєстрацію друкованого засобу масової інформації
(серія КВ № 23216-13056ПР від 23.02.2018 р.)
вул. Кирилівська, 9, м. Київ, 04071, Україна
тел./факс: (044) 463-74-70, тел. (044) 417-17-57
<https://duit.edu.ua/research-activities/scientific-publications/water-transport>